



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO**

**MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”**

**APLICACIÓN DE LA FITORREMEDIACIÓN EN ÁREAS  
AFECTADAS POR CONTAMINANTES EN ECUADOR**

Previo a la obtención del título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**Autora:** Pamela Alejandra Camacho Veloz

**LA LIBERTAD, 2022**



**UNIVERSIDAD ESTATAL PENÍNSULA DE SANTA ELENA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
CARRERA DE AGROPECUARIA**

**COMPONENTE PRÁCTICO DEL EXAMEN DE CARÁCTER COMPLEXIVO**

**MODALIDAD: “REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA”**

**APLICACIÓN DE LA FITORREMEDIACIÓN EN ÁREAS  
AFECTADAS POR CONTAMINANTES EN ECUADOR**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERA AGROPECUARIA**

**Autora:** Pamela Alejandra Camacho Veloz

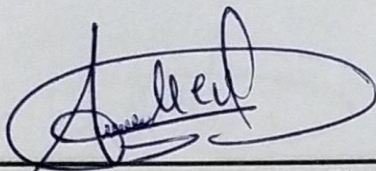
**Tutor:** Blgo. Javier Soto Valenzuela. Ph.D.

**LA LIBERTAD, 2022**

## TRIBUNAL DE GRADO

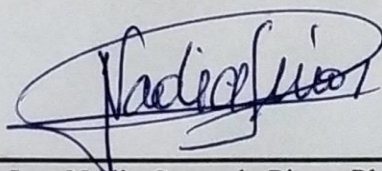
Componente práctico de examen complejo presentado por **PAMELA ALEJANDRA CAMACHO VELOZ** como requisito parcial para la obtención del grado de Ingeniero/a Agropecuario de la Carrera de Agropecuaria.

Trabajo de Titulación **APROBADO** el: 22/08/2022



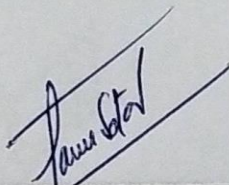
---

Ing. Verónica Andrade Yucailla, Ph.D.  
**DIRECTORA DE CARRERA  
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL**



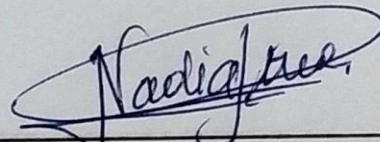
---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.  
**PROFESOR ESPECIALISTA  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



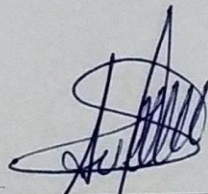
---

Blgo. Javier Soto Valenzuela, Ph.D.  
**PROFESOR TUTOR  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

Ing. Nadia Quevedo Pinos, Ph.D.  
**PROFESOR GUÍA DE LA UIC  
MIEMBRO DEL TRIBUNAL**



---

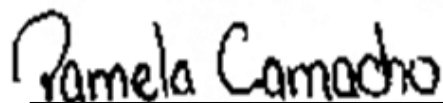
Lic. Ana Villalta Gómez, MSc.  
**ASISTENTE ADMINISTRATIVO  
SECRETARIA**

## **DECLARATORIA DE RESPONSABILIDAD**

El presente Trabajo Práctico de Examen de Grado de carácter complejo Titulado **“APLICACIÓN DE LA FITORREMEDIACIÓN EN ÁREAS AFECTADAS POR CONTAMINANTES EN ECUADOR”** y elaborado por **Pamela Alejandra Camacho Veloz**, declara que la concepción, análisis y resultados son originales y aportan a la actividad científica educativa agropecuaria.

### **Transferencia de derechos autorales.**

"El contenido del presente Trabajo de Graduación es de mi responsabilidad; el patrimonio intelectual del mismo pertenece a la Universidad Estatal Península de Santa Elena".

A handwritten signature in black ink that reads "Pamela Camacho". The signature is written in a cursive style and is underlined.

Firma del estudiante

## **DEDICATORIA**

Dedico con todo mi corazón y alma mi tesina a mis padres Cesar Antonio y Maura Catalina por el apoyo incondicional desde la parte económica hasta la sentimental; gracias a ellos esto no hubiera sido posible, terminar con satisfacción mi carrera universitaria.

Dedico este pequeño proyecto a mis hermanos José, María, Natalia y Hellen por su apoyo \y palabras de aliento para continuar a con mis estudios a pesar de todas adversidades que se me cruzaron en el camino. A mí sobrino Matheus David por hacerme reír en los momentos que me encontraba estresada.

Finalmente, pero no menos importante me autodedicó mi tesina, gracias a mí esfuerzo, dedicación, perseverancia pude lograr escribir todo este componente que me dio la satisfacción de obtener mi sueño dorado pues es conseguir mi título de Ingeniera Agropecuaria para ayudar a mi querida provincia a mejorar sus sistemas productivos.

## **AGRADECIMIENTOS**

Doy gracias a Dios por permitirme tener una gran fuerza de voluntad e inteligencia dentro todos los años de mi vida universitaria, agradezco a cada uno de mis profesores que, gracias a sus enseñanzas, retadas y consejos pudieron ir formándome poco a poco como un gran profesional y personas.

Les agradezco a mis padres Cesar Antonio y Maura Catalina por su apoyo incondicional, les doy gracias por su apoyo económico, no hubiera podido terminar mi carrera universitaria. Agradezco a mis hermanos José, María, Natalia y Hellen por estar conmigo en mis peores momentos.

Mi agradecimiento total va dirigido también a mi tutor Blgo. Javier Oswaldo Soto Valenzuela por permitirme acudir a su capacidad y conocimiento científico, por otro lado, también quiero agradecerle por haberme tenido mucha paciencia y dedicación durante el tiempo de revisión de mi propuesta hasta la aprobación de esta.

## RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la tendencia en la investigación del uso de la fitorremediación en el Ecuador en los últimos diez años. Para el cumplimiento de los objetivos se realizó una revisión bibliográfica de la información científica de los últimos diez años en bases de datos indexadas como Scielo, Redalyc, Revista ciencia de la vida, Revista de ciencia seguridad y defensas, manual de INIAP, Google académico y repositorios de la universidad del Ecuador, se empleó como palabra clave de búsqueda “Fitorremediación en Ecuador”, a partir de la información encontrada se agruparon los documentos científicos según el tipo de mecanismos de fitorremediación. Se realizó una base de datos con los 24 estudios encontrados donde se agrupó de acuerdo con el año, lugar, las especies, nombre común, científicos, género, orden, familia, tipo de contaminantes y medios contaminados por derrames de hidrocarburos y metales pesados en Ecuador donde se obtuvieron cincuenta y tres especies de toda la recopilación de información realizada en los últimos diez años de las cuales solo cuarenta y dos son consideradas hiperacumuladoras por resistir y acumular a las concentraciones expuestas.

**Palabras clave:** Fitorremediación, metales pesados, hidrocarburos, mecanismos, suelo contaminado, microorganismos.



## **ABSTRACT**

The objective of this research was to evaluate the trend in the investigation of the use of phytoremediation in Ecuador in the last ten years. In order to fulfill the objectives, a bibliographic review of the scientific information of the last ten years was carried out in indexed databases such as Scielo, Redalyc, Life Science Magazine, Security and Defense Science Magazine, INIAP manual, Google academic and repositories of the University of Ecuador, the search keyword "Phytoremediation in Ecuador" was used, based on the information found, the scientific documents were grouped according to the type of phytoremediation mechanisms. A database was created with the 24 studies found where they were grouped according to the year, place, species, common name, scientists, genus, order, family, type of pollutants and media contaminated by spills of hydrocarbons and heavy metals in Ecuador where fifty-three species were obtained from all the information collected in the last ten years, of which only forty-two are considered hyperaccumulators because they resist and accumulate at exposed concentrations.

**Keywords:** Phytoremediation, heavy metals, hydrocarbons, mechanisms, contaminated soil, microorganisms.



## ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>1</b>
	Problema científico.....	3
	Objetivos.....	3
	Objetivo general .....	3
	Objetivos específicos.....	3
<b>2</b>	<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>4</b>
2.1	El recurso suelo.....	4
2.1.1	<i>Actividades que degradan la calidad del recurso suelo .....</i>	<i>4</i>
2.2	Contaminación por hidrocarburos en Ecuador .....	5
2.2.1	<i>Características de los hidrocarburos.....</i>	<i>6</i>
2.3	Contaminación por metales pesados en Ecuador.....	7
2.3.1	<i>Características de metales pesados .....</i>	<i>9</i>
2.4	<i>Fitorremediación .....</i>	<i>9</i>
2.4.1	<i>Técnicas de fitorremediación.....</i>	<i>10</i>
2.5	Estudios de fitorremediación en Ecuador en los últimos diez años.....	11
<b>3</b>	<b>MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1	Material de análisis .....	17
3.2	Variables .....	17
3.3	Procedimiento .....	17
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....</b>	<b>18</b>
4.1	Estudio de las investigaciones en fitorremediación en Ecuador durante el tiempo transcurrido.....	18
4.2	Tipo de publicación.....	19
4.3	Región.....	19
4.4	Medio contaminado .....	21
4.5	Tipos de contaminantes.....	22
4.6	Especies vegetales utilizadas en Fitorremediación .....	23
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>29</b>
5.1	Conclusiones .....	29
5.2	Recomendaciones .....	29
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	
<b>7</b>	<b>ANEXOS</b>	

## ÍNDICE DE TABLA

<b>Tabla 1.</b> Factores de derrames de petróleo en el Ecuador .....	5
<b>Tabla 2.</b> Características de los hidrocarburos .....	6
<b>Tabla 3.</b> Concentraciones máximas permitidas para suelos en Ecuador .....	8
<b>Tabla 4.</b> Características de los metales pesados .....	9
<b>Tabla 5.</b> Métodos involucrados en la tecnología de la fitorremediación .....	10
<b>Tabla 6.</b> Procesos utilizados por tipos de fitorremediación .....	10
<b>Tabla 7.</b> Especies vegetales utilizadas en fitorremediación en Ecuador. ....	23
<b>Tabla 8.</b> Especies hiperacumuladoras utilizadas en Ecuador. ....	25

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Proceso de estudios relacionados con fitorremediación en Ecuador entre los años 2012 a 2021. ....	18
<b>Figura 2.</b> Tipo de publicación en estudios de fitorremediación en Ecuador .....	19
<b>Figura 3.</b> Estudios de fitorremediación en regiones pertenecientes a Ecuador. ....	20
<b>Figura 4.</b> Provincias del Ecuador donde se extrae petróleo.....	20
<b>Figura 5.</b> Estudios realizados en suelo y agua por metales e hidrocarburos. ....	21
<b>Figura 6.</b> Tipos de contaminantes en fitorremediación en Ecuador. ....	22
<b>Figura 7.</b> Metales pesados con mayor número de investigaciones de fitorremediación en Ecuador, durante los años 2012 a 2021. ....	22
<b>Figura 8.</b> Especies vegetales más utilizadas para estudios en Fitorremediación en Ecuador. ....	27

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexos 1.** Bases de datos de las especies utilizadas en fitorremediación en los últimos diez años en Ecuador

**Anexos 2.** Tipo de publicación en estudios de Fitorremediación en Ecuador

## 1. INTRODUCCIÓN

El suelo es un recurso natural no renovable, sobre el cual se desarrollan las diversas actividades humanas tales como la agricultura, la pecuaria e industriales que producen los alimentos, combustibles, fibras y piensos esenciales para la vida (Asselin, 2015).

Por esta razón, es importante conservar y mantener el suelo, pero hace mucho tiempo éste ha sido perjudicado por diferentes tipos de contaminación generadas por las actividades humanas, industriales y mineras; produciendo elementos tóxicos como níquel, plomo, mercurio, cobre, zinc, entre otros. Es conocido que estos componentes son utilizados por diversos procesos o métodos dentro de la industria, incluyendo las actividades agropecuarias (Ballesta, 2017).

Los hidrocarburos son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno siendo compuestos básicos de la química orgánica, también estarán acompañados de azufre, nitrógeno u oxígeno, pero se darán en concentraciones muy bajas. Dentro de la química, los hidrocarburos pertenecen a las familias de los alcanos, naftenos y aromáticos; aunque éste es considerado una de las principales fuentes de economía en algunas familias, es también un compuesto perjudicial para la vida de todo ser vivo (Ñústez *et al.*, 2014).

Las principales fuentes de los hidrocarburos son el petróleo, gas natural y carbón. El petróleo es considerado como aceite de gas, utilizado por antiguas culturas hasta la actualidad. El petróleo es una sustancia oscura que se puede encontrar en las profundidades de la tierra, formadas por restos de organismos y seres vivos que se encuentran en estado de descomposición por varios años (Ortuño, 2016).

Las principales fuentes de contaminación de los suelos por derrames de petróleo pueden enlazarse con la rotura de tuberías, los derrames graves sean por agua servida o residuales, derivados de los procesos de separación que se realizan en instalaciones petroleras, derrames de lodos, por mantenimiento y perforación de los pozos (Arias *et al.*, 2017). Como se conoce, cada vez que se reporta una contaminación por petróleo y metales pesados, la biodiversidad es la principal afectada; ocasionando graves efectos de pérdida de hábitat para animales, microfauna y desintegración de los ecosistemas, volviéndose frágiles y muy difíciles de recuperar en el tiempo (Vizúete *et al.*, 2019).

A nivel mundial se registra que en el año de 1859 en Estados Unidos por el coronel Edwin L. Drake, quién ejecutó la primera perforación de pozo de petróleo en el mundo, a unos veinte y tres metros de profundidad, desde entonces se lo utiliza y se comercializa (Tomalá, 2018). Por esta razón, Estados Unidos ocupa el primero lugar en extracciones de hidrocarburos, mientras que Ecuador ocupa el cuarto lugar, ya que estos dos países ocupan este producto como base para su economía que realizan prácticas industriales asociadas a los hidrocarburos (Suárez, 2021).

Otro tipo de contaminante es el exceso de elementos químicos incorporados en el suelos por actividades agrícolas. Estos son considerados contaminantes inorgánicos totalmente nocivos para todos los ecosistemas, aunque se encuentren en pequeñas dosis siguen siendo los más complicados de remover debido a su alto costo, por esto se han realizado estudios de varios métodos, aplicación de tecnologías y técnicas que sirven para la remoción de los contaminantes mencionados, es el caso de la fitorremediación (Quispe *et al.*, 2022).

La fitorremediación como alternativa biotecnológica de recuperación de los suelos tiene muchas ventajas, por el uso de métodos naturales empleando la degradación física, biológica y química del suelo. Esta alternativa permite utilizar asociaciones con técnicas donde se empleen enzimas o microorganismos de manera estratégica, con el objetivo de restaurar la calidad de los suelos (Velás, 2017).

El proceso de fitorremediación considera el uso de organismos vivos como microbios y plantas para eliminar contaminantes del suelo. Otros métodos empleados para disminuir la contaminación de los suelos son la bioaumentación, biodegradación, fitoextracción, fitoestabilización y fitoinmovilización, que son fitotecnologías que emplean plantas, raíces o microorganismos para minimizar el impacto de contaminantes orgánicos e inorgánicos. El presente trabajo de investigación explora y analiza la aplicación de la fitorremediación en áreas afectadas por contaminantes en el Ecuador, en los últimos diez años; así como el uso de las técnicas de fitorremediación en los suelos contaminados por petróleo y metales pesados.

**Problema científico:**

¿Cuál es el estado actual del uso de la fitorremediación en áreas contaminadas del Ecuador en los últimos 10 años?

**OBJETIVOS****Objetivo general:**

Evaluar la tendencia en la investigación del uso de la fitorremediación en el Ecuador en los últimos diez años.

**Objetivos específicos:**

1. Recopilar artículos científicos en el uso de técnicas de fitorremediación en los últimos diez años.
2. Generar una base de datos con las variables más relevantes usadas en investigación sobre fitorremediación en el Ecuador.
3. Analizar la eficiencia y viabilidad del uso de las técnicas de fitorremediación en el Ecuador.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1 El recurso suelo**

El suelo se forma por el fenómeno de la meteorización a partir del material parental siendo un soporte de la vegetación del planeta. Se puede dividir en tres fases que son líquida, sólida y gaseosa, las cuales son elementos importantes para la vida vegetal, animal y de los seres humanos (Marín, 2018).

Asselin (2015) menciona que el suelo es la capa superficial natural y debe ser considerado un recurso valioso por la microbiota que se encuentra en él. El suelo es un limitante que se encuentra en una creciente presión, por el uso cada vez mayor que se le da, caracterizado por el aprovechamiento con fines agrícolas, forestales, pastorales y de urbanización; con el único objetivo de satisfacer la producción de alimentos, energía y extracciones de materias primas para el crecimiento de la población.

#### ***2.1.1 Actividades que degradan la calidad del recurso suelo***

La calidad del suelo es considerada como el sostén de producir a una alta productividad sin perder sus propiedades físicas, químicas y biológicas que la convierten en un suelo productivo. Una de las principales características del suelo contiene materia orgánica y diversidad de organismos o productos microbianos, que a lo largo del tiempo se ha perdido por diferentes actividades que han degradado su estructura y propiedades del mismo (Cruz *et al.*, 2004).

Una de las principales causantes de la degradación del suelo es el ser humano, al realizar actividades como sobrepastoreo, deforestación, malas prácticas agrícolas, derrames de petróleo, incendios forestales, extracciones de mineras, inundaciones, cambio climático y el crecimiento de la población, dejando pocas tierras productivas (Cruz *et al.*, 2004).

## 2.2 Contaminación por hidrocarburos en Ecuador

Linan (2015) considera que, la contaminación industrial se da por la quema de combustibles fósiles como petróleo y sus derivados (carbón y gas) que contaminan el aire, suelo y agua.

El mismo autor menciona que, no solo la contaminación se da por la quema de combustibles sino también por el uso excesivo de fertilizantes y pesticidas, por otro lado, se da por el uso y almacenamiento de desperdicios orgánicos e inorgánicos como plásticos desechados por restaurantes, mercados y hospitales, entre otros.

Según Cuenca *et al.* (2021), en el Ecuador existen dos áreas donde se realizan extracciones de petróleo, en la península de Santa Elena y región de la amazónica (provincias de Sucumbíos, Pastaza, Napo y Morona Santiago). Así como consideran que la contaminación industrial en nuestro país empezó desde el siglo XIX cuando iniciaron las actividades de exploración petrolera; considerando el principal descubrimiento a la provincia de Santa Elena (1911) cuando Anglo Ecuadorian Oil Fields perforó los suelos de Ancón.

Por otro lado, Vizuite *et al.* (2019) menciona que, en una investigación realizada en PetroEcuador durante los años 2000 a 2014 registró 539 derrames de petróleo en el oriente ecuatoriano. El Ministerio del Ambiente de Ecuador considera que los derrames producidos en los años mencionados se deben a factores mencionados en la Tabla 1.

**Tabla 1.** Factores de derrames de petróleo en el Ecuador

<b>Factores de derrames de petróleo</b>	<b>Porcentaje de contaminación de petróleo</b>
<b>Corrosión</b>	28 %
<b>Atentados</b>	26 %
<b>Fallas mecánicas</b>	17.8 %
<b>Fallas humanas</b>	11.8 %
<b>Desastres naturales</b>	1.5 %
<b>Sin dato de causa</b>	14.5 %

**Fuente:** Vizuite *et al.* (2019)

En el año de 2013 se reportó un derrame de 11.400 barriles de petróleo en la región de la Amazonia ecuatoriana, afectando de manera directa al Río Coca y en el 2014 un derrame de petróleo por deslizamiento de tierra afecto al río Parahuaico y a 200 familias del sector (PetroEcuador, 2014).

Durante los años 2015 al 2021 en Ecuador, se han presentado más de 900 derrames de petróleo a causa de roturas de tuberías del Oleoducto de Crudos Pesados (OCP) que se encuentran en la provincia de Napo, afectando a la zona colindante (Rojas, 2022).

### 2.2.1 Características de los hidrocarburos

Los hidrocarburos son compuestos formados por átomos de carbono e hidrógeno siendo compuestos básicos de la química orgánica; también se componen de azufre, nitrógeno u oxígeno, pero en bajas concentraciones. Dentro de la química, los hidrocarburos pertenecen a las familias de los alcanos, naftenos y aromáticos. Aunque los hidrocarburos son una de las principales fuentes de economía en algunas familias, también es considerado como un compuesto perjudicial para el medio ambiente (Ñústez *et al.*, 2014).

El petróleo es un producto no renovable y una sustancia oscura que se encuentra en profundidades de la tierra por una mezcla de compuestos orgánicos, menos densos que el agua y será explotado por muchos años (Aguas, 2016).

El gas natural es otra fuente de hidrocarburos de cadena corta constituido por una mezcla de gases como el metano, siendo el más representativo; además están el nitrógeno, dióxido de carbono y etano (Rodríguez, 2009).

El carbón se origina de una roca sedimentaria compuesta de carbono y elementos como hidrógeno, azufre, oxígeno y nitrógeno, elementos que componen a un hidrocarburo, sirve como una fuente primordial para la electricidad y energía (Anon., 2017).

Según Poveda (2013), los hidrocarburos se conocen por sus características como olor, densidad, color, volatilidad y composición (Tabla 2).

**Tabla 2.** Características de los hidrocarburos

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
<b>Olor</b>	Corresponde a la naturaleza y composición del aceite crudo, ya que los hidrocarburos no saturados dan olores desagradables por los compuestos del azufre.
<b>Color</b>	Este puede variar de amarillo al rojo pardo y negro.
<b>Densidad</b>	Es liviano y su peso específico va depender de factores físico y composición.
<b>Composición</b>	Se compone de carbono con un porcentaje del 83 al 87 e hidrógeno con un porcentaje 11 al 14 %.
<b>Volatilidad</b>	Depende de los puntos de ebullición de los diversos componentes.

**Fuente:** Poveda (2013).

Según Catagña (2016) considera que la contaminación por petróleo causa la impregnación de metales pesados que se derivan de este hidrocarburo en la corteza terrestre, son los que provocan un desequilibrio en el ecosistema debido a las altas concentraciones que se pueden encontrar en el suelo, entre los principales metales se encuentran el plomo, mercurio, antimonio, níquel, cadmio, selenio y cobalto. Los cinco metales pesados más comunes son:

- **Plomo:** Se halla en bajas concentraciones en el suelo, inofensivos para los microorganismos de la tierra, pero en altas concentraciones, se esparce en el suelo causando alteraciones en el medio terrestre como en la síntesis clorofílica de la planta y perjudicando su crecimiento.
- **Cadmio:** En altas concentraciones en el suelo puede permanecer por varios años, de tal forma que, si no se toman medidas adecuadas para su recuperación, las especies vegetales del lugar tienden a morir. También limita la vida de los microorganismos del suelo.
- **Cobalto:** Es un micronutriente indispensable para las plantas, sin embargo, si aumenta su concentración en el suelo, puede afectar más a la capa terrestre que a la propia planta y esto dará como resultado un severo daño en el ecosistema.
- **Mercurio:** La contaminación por mercurio en el suelo causa severas afectaciones en los microorganismos del suelo, lo cual provocará un gran desequilibrio en el medio ambiente, afectando a la microfauna terrestre responsable de descomponer la materia orgánica y determinados tipos de materia inorgánica.
- **Cromo:** Es un metal que se lo puede encontrar en suelos arcillosos y rocas ígneas de forma natural, pero en altas concentraciones en el suelo perjudica la flora y fauna terrestre.

### 2.3 Contaminación por metales pesados en Ecuador

Los metales pesados son conjuntos de elementos químicos que tienen propiedades metálicas, presentan una alta densidad. Estos causan daños tóxicos para los seres humanos, suelo, aire y agua; entre ellos se encuentran el mercurio, níquel, cobre plomo y cromo. Según Covarrubias y Peña (2017), actualmente la técnica de fitorremediación es utilizada para contribuir a la descontaminación provocada por cualquier elemento químico que tenga el potencial de causar problemas de toxicidad.

La contaminación por cualquier tipo puede producirse de manera antropogénica por vertidos tratados, aguas residuales sin ser tratadas y residuos sólidos, pero también pueden ingresar sustancias contaminantes de forma natural por procesos geoquímicos como erosión de rocas y reacciones de transformaciones. Dentro de lo que corresponde a la acción antropogénica se encuentran los metales generados por las actividades de minería, petroleras, industriales y urbanas (Covarrubias y Peña, 2017).

Los metales pesados al encontrarse en componentes ambientales pueden sufrir diversas transformaciones físicas y químicas, pero se encuentran proporciones bajas como iones, compuestos de sales, carbonatos e hidróxidos, pero cuando tienen contacto con el agua son movilizados por las corrientes, las cuales se van almacenando y acumulando en el suelo con ayuda de la precipitación (Cabrera, 2018).

El Ecuador posee 283.560 km<sup>2</sup> de las cuales se tienen 126 áreas que son protegidas según la base de datos de Environmental Justice Organisations, Liabilities and Trade en el año 2016 han demostrado que existe contaminación química en las áreas protegidas de Latinoamérica, por esta razón la contaminación por metales es un motivo importante para estudiar sus consecuencias. De este modo entre estas áreas protegidas está el lago Limoncocha (Provincia Sucumbíos) y su reserva que son afectadas por dicha contaminación (Cabrera, 2018).

Por otra parte, el Ministerio del Ambiente de Ecuador (2015), permite concentraciones máximas de elementos químicos en los suelos que se muestran en la Tabla 3.

**Tabla 3.** Concentraciones máximas permitidas para suelos en Ecuador

<b>Metales (mg/ kg d.w)</b>	<b>Concentraciones en el suelo (mg/ kg)</b>
<b>Cadmio</b>	0,50
<b>Cobre</b>	25
<b>Cromo</b>	54
<b>Mercurio</b>	0,10
<b>Níquel</b>	19
<b>Plomo</b>	19
<b>Zinc</b>	60

**Fuente:** Ministerio del Ambiente de Ecuador (2015).

### 2.3.1 Características de metales pesados

Según Cubedo (2009), los metales pesados contienen características descritas en la Tabla 4.

**Tabla 4.** Características de los metales pesados

<b>Características</b>	<b>Descripción</b>
<b>Olor</b>	No contienen olor.
<b>Color</b>	El color puede ser entre gris, gris rosáceo.
<b>Volatilidad</b>	No son volátiles, solo si se aplica calor.
<b>Densidad</b>	Su densidad es alta de 5 a 7 g/cm <sup>3</sup> .

**Fuente:** Cubedo (2009).

### 2.4 Fitorremediación

Según Valencia *et al.* (2017), el concepto de fitorremediación es la utilización de las plantas y microorganismos que se relacionan entre sí, permitiendo revolver, detener y disminuir partes que se encuentren contaminadas por hidrocarburos o metales pesados. Cruz *et al.* (2014) mencionan que a fitorremediación es una tecnología que cumple con los procesos de separación, trasmisión, estabilización, degradación y disminución de los contaminantes orgánicos e inorgánicos que son tóxicos para el suelo y agua.

A partir de esto, los mismos autores mencionan que esta técnica de fitorremediación es de bajo costo y regenerativa en todas las áreas que se aplica la técnica; reactivando la vegetación perdida por consecuencia de la contaminación por petróleo y metales pesados.

La fitorremediación contiene mecanismos con las cuales también se pueden reducir la contaminación por petróleo y metales pesados; entre estos mecanismos que se pueden relacionar con la fitoextracción, fitoestabilización, fitoinmovilización, fitovolatilización y rizodegradación. Las dos últimas tecnologías mencionadas anteriormente son responsables de la recuperación de los suelos contaminados por petróleo, donde la fitoextracción y fitoestabilización se utilizan para los suelos contaminados por metales pesados (Astudillo y Vicente, 2020).

En la Tabla 5, se detallan los mecanismos relacionados con la aplicación de fitorremediación de acuerdo con el medio contaminado y el contaminante orgánico e inorgánico.

**Tabla 5.** Métodos involucrados en la tecnología de la fitorremediación

<b>Métodos involucrados en la fitorremediación</b>		
<b>Contaminantes orgánicos</b>	<b>Medio contaminado</b>	<b>Contaminantes inorgánicos</b>
<b>Fitovolatilización</b>	Atmósfera	Fitovolatilización
<b>Fitodegradación</b>	Plantas	Fitoacumulación Fitoextracción
<b>Rizofiltración</b>	Suelo	Rizofiltración
<b>Rizodegradación</b>		Fitoestabilización
<b>Fitoestabilización</b>		

Fuente: Martinez (2018).

#### 2.4.1 Técnicas de fitorremediación

El proceso de fitorremediación tiene diferentes tipos de técnicas que pueden utilizar las plantas para recuperar la calidad del suelo. En la tabla 6 se describen los diferentes tipos de procesos de la fitorremediación y el elemento que puede tratar de acuerdo con el tipo de técnica.

**Tabla 6.** Procesos utilizados por tipos de fitorremediación

<b>Tipos de fitorremediación</b>		
<b>Tipo</b>	<b>Proceso</b>	<b>Contaminante</b>
<b>Fitoextracción</b>	Utiliza plantas y raíces para concentrar metales pesados.	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, mercurio, plomo, selenio y zinc.
<b>Rizofiltración</b>	Utiliza las raíces de las plantas haciendo el proceso de absorber, precipitar y acumulación de metales pesados.	Cadmio, cobalto, cromo, níquel, selenio, plomo, compuestos fenólicos y radioactivos.
<b>Fitoestabilización</b>	Solo plantas tolerantes a reducir la movilidad de estos.	Lagunas de desechos de yacimientos mineros, compuestos clorados y fenólicos.
<b>Fitoestimulación</b>	Utilizan exudados radiculares promoviendo el crecimiento de	Hidrocarburos, sus derivados y policromáticos como atrazina, benceno, etc.



<b>Fitovolatilización</b>	microorganismos como bacteria y hongos. Utilizan plantas que captan metales pesados o compuestos orgánicos y mediante la transpiración los liberan a la atmósfera.	Selenio, tetraclorometano y triclorometano.	mercurio, y
<b>Fitrodegradación</b>	Usan plantas acuáticas y terrestres están acumulan, captan y degradan compuestos orgánicos para subproductos menos y nada tóxicos.	Nitrobenceno, pesticidas fosfatados, nitrilos, entre otros.	atrazina, fenoles y

**Fuente:** Jaramillo y Flores (2012).

## 2.5 Estudios de fitorremediación en Ecuador en los últimos diez años

En el año 2012 se utilizaron especies nativas de la región andina-amazónica, originarios de la zona Baeza-El Chaco (provincia Pichincha) (ambientes semi-controlados), se llevaron las especies rosa de agua, dormidera, árbol de olivo y verbena del litoral; se emplearon concentraciones de 3 y 6% de petróleo más sustrato; luego de cinco meses de trasplantadas, las raíces se desarrollaron hasta donde se encontraba el sustrato, pero el árbol de olivo y verbena del litoral demostraron en sus raíces un mayor crecimiento, demostrando mayor características fitorremediadoras; mientras que, la rosa de agua y dormidera no son plantas con características fitorremediadoras. Finalmente concluyeron que las especies árbol de olivo y verbena de litoral en concentraciones de 3% degradaron el contaminante (Bárcenas y Yáñez, 2012).

Jaramillo y Flores (2012) empleando las especies acuáticas jacinto y lenteja de agua, en sistemas acuáticos contaminados por mercurio a causa de la minería, en un ambiente semicontrolado con una concentración de 1.2 ppm de mercurio. Obtuvieron 0.366 ppm en agua, donde ambas especies al quinto día de estudio presentaron síntomas de intoxicación y

la de mayor acumulación del contaminante la registró el jacinto de agua con 29.5% de absorción en sus estructuras.

Bonilla (2013) en su investigación de biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación, en especies de alfalfa, amaranto y acelga en condiciones de invernadero, usando concentraciones de 2.5 a 10% de plomo; presentó como resultado que las plantas durante los 30 días pudieron adaptarse, crecer y almacenar el plomo en sus tejidos, pero a los 90 días decrecieron por intoxicación causada por el plomo. Señalando que, en el ensayo incluyeron dos tipos de germinación, con y sin abono orgánico; ambas expuestas a concentraciones de plomo; cuyo mejor resultado con mayor cantidad para almacenar plomo fueron las plantas germinadas con abono orgánico.

Según González (2014), empleando las especies vegetales diente de león y alfalfa, en la recuperación de suelos contaminados con metales con 300, 500 y 800 mg de plomo por kilogramo. Estas plantas se llevaron desde la germinación con ayuda de sustratos, en total fueron 24 plantas, separadas en 12 para alfalfa y 12 para diente de león donde 3 plantas por cada especie se le incorporó quelante (EDTA) para ayudar a la absorción del contaminante; resultando que, en la alfalfa hubo poca acumulación de plomo a diferencia del diente de león que acumuló la mayor cantidad, pero esta última con síntomas de marchitamiento.

En la investigación realizada por Guevara y Cando (2015) sobre fitorremediación de metales pesados, la especie jacinto de agua tras una larga investigación, determinaron que esta especie pone en peligro varios ecosistemas aprovechándose de los nutrientes que se encuentran en el agua, pero que con controladores biológicos se obtienen resultados exitosos y la capacidad de acumular los metales pesados, recomiendo que se cultive en aguas artificiales para controlar su reproducción.

En la investigación realizada por Oquendo (2016) sobre fitorremediación de suelos con metales pesados (plomo, Pb) utilizaron la especie cola de gato, sembradas en sustrato de turba rubia, por 10 días se aplicó el contaminante plomo; en 4 tratamientos, a concentración de 2, 5 y 10 ppm de Pb y el último solo turba. Los resultados mostraron que el primer tratamiento de 2 ppm removió 1.25 ppm, el segundo tratamiento 5 ppm solo removió 2 ppm y el tercer tratamiento con 10 ppm removió el 2.76 ppm del plomo, demostrando que la cola de gato pudo remover las 3 concentraciones del contaminante expuesto.

Morales y Logroño (2016), sembraron pepino en suelo contaminado con cromo, mediante técnicas de fitoestabilización y fitoinmovilización determinaron su estudio desde la germinación directamente en el suelo con tres tratamientos, incluyendo concentraciones de 63, 125 y 250 mg Cr/ kg, luego de los 8 días de germinación presentaron como resultado que la planta de pepino en el día 30 presentó 29%, a los 60 días el 32% y a los 80 días 38% de absorción del contaminante en sus 3 tratamientos, evidenciando que la concentración 63 y 125 mg Cr/kg disminuyeron el contaminante después de los 80 días, consiguiendo llegar a concentraciones aceptables.

Abril (2016) realizó un estudio piloto en suelo y agua contaminados de cromo con las especies alfalfa y jacinto de agua. En el estudio con el suelo utilizó 25 kg de tierra y se adicionó 10 litros de cromo, en cambio para el agua emplearon 30 litros de agua con 60 mL de cromo en concentración de 100 mg/L. Las dos especies tuvieron un total de 65 días en tratamientos dando como resultando que, la alfalfa en suelo contaminado con 0.28 mg/kg fueron transplantadas presentando marchitez y caídas de sus hojas, pero si pudo adaptarse al suelo contaminado y almacenar el cromo en sus tejidos. Para jacinto de agua, utilizada para el estudio en agua contaminada por cromo, retuvo el 86,06 % del contaminante en sus tejidos.

Mera (2016) realizó una evaluación con las especies jacinto y lenteja de agua en contenedores de vidrio con agua y 1 litro de solución de plomo bajo invernadero, durante cinco días donde ninguna presentó síntomas de marchitez, necrosis y decoloración de sus hojas. El estudio incluyó una concentración de 5 ppm de nitrato de plomo para cada uno de los seis contenedores, resultando que el contenedor seis fue una mezcla de las dos especies jacinto y lenteja de agua que acumularon mayor cantidad del nitrato de plomo, demostrando que juntas pueden disminuir más rápido el contaminante.

Según Espin *et al.* (2017) emplearon técnicas de fitorremediación para el tratamiento de metales como arsénico, cadmio, cobre, plata y plomo; evaluaron las especies forestales gandul, quinua y puna quishuar durante 27 semanas a concentraciones de 2, 12, 20, 60 y 63 mg/kg, cantidades permisibles; es decir, solo empleadas para el uso agrícola. Demostrando tener absorción y tolerancia a suelos contaminados por los metales descritos.

En la investigación realizada por Toapanta (2017) sobre fitorremediación por aguas residuales, se utilizaron las especies lenteja de agua y totora, durante 3 meses; emplearon

concentraciones de límite permisible 9.0 mg/L para los tratamientos. Determinaron que la especie totora fue la mejor en absorber los contaminantes.

En la investigación realizada por Orejuela (2017) con la especie pico de loro, cultivada hidropónicamente con presencia de cromo en concentraciones de 10, 20 y 30 mg/L durante tres meses bajo invernadero, mencionando que la especie en estudio no es hipermiculadora a pesar de acumular y tolerar el cromo en sus partes aéreas y raíces por presentar debilidad y necrosis; concluyendo que, al trabajar esta misma especie en concentraciones más bajas se la puede utilizar en técnicas de fitoextracción por evidenciar rechazo al cromo.

Quintana (2017) investigó que, una especie de torota junto con filtros de macrófitas flotantes en aguas de lagos eutróficos con alto grado del metal fósforo, en concentraciones de 20 mg/L durante 30 días bajo invernadero, demostró que los filtros de las macrófitas flotantes junto con la torota reproducen microorganismos aeróbicos que ayudan a remover el fósforo (>86 % ) en las raíces y partes aéreas de la plantas.

Calderón (2017) en una investigación explorativa con la especie jacinto de agua; en agua contaminada por metales pesados de un lago; en concentraciones significativas en Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn y Pb durante cuatro meses, observó que la especie en estudio puede remover todos los metales pesados excepto del cadmio; mientras que el zinc y cobre se encuentran dentro de los límites con un 0.16 a 0.28 mg/L; níquel y plomo que encuentran fuera de los límites permitidos con 0.29 a 0.4 mg/L para Ni y de 0.25 mg/L a 0.3 mg/L para plomo logrando exceder sobre los límites a utilizar.

Chercuelon (2017) en una investigación de fitorremediación se utilizaron las especies de buchón y muñequita de agua en el medio de agua contaminada por plomo, en concentraciones de 10, 20 y 30 ppm más agua destilada bajo invernadero durante 60 días. Obteniendo que la muñequita de agua presentó mayor absorción de plomo en sus raíces con 29.90 ppm y en su tallo 19.97 ppm de las concentraciones.

Cerón (2018) en un estudio comparativo con las especies lenteja de agua y tepalacate en aguas contaminadas con cromo y concentraciones de 10, 20 y 30 mg/L más 9 litros de agua durante 60 días. Obteniendo que la planta absorbió el contaminante constantemente sin presentar intoxicación en todas las concentraciones trabajadas con un total de 25.1% del contaminante en sus tejidos; mientras que la tepalacate fue la que menos acumuló en sus

tejidos, pero si presento síntomas letales de color café en sus estructuras, además de presentarse débil durante el estudio.

Coyago y Bonilla (2019) realizaron un estudio con las especies amaranto, acelga y alfalfa en suelos contaminados por plomo en concentraciones de 2.5, 5 y 10% durante 90 días. Obteniendo que la alfalfa y acelga absorbieron el contaminante constantemente sin mostrar intoxicación alguna, pero en todas las concentraciones, las especies de amaranto acumularon el contaminante; sin embargo, a los 30 días de empezar el estudio presentaron desintoxicación, pero con biomasa escasa.

Espinoza y Vallejo (2019) realizaron un estudio con las especies marandú, pasto elefante y flemingia negra en suelos contaminados de metales pesados extraído de relave minero (Arsénico, Cadmio, Cromo, Cobre, Manganeso, Plomo, Níquel, Zinc, Selenio y Vanadio) en concentraciones de 1.000 mg/L. Obteniendo que la flemingia negra en todos los metales mencionados presentó mayor concentración de metales bioacumulándolos en sus partes; mientras que la gramínea que presentó mayor respuesta de acumulación a estos metales fue el pasto elefante en sus hojas.

Alacrón (2020), en su estudio en el cultivo de maíz (*Zea mays*), utilizó las especies lengua de suegra, girasol, croto, jara pringosa, laurel de flor, verdolaga y alfalfa en suelos contaminados por cadmio, plomo, arsénico, zinc y vanadio; plantas que se pueden utilizar como fitorremediadoras para la eliminación de metales pesados por causa de actividad agrícola; reportó que la lengua de suegra y el girasol tienen mayor capacidad fitorremediadora.

Según Briceño *et al.* (2020) en una evaluación de metales en suelos con cebolla de rama, recolectadas cerca del volcán Tungurahua y transportadas hacia el laboratorio para su análisis durante 5 meses. Demostraron que los metales que contenía el suelo y la cebolla de rama, con un espectrofotómetro de absorción atómica, detectaron cobalto, estroncio, plomo, níquel y cadmio. Reportaron bajo pH, materia orgánica y falta de complejos organometálicos, lo cual no permite que los metales sean absorbidos por la planta. Determinaron además que, la cebolla de rama si acumuló metales, pero en bajas concentraciones (0.09 a 2.47 mg /kg) por lo cual no es considerada acumuladora de metales.

Villafuerte (2020) también evaluó dos especies para el estudio de la contaminación del agua, jacinto y lenteja de agua. En el análisis de laboratorio demostró que la especie jacinto de

agua es la que mejor absorbe y mejora la calidad del agua con la remoción del 57.78 % de los contaminantes.

Según Altamirano *et al.* (2020) evaluaron el proceso de fitorremediación en suelos contaminados por azufre durante 120 días; donde sembraron las especies col y cebolla blanca en suelos con pH 4.6 fuertemente ácido y concentración de 1'832.06 mg/kg un nivel excesivo del metal. Reportaron que la col absorbió en la raíz (578 ppm), en el tallo (589 ppm) y hojas (576 ppm); la cebolla blanca, a nivel de raíces (499 ppm), tallo (557 ppm) y hojas (501 ppm); concluyendo que en las dos especies a nivel del tallo presentaron la mayor absorción del metal; pero en cuanto a la concentración final y más alta fue la cebolla blanca con 975.04 mg/kg en el proceso de fitoextracción, considerándola especie hiperacumuladora del azufre.

Según Chavarrea y Aguaisa (2021), empleando rábano y nabo en suelos contaminados por cadmio, utilizando el método de fitoextracción con 178.75 ppm de cadmio durante 60 días, presentó reducción del metal con 24.06 % del contaminante, logrando acumular en tejidos de la parte aérea 9.513 ppm, pero en las hojas y la raíz existió mayor concentración con 13.88 ppm en comparación con el nabo que no pudo germinar en su totalidad como en el rábano.

Según Peña *et al.* (2021) junto con el INIAP (Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias) evaluaron especies arvenses en invernadero sembradas por semillas y estolones; las especies sembradas en forma de estolones son canutillo, verbenilla de vaca, bejuco ubí, ciempiés, patita de Belén, horquetilla, oreja de ratón, campanilla y gloria matutina. Las especies por semillas son caminadora, pangola, yerba carnícera, garrapatilla, arrocillo, hierba de chivo, pajo mona, coquito y hierba mora; todas las plantas se sembraron directamente en el suelo contaminado de cadmio con la concentración de 3 mg/kg durante 75 días, cuyo resultado presentó que por semilla las especies con mayor absorción de cadmio en sus raíces fueron la yerba carnícera (26.7 mg/kg), hierba mora (22.83 mg/kg), pata de gallina (18 mg/kg) y caminadora (15.17 mg/kg); mientras que, para los tejidos aéreos fueron garrapatilla (23.94 mg/kg) y coquito (15.01 mg/kg); mediante estolones la especie con mayor absorción en su raíz fue el bejuco ubí con 23 a 42 mg/kg; por el contrario en tejidos aéreos las especies que mayor absorción presentaron fueron verbenilla de vaca (19.30 mg/kg), oreja de ratón (18.30 mg/kg), patita de belén (15.26 mg/kg) y gloria matutina (12.02 mg/kg). Las especies garrapatilla, coquito y hierba de chivo sirvieron de fitoextractoras de cadmio, considerándolas plantas hiperacumuladoras.

### **3 MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 Material de análisis**

Se realizó un estudio bibliométrico a partir de la búsqueda en bases indexadas como Scielo, Redalyc, Revista ciencia de la vida, Revista de ciencia seguridad y defensas, manual de INIAP, Google académico y repositorios de la universidad del Ecuador de la producción científica en el Ecuador durante los últimos 10 años sobre investigaciones relacionadas con el uso de la fitorremediación en zonas afectadas por contaminación por hidrocarburos y metales pesados, se empleó como palabra clave de búsqueda “Fitorremediación en Ecuador“. A partir de estos documentos, manual y artículos recopilados se creó una base de datos en Microsoft Excel donde se guardó la información con el año, lugar, especie, nombre común, nombre científico, género, familia, tipo de contaminante, medio contaminado de todas las especies que son consideradas hiperacumuladoras.

#### **3.2 Variables**

Se consideraron las variables año de publicación, tipo de publicación, región, medio contaminado, tipo de contaminante y especies vegetales empleadas para conocer el estado actual sobre el uso de fitorremediación en el Ecuador.

#### **3.3 Procedimiento**

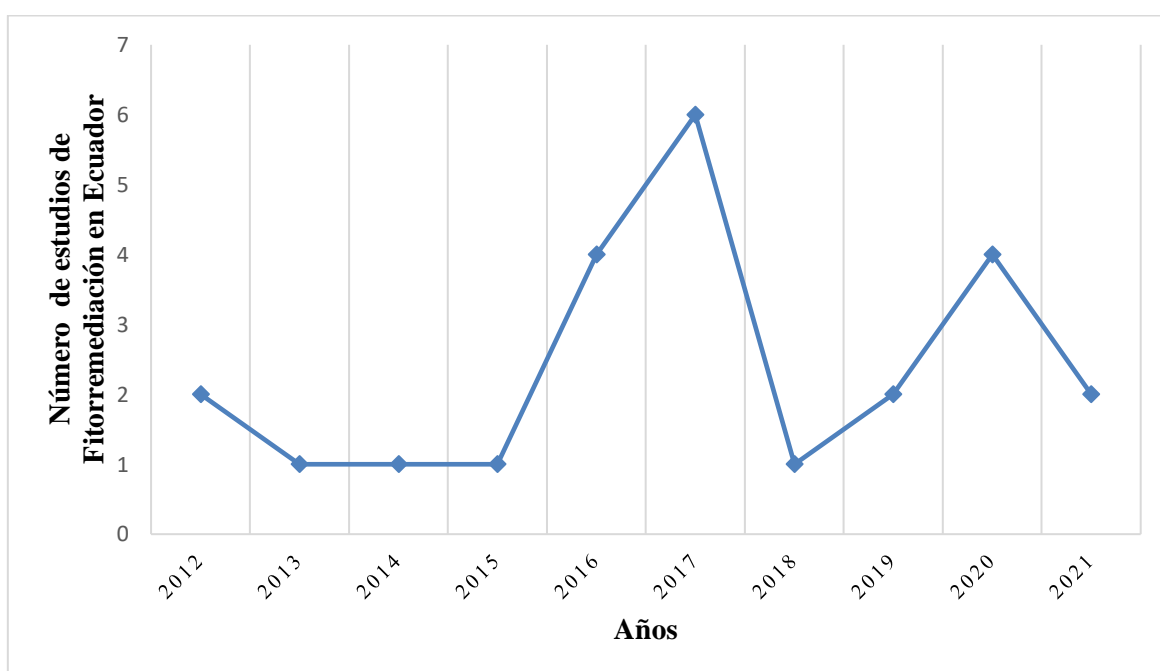
Una vez localizados los artículos científicos y documentos disponibles en los sitios web se recolectó la información sobre el uso específico de la fitorremediación en regiones pertenecientes a Ecuador, incluyéndolos en la base de datos creada para su análisis y elaboración de gráficos y tablas para inferir el estado actual de la aplicación en fitorremediación en el Ecuador.



## 4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 Estado de las investigaciones en fitorremediación en Ecuador en los últimos diez años

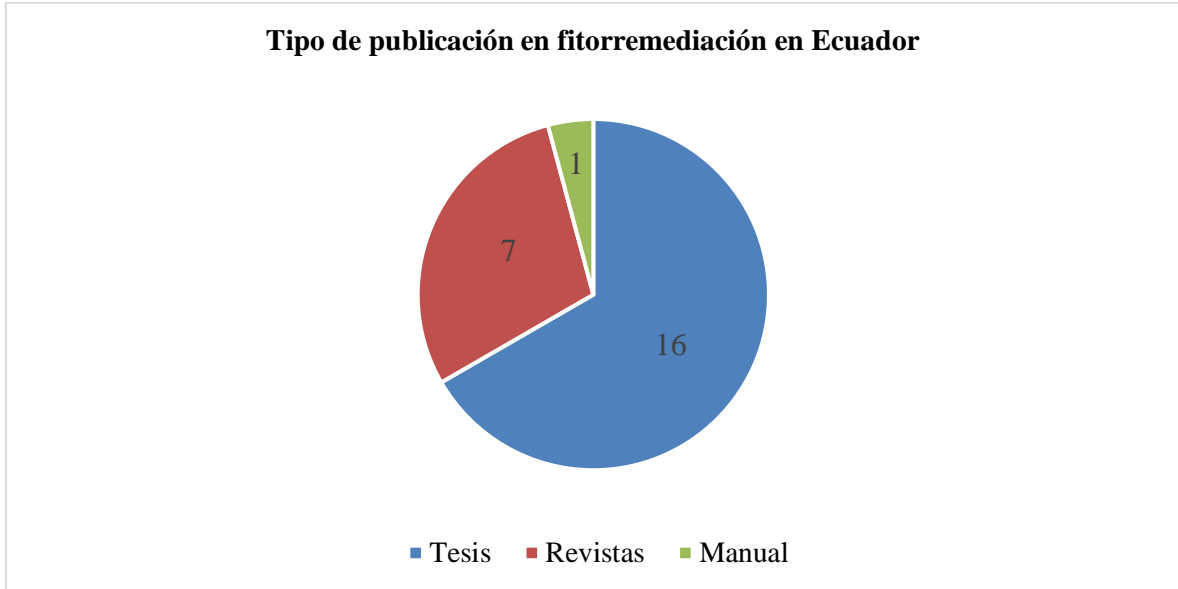
En la Figura 1, se presentan los años de las indagaciones de repositorios, artículos científicos y revistas sobre la fitorremediación realizados en el Ecuador durante los últimos diez años, evidenciando que en el año 2017 se registraron seis documentos, siendo el año con más estudios realizados; en el 2016 y 2020 se registraron cuatro estudios, en el 2012, 2019 y 2021 se encontraron dos registros por cada año; mientras que, en los años 2013, 2014, 2015 y 2018 se encontró un solo estudio.



**Figura 1.** Proceso de estudios relacionados con fitorremediación en Ecuador entre los años 2012 a 2021.

## 4.2 Tipo de publicación

En la Figura 2, muestra los tipos de publicaciones en estudios de fitorremediación realizados en Ecuador durante los últimos diez años, la mayoría obtenidos de los repositorios de las universidades del Ecuador (16 estudios), en diferentes revistas (7 estudios) y por último un documento tipo manual del INIAP. La descripción de las variables año, autores, título de la investigación y el tipo de publicación se presentan en el Anexo 2.

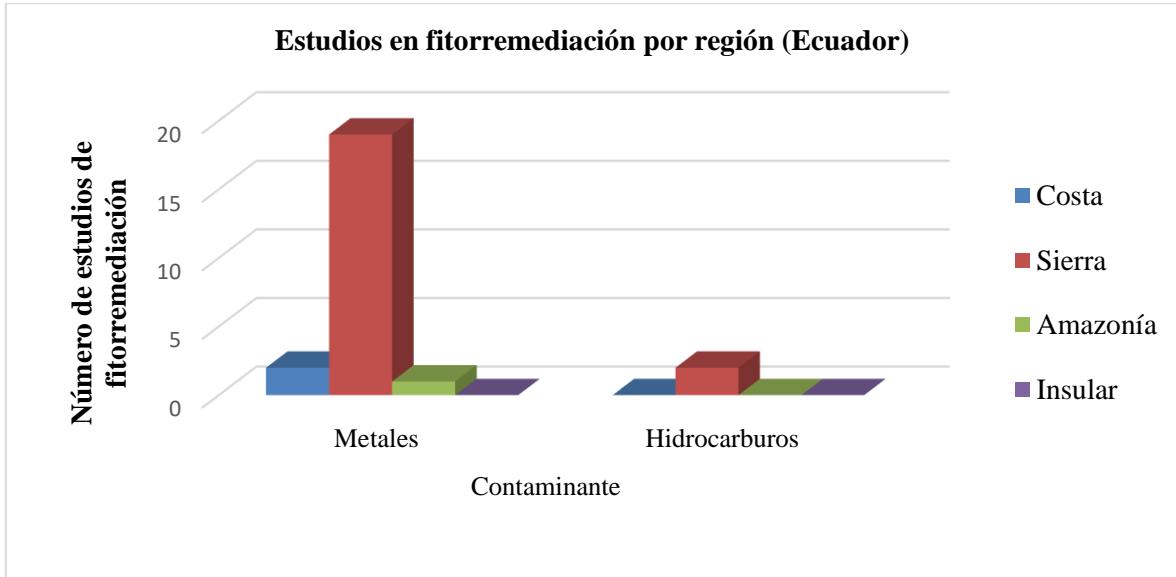


*Figura 2.* Tipo de publicación en estudios de fitorremediación en Ecuador

## 4.3 Región

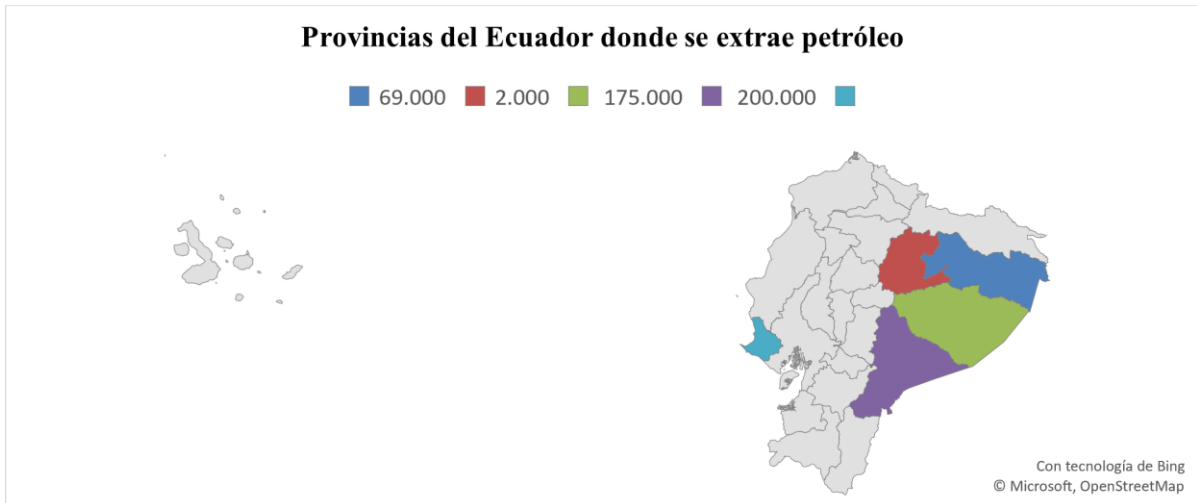
El análisis y la recopilación de la información realizada en los últimos diez años en estudios sobre el uso de la fitorremediación mostró que, en las cuatro regiones del Ecuador por el tipo de contaminante como los metales pesados e hidrocarburos, presentó que en la región sierra existe un mayor número de estudios realizados en metales pesados con un total diecinueve investigaciones; seguido de la región costa con dos estudios y en la amazonía con solo un estudio.

Con el contaminante hidrocarburo solo se registraron dos estudios en la región sierra. Los metales pesados son los más estudiados en la región sierra por las actividades agrícolas mayoritarias.



**Figura 3.** Estudios de fitorremediación en regiones pertenecientes a Ecuador.

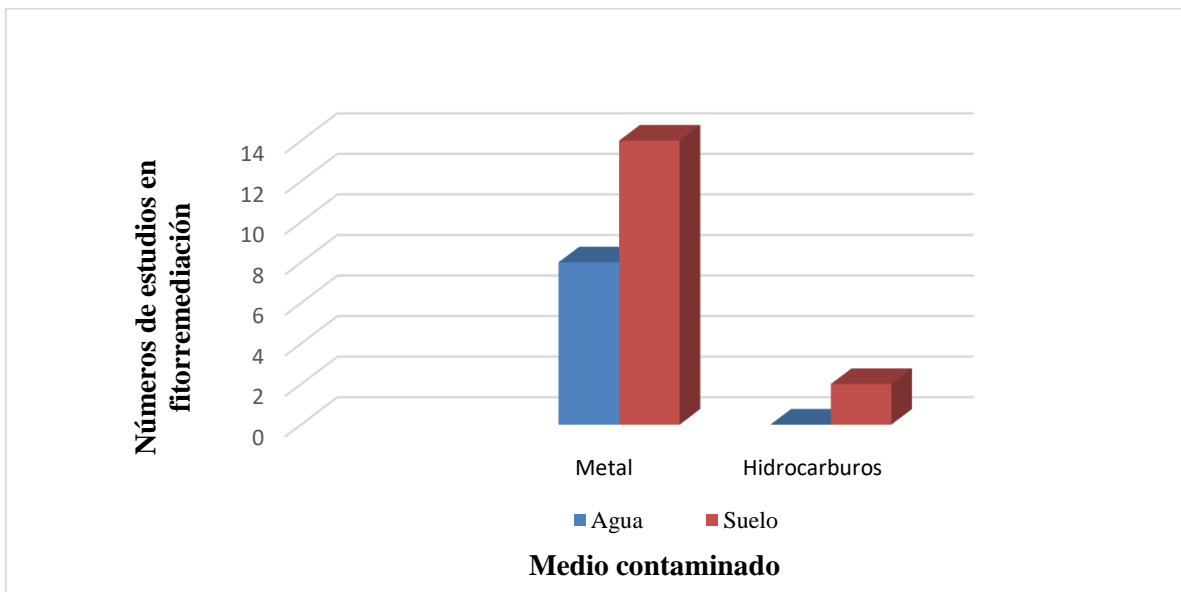
En la Figura 4, muestra las provincias del Ecuador con actividades de extracción petrolera, donde la mayor parte se encuentra en la región de la amazonía, provincias de Sucumbíos, Morona Santiago, Orellana, Pastaza, Napo; y, en la región costa se encuentra la provincia de Santa Elena en Salinas, La Libertad y Ancón; zonas prolíferas donde almacenan el petróleo.



**Figura 4.** Provincias del Ecuador donde se extrae petróleo.

#### 4.4 Medio contaminado

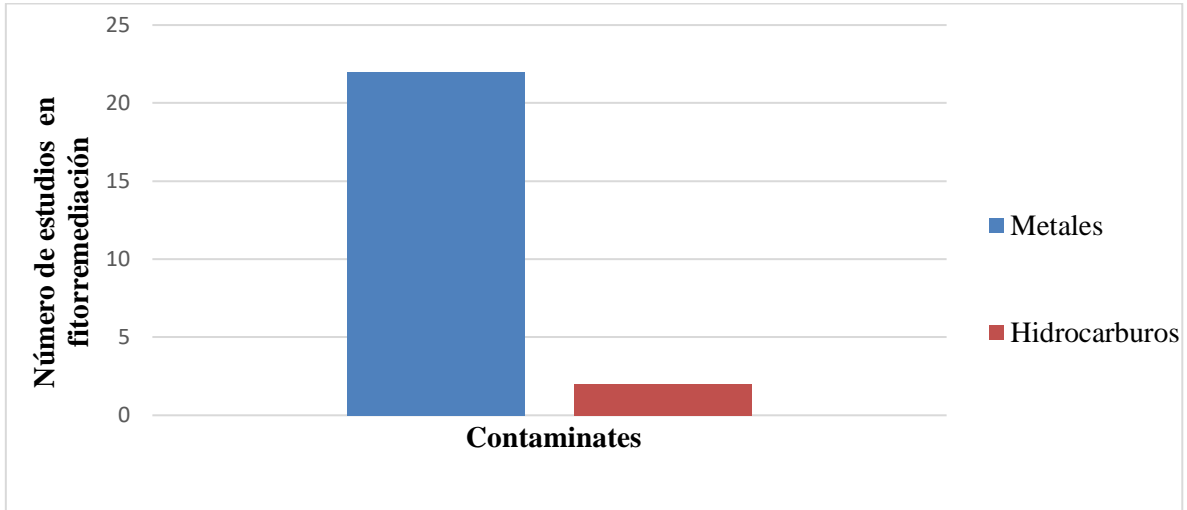
Los datos obtenidos en estudios de fitorremediación en Ecuador mostraron que, los más estudiados son los metales pesados en el suelo, con catorce estudios; ocho estudios en agua. Con el contaminante hidrocarburos sólo se encontraron dos estudios en suelo. Según Llugany *et al.* (2007), los metales son los más estudiados porque las plantas hiperacumuladoras tienen la capacidad de transferir lo absorbido de los metales pesados a otras áreas de la planta considerando que no son partes tóxicas para la misma y aclara que, estas especies hiperacumuladoras solo pueden tolerar de uno a dos metales pesados y deben tener una gran rendimiento de biomasa.



*Figura 5.* Estudios realizados en suelo y agua por metales e hidrocarburos.

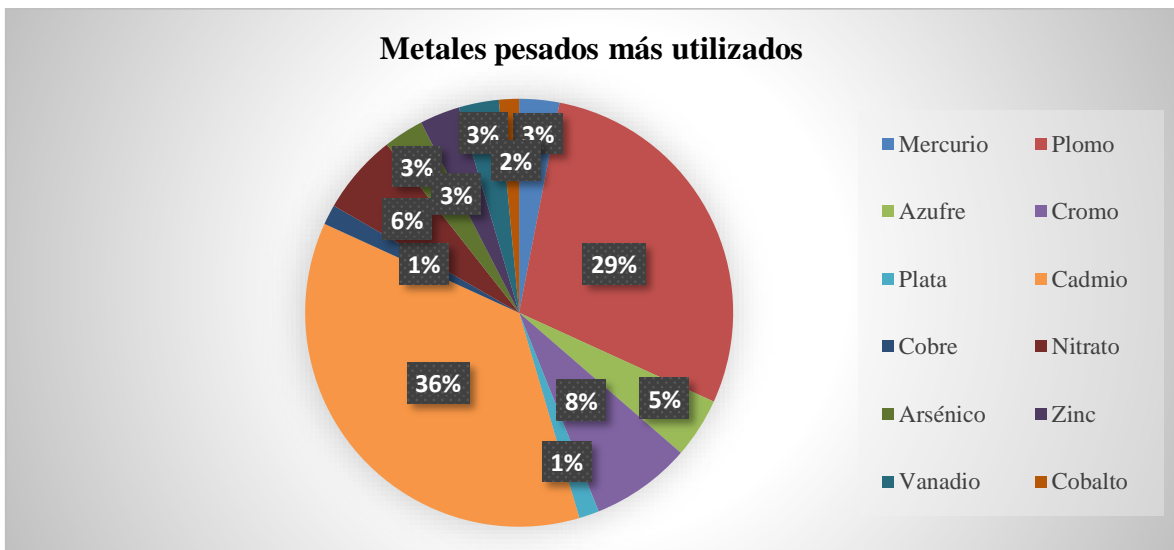
#### 4.5 Tipos de contaminantes

Se reporta la existencia de veinticuatro estudios sobre fitorremediación en Ecuador, encontrando veintidós estudios en metales pesados y dos en hidrocarburos, en la Figura 6 se muestran los tipos de contaminantes reportados; con una mayoría de 92% de estudios con metales pesados y sólo dos para hidrocarburos (8%).



**Figura 6.** Tipos de contaminantes en fitorremediación en Ecuador.

La Figura 7, muestra los metales pesados que se determinaron en los 24 estudios encontrados de fitorremediación en Ecuador, resultando en primer lugar al cadmio con el 36 %, siguiéndole el plomo con el 29 %, luego vienen los metales plata y cromo que poco fueron determinados en los medios contaminados encontrados.



**Figura 7.** Metales pesados con mayor número de investigaciones de fitorremediación en Ecuador, durante los años 2012 a 2021.

#### 4.6 Especies vegetales utilizadas en Fitorremediación

Se registraron 53 especies de plantas agrupadas por las categorías taxonómicas, 51 géneros, 31 familias y 21 órdenes.

En la tabla 7 se muestran las 53 especies, el tipo de contaminante y año de publicación. La especie más usada fue *Eichornia crassipes*, familia Pontederiaceae, orden Commelinales con seis estudios en los metales mercurio, nitrato, níquel, cromo, plomo y cobalto. *Medicago sativa*, familia Fabaceae, orden Fabales con cinco estudios para metales: tres con plomo, uno cromo y uno con arsénico; además. La especie *Lemna minor*, familia Araceae y orden Alismatales con cuatro estudios para metales (uno mercurio, uno en cromo y dos nitratos), también se encuentran *Amaranthus* y *Beta vulgaris* de la familia Amaranthaceae y orden Caryophyllales; *Brassica rapa* que corresponde a la familia Brassicaceae, orden Brassicales con dos estudios cada especie en metales plomo y cadmio; por último, la especie *Schoenoplectus californicus*, familia Cyperaceae, orden Cyperales con dos estudios en fósforo y nitrato.

**Tabla 7.** Especies vegetales utilizadas en fitorremediación en Ecuador.

Nº	Especie	Tipo de contaminante	AÑO
1	<i>Ludwigia peruviana</i>		
2	<i>Mimosa polydactyla</i>		
3	<i>Tessaria integrifolia</i>	Petróleo, mercurio,	2012,2015,2016,2017,
4	<i>Eichornia crassipes</i>	plomo, cromo.	2018,2020
5	<i>Lemna minor</i>		
6	<i>Verbena litoralis</i>		
7	<i>Amaranthus L.</i>		
8	<i>Zea mays</i>		
9	<i>Brassica rapa</i>		
10	<i>Sinapis alba</i>	Plomo, cromo	2013, 2014,2016, 2019,
11	<i>Sesbania grandiflora</i>		2020, 2021
12	<i>Medicago sativa</i>		
13	<i>Beta vulgaris</i>		
14	<i>Taraxacum officinale</i>	Plomo.	2014
15	<i>Cucumis sativus</i>		
16	<i>Typha latifolia</i>	Plomo, cromo.	2016
17	<i>Limnocharis Flava</i>		
18	<i>Hydrocotyle Bonariensis</i>	Plata, cadmio,	
19	<i>Schoenoplectus californicus</i>	fósforo, níquel,	2017
20	<i>Heliconia psittacorum</i>	plomo.	
21	<i>Myoporum laetum</i>		

22	<i>Polylepis racemosa</i>		
23	<i>Buddleja coriácea</i>		
24	<i>Limnobiium laevigatum</i>	Cromo.	2018
25	<i>Brachiara brizantha</i>		
26	<i>Pennisetum purpureum</i>	Plomo, cadmio, arsénico, zinc.	2019
27	<i>Flemingia macrophylla</i>		
28	<i>Helianthus annuus</i>		
29	<i>Croton L.</i>		
30	<i>Cistus ladanifer</i>		
31	<i>Laurus nobilis</i>	Cadmio, arsénico,	
32	<i>Portulaca oleracea</i>	zinc, vanadio,	2020
33	<i>Allium fistulosum</i>	cobalto, azufre.	
34	<i>Allium fistulosum L</i>		
35	<i>Brassica oleracea</i>		
36	<i>Dracaena trifasciata</i>		
37	<i>Commelina communis</i>		
38	<i>Bauhinia forficata</i>		
39	<i>Cissus verticillata</i>		
40	<i>Impatiens walleriana</i>		
41	<i>Eleusine indica</i>		
42	<i>Dichondra argentea</i>		
43	<i>Convolvulus L</i>		
44	<i>Ipomoea purpurea</i>		
45	<i>Digitaria eriantha</i>	Cadmio.	2021
46	<i>Conyza canadensis</i>		
47	<i>Casearia corymbosa</i>		
48	<i>Echinochloa colonum</i>		
49	<i>Ageratum conyzoides</i>		
50	<i>Cyperus rotundus</i>		
51	<i>Solanum nigrum</i>		
52	<i>Leptochloa</i>		
53	<i>Raphanus sativus</i>		

Acorde a la información encontrada se puede afirmar que, existen especies que se adaptan, toleran, absorben y acumulan las concentraciones de los contaminantes metales pesados y petróleo en estudios realizados en Ecuador. Castro *et al.* (2022) mencionan que las plantas utilizadas para la fitorremediación deben tener la capacidad de resistir factores abióticos como temperaturas altas, falta de agua y alto grado de sales ya que son necesarios para el crecimiento y desarrollo de las plantas porque no permitirá que absorban los nutrientes y

prohiben el proceso de fotosíntesis, en otras palabras, restringen el proceso de fitorremediación.

De manera que, en la Tabla 8, se muestran las cuarenta y dos especies consideradas hiperacumuladoras, año, nombre común, tipo de contaminante y la concentración inicial que cada autor propuso, para comprobar si acumulaban el tipo de contaminante en estudio y teniendo en cuenta que estas especies son de diferentes familias y tendrán características morfológicas distintas siendo plantas perennes, arvenses y de ciclo corto consideradas hiperacumuladoras.

**Tabla 8.** Especies hiperacumuladoras utilizadas en Ecuador.

<b>Especies hiperacumuladoras</b>					
<b>N°</b>	<b>Año</b>	<b>Especies</b>	<b>Nombre común</b>	<b>Tipo de contaminante</b>	<b>Concentración</b>
1	2012	<i>Verbena litoralis</i>	Verbena del litoral	Petróleo	3%
2		<i>Tessaria integrifolia</i>	Árbol de olivo		
3	2012	<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	Mercurio	1.2 ppm
4	2014	<i>Taraxacum officinale</i>	Diente de lezón	Plomo	300, 500 y 800 mg/kg
5	2015	<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	Cobalto	200 mg/kg
6	2016	<i>Typha latifolia</i>	Cola de gato	Plomo	2, 5 y 10 ppm
7	2016	<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	Cromo	10 L
8	2016	<i>Lemna minor</i>	Lenteja de agua	Plomo	5 ppm
9		<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua		
10	2016	<i>Cucumis sativus</i>	Pepino	Cromo	63, 125 y 250 mg Cr/ kg suelo
11	2016	<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	Cromo	100 mg/L
12	2017	<i>Myoporum laetum</i>	Gandul	Arsénico, cadmio, cobre, plata y plomo.	2, 12, 20, 60 y 63 mg/kg
13		<i>Polylepis racemosa</i>	Quinua		
14		<i>Buddleja coriacea</i>	Puna quishuar		
15	2017	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Totora	Cobalto y plomo	9.0 mg/L
16	2017	<i>Myoporum laetum</i>	Gandul	Arsénico, cadmio, cobre, plata y plomo.	2, 12, 20, 60 y 63 mg/kg
17		<i>Polylepis racemosa</i>	Quinua		
18		<i>Buddleja coriacea</i>	Puna quishuar		

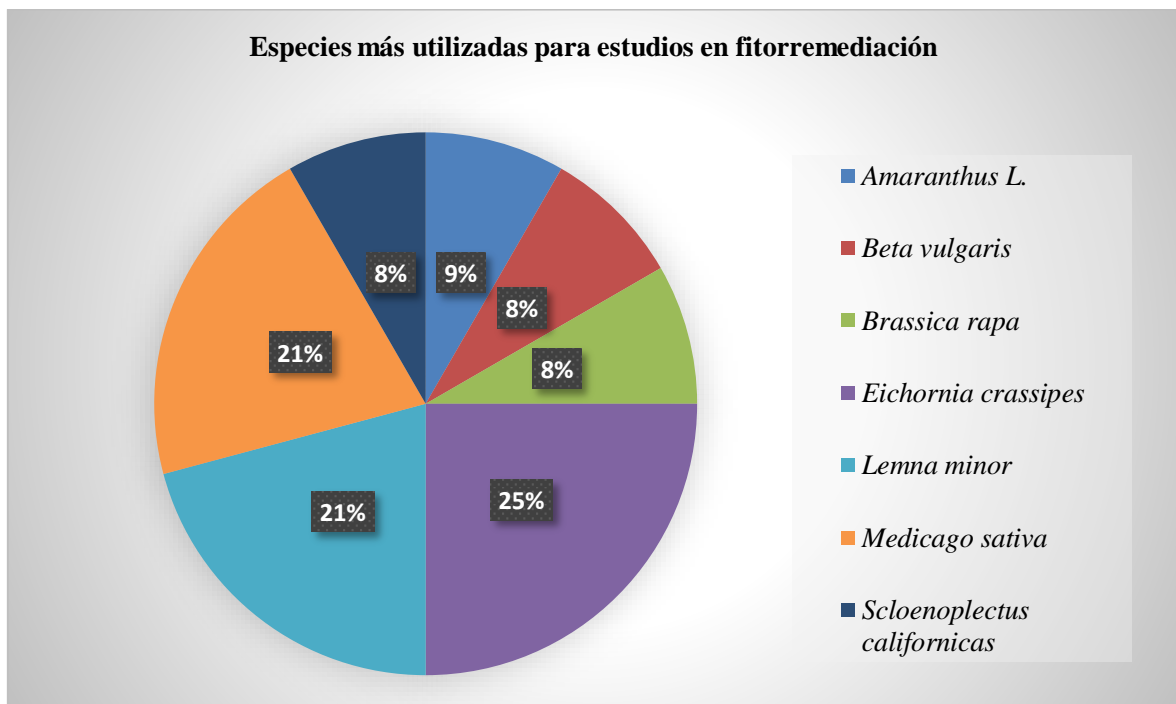


19	2017	<i>Schoenoplectus californicus</i>	Totora	Fósforo	20 mg/L
	2017	<i>Eichornia crassipes</i>	Jacinto de agua	Arsénico, cadmio, cobre, plata y plomo	
20	2017	<i>Hydrocotyle bonariensis</i>	Muñequita de agua	Plomo	10, 20 y 30 ppm
21	2018	<i>Lemna minor</i>	Lenteja de agua	Cromo	10, 20 y 30 mg/L
22	2019	<i>Flemingia macrophylla</i>	Flemingia negra	Arsénico, cadmio, cobre, plata y plomo.	1000 mg/L
23		<i>Dracaena trifasciata</i>	Lengua de suegra		
24		<i>Helianthus annuus</i>	Girasol		
25		<i>Croton L.</i>	Croto	Cadmio, plomo, arsénico, zinc y vanadio.	5 y 10 ppm
26	2020	<i>Cistus ladanifer</i>	Jara		
27		<i>Laurus nobilis</i>	Pringosa		
28		<i>Portulaca oleracea</i>	Laurel de flor		
29	2020	<i>Allium fistulosum</i>	Verdolaga	Cobalto, estroncio, plomo, níquel y cadmio	200 mg/kg
30	2020	<i>Cistus ladanifer</i>	Cebolla de rama	Plomo, mercurio, zinc	100 gr
31	2020	<i>Allium fistulosum</i>	Jacinto de jara	Azufre	1832.06 mg/kg
32	2021	<i>Raphanus sativus</i>	Cebolla blanca	Cadmio y plomo	178.75 ppm
33		<i>Conyza canadensis</i>	Rábano		
34		<i>Solanum nigrum</i>	Yerba carnicera		
35		<i>Convolvulus L</i>	Hierba mora		
36		<i>Casearia corymbosa</i>	Caminadora		
37		<i>Cyperus rotundus</i>	Garrapatilla		
38	2021	<i>Cissus verticillata</i>	Coquito	Cadmio	3 mg/kg
39		<i>Bauhinia forficata</i>	Bejuco ubí		
40		<i>Dichondra argentea</i>	Verbenilla de vaca		
41		<i>Impatiens walleriana</i>	Oreja de ratón		
			Patita de belén		

Acosta (2016) determina que, existen valores límites para diferenciar una planta hiperacumuladora, dichos valores están conexos a la fitotoxicidad de cada metal pesado, a las plantas que han crecido en suelos contaminados y la acumulación en partes áreas. De acuerdo con los metales pesados la cantidad en gramos de peso secos fueron:

- **Mn o Zn:**  $>10 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$
- **As, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Sb, Se o Ti:**  $> 1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$
- **Cd:**  $>0.1 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$

En la Figura 8 se muestran las plantas que fueron con mayor frecuencia utilizadas en los estudios encontrados en fitorremediación en Ecuador; resultando que la especie *Eichornia crassipes* con 25 % fue la más investigada; solo tres estudios demostraron que tuvo la capacidad de acumular el contaminante en sus partes áreas, siguiéndole *Lemna minor* y *Medicago sativa* con un 21 %; sin embargo, las especies considerada hiperacumuladora fue *Eichornia crassipes*, *Lemnar minor* y *Scloenoplectus californicas*, que en las concentraciones acumuló los contaminantes mercurio, cromo, plomo y cobalto (Tabla 8).



**Figura 8.** Especies vegetales más utilizadas para estudios en Fitorremediación en Ecuador.

Según Carreño (2020) la especie *Lemna minor* y *Eichornia crassipes* son utilizadas en sistemas no convencional, es decir, en procesos de eliminación de metales pesados, bajo métodos químicos con metales como cromo, mercurio, cadmio, plomo y fósforo removiendo un 75 al 95 % del tipo de contaminante; ya que estas plantas tienen tallos aéreos permitiéndole flotar ofreciendo que en sus raíces puedan absorber todo el contaminante. *Eichornia crassipes* se podrá trabajar de manera sostenible por su relación que tiene con bacterias que se encuentran en sus raíces permitiendo eliminar el contaminante.

## **5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 Conclusiones**

- Mediante la indagación de los diferentes sitios web como revistas y repositorios se pudo conocer que en el Ecuador durante los últimos diez años (2012 a 2021) solo se han registrado de uno a seis estudios por año, por lo que es una técnica nueva en nuestro país, considerando una alta inversión para demostrar que son especies hiperacumuladoras.
- Se elaboró una base de datos registrando las variables año, lugar, nombre común, nombre científico, familia, orden, tipo y medio contaminado de estudios del uso de la fitorremediación en el Ecuador. Registrando un total de cincuenta y tres especies de toda la recuperación de información y cuarenta y dos especies considerandolas hiperacumuladoras durante los últimos diez años en las regiones del Ecuador.
- Se concluye que, el uso técnicas de fitorremediación en Ecuador no tiene una eficiencia y viabilidad alta por los pocos registros encontrados en los últimos años, en comparación con otros países que constantemente realizan estudios sobre este tema. Si bien es cierto, algunas especies han tenido la eficiencia para acumular y tolerar los diferentes contaminantes, demostrando que son factibles para la recuperación y disminución de contaminación en el suelo, también se deben considerar las condiciones climáticas de los lugares donde se requieren aplicar las especies vegetales, debido a su capacidad adaptiva.

### **5.2 Recomendaciones**

- Seguir indagando sobre el tema de fitorremediación para emplear mejores alternativas tecnológicas en la reparación y recuperación de los suelos contaminados en regiones del Ecuador.
- Se recomienda también, investigar sobre las especies hiperacumuladoras con alto grado de tolerancia a los metales pesados y petróleo para ser adaptas en las regiones del Ecuador.
- Se recomienda no utilizar especies comestibles para el proceso de fitorremediación.

## 6 BIBLIOGRAFÍA

Abril, L., 2016. *Análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo VI aplicando fitorremediación en medios físicos diferentes: suelo y agua*. Tesis grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Acosta, A., 2016. *Plantas Hiperacumuladoras de metales pesados*. [En línea] Available at: <https://allyouneedisbiology.wordpress.com/2016/12/10/plantas-hiperacumuladoras-de-metales-pesados/>

Aguas, R., 2016. El Petroleo: Efecto social y económico en el Ecuador. *Revista Ciencias e Investigación*, I(3), pp. 29-32.

Alacrón, M., 2020. *Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados debido al cultivo de maíz (Zea mays) en la zona de la provincia de Los Rios*. Tesis de Pregrado . Universidad Técnica Estatal de Quevedo.

Altamirano , J., Zambrano, G., Rivera, M. A. y Pillajo, D., 2020. Evaluación de la fitorremediación en suelos contaminados, con altas concentraciones de azufre, La Matriz, Guano, Provincia Chimborazo. *Polo del conocimiento*, V(1), pp. 713-727.

Anon., 2017. *Los combustibles fósiles como recurso energético*. [En línea] Available at: <http://energiasdemipais.educ.ar/combustibles-fosiles-3/>

Arias, A., Rivera, M. y Trujillo , A., 2017. Fitotoxicidad de un suelo contaminado con petróleo fresco sobre *Phaseolus vulgaris* L. (Leguminosae). *Revista Internacional de contaminación ambiental*, XXXIII(3), pp. 411-419.

Asselin, O., 2015. *Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura*. [En línea] Available at: <https://www.fao.org/3/i4373s/i4373s.pdf>

Astudillo , D. y Vicente , J., 2020. *Técnicas de fitorremediación para el tratamiento suelos contaminados con petróleo: Revisión sistemática*. Tesis postgrado. Universidad Cesar Vallejo.

Ballesta, J., 2017. *Introducción a la contaminación de suelos*. Primera ed. España: Mundi-Prensa.

- Bárcenas , M. y Yáñez , P., 2012. Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales en el sector Baeza-El Chaco, Ecuador. *Revista de Ciencias de la vida*, XV(1), pp. 1-22.
- Bonilla, S., 2013. *Estudio para tratamientos de Biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación*. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana SEDE Quito, Campus Sur.
- Briceño, J., Tonato , E. y Silva, M., 2020. Evaluación del contenido de metales en suelos y tejidos comestibles de *Allium fistulosum* L. cultivado en zonas cercanas al Volcán Tungurahua. *La Granja: Revista de Ciencias de la Vida*, XXII(2), pp. 1-17.
- Cabrera, J., 2018. *Fitorremediación con contaminación por metales pesados en sedimentos y suelos de la Reserva Biológica Limoncocha-Ecuador mediante índices de polución*. Máster Universitario en Investigación en Ingeniería Industrial .Universidad Cantabria.
- Calderón, J., 2017. *Evaluación del factor de bioconcentración por metales pesados en la *Eichhornia crassipes* presentes en la Laguna Valle Hermoso*. Tesis de grado.
- Carreño, U., 2020. *"Buchón de agua" (*Eichhornia Crassipes*): impulsor de la fitorremediación..* Primera ed. Bogotá: Fundación Universitaria Los Libertadores.
- Castro, V., Zárate, R., Cuevas, G. y Juárez, M., 2022. Factores que condicionan la empleabilidad de las plantas en fitorremediación. *Semestral Padi*, 0(0), pp. 1-8.
- Catagña, J., 2016. *Evaluación de especies gramíneas locales para la remediación de suelos contaminados por metales pesados en la empresa Triboilgas*. Tesis de postgrado. Universidad técnica de Cotopaxi.
- Cerón, A., 2018. *Estudio comparativo de los efectos físicos causados por agua contaminada con sales de cromo en *Lemna minor* y *Limnoboium laevigatum**. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Chavarrea, B. y Aguaisa, J., 2021. *Evaluación de la capacidad fitorremediadora de dos especies vegetales *Raphanus sativus* y *Brassica rapa* en suelos contaminados con cadmio en laboratorio*. Tesis de postgrado. Universidad Nacional de Chimborazo.

Chercuelon, E., 2017. *Determinación de la capacidad de absorción de dos especies vegetales Buchón de agua (Limnocharis Flava) y Muñequita de agua (Hydrocotyle Bonariensis) en aguas contaminadas con plomo.* Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Covarrubias, S. y Peña, J., 2017. Contaminación Ambiental por Metales Pesados: Problemática y Estrategias de fitorremediación. *Revista Especial Biotecnología e ingeniería ambiental*, XXXIII(1), pp. 7-21.

Coyago, E. y Bonilla, S., 2019. Cinética de absorción de plomo en especies vegetativas previo a procesos de fitorremediación de suelos altamente contaminados. *Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarios*, III(7), pp. 47-58.

Cruz, F., Meza, C., Arévalo, J. y Ríos, H., 2014. Fitorremediación de suelos contaminados por hidrocarburos de petróleo. *Revista de investigación*, I(1), pp. 113-121.

Cruz, A., Barra, J., Castillo, R. y Guitiérrez, C., 2004. La calidad del suelo y sus indicadores. *Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente*, XII(2), pp. 90-97.

Cubedo, R., 2009. *Preocupación por los metales pesados.* [En línea] Available at: <https://www.elmundo.es/elmundosalud/2009/10/13/oncodudasypreguntas/1255455225.htm#::~:~:text=Los%20metales%20pesados%20no%20son,nuestro%20organismo%20es%20la%20ingesti%C3%B3n.>

Cuenca, J., Gallardo, K. y Domínguez, I., 2021. Gestores ambientales en Ecuador: Enfoque a la biorremediación. *Green World Journal*, IV(2), pp. 1-19.

Espin, D., Jarrín, J. y Escobar, O., 2017. Manejo, Gestión, Tratamientos y Disposición Final de Reales Mineros Generados en el Proyecto Río Blanco. *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa*, II(4), pp. 1-12.

Espinoza, A. y Vallejo, R., 2019. *Absorción y bioacumulación de metales pesados en tres especies vegetales introducidas en la Amazonía Ecuatoriana en relaves mineros.* Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

González, R., 2014. *Recuperación de suelos contaminados con metales utilizando especies vegetales-Fitorremediación.* Tesis de postgrado. Escuela Politécnica Nacional.

Guevara, M. F. y Cando, L., 2015. *Eichhornia crassipes*, su invasividad y potencial fitorremediador. *La Granja: Revista de Ciencias de la vida*, XXII(2), pp. 5-11.

Jaramillo, M. y Flores, E., 2012. *Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales Lemna minor* (Lenteja de agua) y *Eichhornia crassipes* (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera. Tesis de grado. Universidad Politécnica Salesiana SEDE Cuenca.

Linan, S., 2015. *elfinanciero*. [En línea] Available at: [www.elfinanciero.com.mx](http://www.elfinanciero.com.mx).

Llugany, M., Tolrá, R., Poschnrieder, C. y Barceló, J., 2007. Hiperacumulación de metales: ¿Una ventaja para la planta y para el hombre?. *Revista Científica y Técnica de Ecología y Medio Ambiente*, XVI(2), pp. 4-9.

Marín, C., 2018. Conceptos fundamentales en ecología de hongos del suelo: una propuesta pedagógica y de divulgación. *Biol. Micol. Ecología*, XXXIII(1), pp. 32-56.

Martinez, L., 2018. *Evaluación del estado de conservación de suelos contaminados por la relavera el Madrigal-Arequipa y propuesta de Fitorremediación* Tesis de doctorado. Universidad Nacional De San Agustín de Arequipa Escuela de Postgrado.

Mera, S., 2016. *Evaluación de la bioconcentración de dos especies de macrofitas acuáticas (Eichhornia crassipes y Lemna spp) en la fitorremediación de un medio contaminado con plomo*. Tesis de grado. ES; escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Ministerio del Ambiente Ecuador, 2015. *Reforma texto unificado legislación secundaria, medio ambiente, Libro VI. Decreto ejecutivo 3516 , Registro oficial suplemento 2*. Ecuador: LEXISFINDER.

Morales, P. y Logroño , F., 2016. Uso de plantas de pepinillo (*Cucumis sativus*) para fitorremediar suelos contaminados con cromo. *Revista digital: Química Central* , V(1), pp. 69-76.

Ñúñez, D., Paredes, D. y Vargas, J., 2014. Biorremediación para la degradación de hidrocarburos totales presentes en los sedimentos de una estación de servicio de combustible. *SciELO*, XXXVII(1), pp. 20-28.



- Oquendo, J., 2016. *Evaluación de Thypha latifolia en la absorción de plomo y propuesta de fitorremediación de aguas residuales con metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha*. MAGISTER en Gestión Ambiental en la Industria. Universidad Internacional SEK.
- Orejuela, J., 2017. *Evaluación de la eficacia de la Heliconia pinnatifida (Heliconiaceae) cultivada hidropónicamente para la fitorremediación de aguas con presencia de cromo*. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Ortuño, S., 2016. *El mundo del petróleo*. Primera ed. México: Efe.
- Peña, K. y otros, 2021. *Guía 13: Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador*. Quito : INIAP.
- PetroEcuador, 2014. *Derrames de Petróleo*. Ecuador: Rendición de Cuentas EP Petro Ecuador.
- Poveda, R., 2013. *El petróleo en el Ecuador la nueva era petrolera*. Ecuador.. s.l.:s.n.
- Quintana, D., 2017. *Comparación de la eficiencia de los filtros de macrofitas en flotación FMF, para el tratamiento de aguas de Lagos Eutróficos*. Tesis de grado. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Quispe, D. y otros, 2022. Eliminación de metales pesados mediante formulaciones a base de biopolímeros con almidón de papa nativo/ mucílago de nopal. *Scielo*, Issue 103, pp. 44-50.
- Rodríguez, T., 2009. Los hidrocarburos en Castilla y León. En: SIEMCALSA, ed. *Junta de Castilla y León*. Cuenca: Domènech e-learning multimedia, S.A, pp. 2-24.
- Rojas, E., 2022. *Derrames de petróleo en Ecuador: un mal crónico*. Ecuador: Ecología.
- Suárez, R., 2021. *Fitorremediación: Una alternativa para reducir la contaminación por hidrocarburos de petróleo en Ecuador*. Tesis de grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Toapanta, M. J., 2017. *Fitorremediación de las aguas residuales generadas en la parroquia Canchagua mediante la utilización de dos especies vegetales en el cantón Saquisilí, periodo 2015*. Tesis de postgrado. Universidad Técnica de Cotopaxi.

Tomalá, M., 2018. *Estudio técnico para la implementación de un sistema de tratamiento de suelos contaminados de hidrocarburos que minimizará el impacto ambiental de la empresa Asociaci{on SMC. PACIFPETROL INC. Ubicada en la Parroquia Ancón, Provincia de Santa Elena*. Tesis de grado. Universidad Estatal Península de Santa Elena.

Valencia, I., Navas, G. y Infante, C., 2017. Fitorremediación de un suelo contaminado extra pesado con *Megathyrus maximus*. *Scielo*, XXXIII(3), pp. 1-9.

Velás, J., 2017. Contaminación de suelos y aguas por hidrocarburos en Colombia. Análisis de la fitorremediación como estrategia biotecnológica de recuperación. *Revista de investigación Agraria y Ambiental*, VIII(1), pp. 1-18.

Villafuerte, S., 2020. *Fitorremediación del agua del estero la matanza 2 del cantón Durán con la implementación de dos especies vegetáticas*. Tesis de postgrado. Universidad Agraria del Ecuador.

Vizuite , R., Lascano, A. y Moreno, R., 2019. Análisis econométrico en la gravedad de un derrame petróleo y su contaminación ambiental. Caso de estudio: Campo Sacha-Ecuador. *Espacios*, XL(18), p. 24.

## 7 ANEXOS

### Anexos 1. Bases de datos de las especies utilizadas en fitorremediación en los últimos diez años en Ecuador

Bases de datos de las especies utilizadas en fitorremediación en los últimos diez años en Ecuador								
Año	Lugar	Nombre común	Especies	Género	Familia	Orden	Tipo de contaminante	Medio
2012	Quito	Rosa de agua	<i>Ludwigia peruviana</i>	<i>Ludwigia</i>	Onagraceae	Myrtales	Petróleo	Suelo
2012	Quito	Dormidera	<i>Mimosa polydactyla</i>	<i>Mimosa</i>	Fabaceae	Fabales	Petróleo	Suelo
2012	Quito	Árbol de olivo	<i>Tessaria integrifolia</i>	<i>Tessaria</i>	Asteraceae	Asterales	Petróleo	Suelo
2012	Cuenca	Jacinto de agua	<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Eichornia</i>	Pontederiaceae	Commelinales	Mercurio	Agua
2012	Cuenca	Lenteja de agua	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna</i>	Araceae	Alismatales	Mercurio	Agua

<b>2012</b>	Quito	Verbena de litoral	<i>Verbena litoralis</i>	<i>Verbena</i>	Verbenaceae	Lamiales	Petróleo	Suelo
<b>2013</b>	Quito	Amaranto	<i>Amaranthus L.</i>	<i>Amaranthus</i>	Amaranthaceae	Caryophyllales	Plomo	Suelo
<b>2013</b>	Quito	Maíz	<i>Zea mays</i>	<i>Zea</i>	Poaceae	Poales	Plomo	Suelo
<b>2013</b>	Quito	Nabo	<i>Brassica rapa</i>	<i>Brassica</i>	Brassicaceae	Brassicales	Plomo	Suelo
<b>2013</b>	Quito	Mostaza Parda	<i>Sinapis alba</i>	<i>Sinapis</i>	Brassicaceae	Brassicales	Plomo	Suelo
<b>2013</b>	Quito	Sesbania	<i>Sesbania grandiflora</i>	<i>Sesbania</i>	Fabaceae	Fabales	Plomo	Suelo
<b>2013</b>	Quito	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	<i>Medicago</i>	Fabaceae	Fabales	Plomo	Suelo

<b>2013</b>	Quito	Acelga	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Beta</i>	Amaranthaceae	Caryophyllales	Plomo	Suelo
<b>2014</b>	Quito	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	<i>Medicago</i>	Fabaceae	Fabales	Plomo	Suelo
<b>2014</b>	Quito	Diente de león	<i>Taraxacum officinale</i>	<i>Taraxacum</i>	Asteraceae	Asterales	Plomo	Suelo
<b>2015</b>	Quito	Jacinto de agua	<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Eichornia</i>	Pontederiaceae	Commelinales	Metales pesados	Agua
<b>2016</b>	Quito	Pepino	<i>Cucumis sativus</i>	<i>Cucumis</i>	Cucurbitaceae	Cucurbitales	Cromo	Suelo
<b>2016</b>	Riobamba	Jacinto de agua	<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Eichornia</i>	Pontederiaceae	Commelinales	Cromo	Agua
<b>2016</b>	Riobamba	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	<i>Medicago</i>	Fabaceae	Fabales	Cromo	Suelo

<b>2016</b>	Riobamba	Jacinto de agua	<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Eichornia</i>	Pontederiaceae	Commelinales	Plomo	Agua
<b>2016</b>	Riobamba	Lenteja de agua	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna</i>	Araceae	Alismatales	Plomo	Agua
<b>2016</b>	Imbabura	Cola de gato	<i>Typha latifolia</i>	<i>Typha</i>	Tyhaceae	Poales	Plomo	Suelo
<b>2017</b>	Quito-Salgonquil	Gandul	<i>Myoporum laetum</i>	<i>Myoporum</i>	Scrophulariaceae	Lamiales	Plata	Suelo
<b>2017</b>	Quito-Salgonquil	Quinoa	<i>Polylepis racemosa</i>	<i>Polylepis</i>	Rosaceae	Rosales	Cadmio	Suelo
<b>2017</b>	Quito-Salgonquil	Puna quishuar	<i>Buddleja coriacea</i>	<i>Buddleja</i>	Buddlejaceae	Lamiales	Cobre	Suelo
<b>2017</b>	Cotopaxi	Lenteja de agua	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna</i>	Araceae	Alismatales	Nitrato	Agua

<b>2017</b>	Cotopaxi	Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	<i>Schoenoplectus</i>	Cyperaceae	Cyperales	Nitrato	Agua
<b>2017</b>	Riobamba	Pico de loro	<i>Heliconia psittacorum</i>	<i>Heliconia</i>	Heliacniaceae	Zingiberales	Cromo	Agua
<b>2017</b>	Riobamba	Totora	<i>Schoenoplectus californicus</i>	<i>Schoenoplectus</i>	Cyperaceae	Cyperales	Fósforo	Agua
<b>2017</b>	Riobamba	Jacinto de agua	<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Eichornia</i>	Pontederiaceae	Commelinales	Níquel	Agua
<b>2017</b>	Riobamba	Buchón de agua	<i>Limnocharis Flava</i>	<i>Limnocharis</i>	Limnocharitaceae	Alismatales	Plomo	Agua
<b>2017</b>	Riobamba	Muñequita de agua	<i>Hydrocotyle Bonariensis</i>	<i>Hydrocotyle</i>	Araliaceae	Apiales	Plomo	Agua
<b>2018</b>	Riobamba	Lenteja de agua	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna</i>	Araceae	Alismatales	Cromo	Agua

<b>2018</b>	Riobamba	Tepapaplacate	<i>Limnobium laevigatum</i>	<i>Limnobium</i>	Hydrocharitaceae	Alismatales	Cromo	Agua
<b>2019</b>	Quito	Amaranto	<i>Amaranthus L.</i>	<i>Amaranthus</i>	Amaranthaceae	Caryophyllales	Plomo	Suelo
<b>2019</b>	Quito	Acelga	<i>Beta vulgaris</i>	<i>Beta</i>	Amaranthaceae	Caryophyllales	Plomo	Suelo
<b>2019</b>	Riobamba	Marandú	<i>Brachiara brizantha</i>	<i>Brachiara</i>	Poaceae	Poales	Cadmio	Suelo
<b>2019</b>	Riobamba	Pasto elefante	<i>Pennisetum purpureum</i>	<i>Pennisetum</i>	Poaceae	Poales	Arsenico	Suelo
<b>2019</b>	Riobamba	Flemingia negra	<i>Flemingia macrophylla</i>	<i>Flemingia</i>	Fabaceae	Fabales	Zinc	Suelo
<b>2019</b>	Quito	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	<i>Medicago</i>	Fabaceae	Fabales	Plomo	Suelo



<b>2020</b>	Los Ríos	Girasol	<i>Helianthus annuus</i>	<i>Helianthus</i>	Asteraceae	Asterales	Cadmio	Suelo
<b>2020</b>	Los Ríos	Croton	<i>Croton L.</i>	<i>Croton</i>	Euphorbiaceae	Malpighiales	Arsenico	Suelo
<b>2020</b>	Los Ríos	Jara pringosa	<i>Cistus ladanifer</i>	<i>Cistus</i>	Cistaceae	Malvales	Zinc	Suelo
<b>2020</b>	Los Ríos	Laurel de flor	<i>Laurus nobilis</i>	<i>Laurus</i>	Lauraceae	Lurales	Vanadio	Suelo
<b>2020</b>	Los Ríos	Verdolaga	<i>Portulaca oleracea</i>	<i>Portulaca</i>	Portulacaceae	Caryophyllales	Cadmio	Suelo
<b>2020</b>	Los Ríos	Alfalfa	<i>Medicago sativa</i>	<i>Medicago</i>	Fabaceae	Fabales	Arsenico	Suelo
<b>2020</b>	Tungurahua	Cebolla de rama	<i>Allium fistulosum</i>	<i>Allium</i>	Amaryllidaceae	Asparagales	Cobalto	Suelo

2020	Guayaquil	Jacinto de agua	<i>Eichornia crassipes</i>	<i>Eichornia</i>	Pontederiaceae	Commelinales	Nitrato	Agua
2020	Guayaquil	Lenteja de agua	<i>Lemna minor</i>	<i>Lemna</i>	Araceae	Alismatales	Nitrato	Agua
2020	Chimborazo	Cebolla blanca	<i>Allium fistulosum L</i>	<i>Allium</i>	Amaryllidaceae	Asparagales	Azufre	Suelo
2020	Chimborazo	Col	<i>Brassica oleracea</i>	<i>Brassica</i>	Brassicaceae	Brassicales	Azufre	Suelo
2020	Los Ríos	Lengua de suegra	<i>Dracaena trifasciata</i>	<i>Dracaena</i>	<u>Asparagaceae</u>	<u>Asparagales</u>	Plomo	Suelo
2021	Quito	Canutillo	<i>Commelina communis</i>	<i>Commelina</i>	Commelinaceae	Commelinales	Cadmio	Suelo
2021	Quito	Verbenilla de vaca	<i>Bauhinia forficata</i>	<i>Bauhinia</i>	Fabaceae	Fabales	Cadmio	Suelo

<b>2021</b>	Quito	Bejuco ubí	<i>Cissus verticillata</i>	<i>Cissus</i>	Vitaceae	Vitales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Patita de Belén	<i>Impatiens walleriana</i>	<i>Impatiens</i>	Balsaminaceae	Ericales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Horquetilla	<i>Eleusine indica</i>	<i>Eleusine</i>	Poaceae	Poales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Oreja de ratón	<i>Dichondra argentea</i>	<i>Dichondra</i>	Convolvulaceae	Solanales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Campanilla	<i>Convolvulus L</i>	<i>Convolvulus</i>	Convolvulaceae	Solanales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Gloria matutina	<i>Ipomoea purpurea</i>	<i>Ipomoea</i>	Convolvulaceae	Solanales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Pangola	<i>Digitaria eriantha</i>	<i>Digitaria</i>	Poaceae	Poales	Cadmio	Suelo

<b>2021</b>	Quito	Yerba canicera	<i>Conyza canadensis</i>	<i>Conyza</i>	Asteraceae	Asterales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Garrapatilla	<i>Casearia corymbosa</i>	<i>Casearia</i>	Salicaceae	Malpighiales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Arrocillo	<i>Echinochloa colonum</i>	<i>Echinochloa</i>	Poaceae	Poales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Hierba de chivo	<i>Ageratum conyzoides</i>	<i>Ageratum</i>	Asteraceae	Asterales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Coquito	<i>Cyperus rotundus</i>	<i>Cyperus</i>	Cyperaceae	Cyperales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Hierba mora	<i>Solanum nigrum</i>	<i>Solanum</i>	Solanaceae	Solanales	Cadmio	Suelo
<b>2021</b>	Quito	Pajo mona	<i>Leptochloa</i>	<i>Leptochloa</i>	Poaceae	Poales	Cadmio	Suelo

2021	Orellana	Nabo	<i>Brassica rapa</i>	<i>Brassica</i>	Brassicaceae	Brassicales	Cadmio	Suelo
2021	Orellana	Rábano	<i>Raphanus sativus</i>	<i>Raphanus</i>	Brassicaceae	Brassicales	Cadmio	Suelo

*Anexos 2. Tipo de publicación en estudios de Fitorremediación en Ecuador*

N°	Año	Autor/es	Título	Tipo de publicación
1	2012	Bárcenas y Yánez	Determinación de los niveles de tolerancia a hidrocarburos y potencial de fitorremediación de cuatro especies vegetales en el sector Baeza-El Chaco, Ecuador.	Revista de Ciencias de la Vida
2		Jaramillo y Campoverde	Fitorremediación mediante el uso de dos especies vegetales <i>Lemma minor</i> (Lenteja de agua) y <i>Eichornia crassipes</i> (Jacinto de agua) en aguas residuales producto de la actividad minera.	Tesis

3	2013	Bonilla, S.	Estudio para tratamientos de Biorremediación de suelos contaminados con plomo, utilizando el método de fitorremediación.	Tesis
4	2014	González, R.	Recuperación de suelos contaminados con metales utilizando especies vegetales- Fitoremediación.	Tesis
5	2015	Guevara y Cando	<i>Eichhornia crassipes</i> , su invasividad y potencial fitorremediador	La granja: Revista de Ciencias de la vida
6	2016	Oquendo, J.	Evaluación de <i>Thypha latifolia</i> en la absorción de plomo y propuesta de fitorremediación de aguas residuales con metales pesados en la Laguna de Yahuarcocha.	Tesis
7		Morales y Logroño	Uso de plantas de pepinillo ( <i>Cucumis sativus</i> ) para fitorremediar suelos contaminados con cromo.	Revista Digital: Química Central

<b>8</b>		Abril, L.	Análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo VI aplicando fitorremediación en medios físicos diferentes: suelo y agua	Tesis
<b>9</b>		Mera, S.	Evaluación de la bioconcentración de dos especies de macrofitas acuáticas ( <i>Eicchornia craasipes</i> y <i>Lemna spp</i> ) en la fitorremediación de un medio contaminado con plomo	Tesis
<b>10</b>	2017	Espin <i>et al.</i>	Manejo, Gestión, Tratamientos y Disposición Final de Revalos Mineros Generados en el Proyecto Rio Blanco	Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa

11	Toapanta, M.	Fitorremediación de las aguas residuales generadas en la parroquia Canchagua mediante la utilización de dos especies vegetales en el cantón Saquisilí, periodo 2015.	Tesis
12	Orejuela, J.	Evaluación de la eficacia de la <i>Heliconia pinnatifida</i> (heliconiaceae) cultivada hidropónicamente para la fitorremediación de aguas con presencia de cromo.	Tesis
13	Quintana, D.	Comparación de la eficiencia de los filtros de macrofitas en flotación FMF, para el tratamiento de aguas de Lagos Eutróficos.	Tesis
14	Calderón, J.	Evaluación del factor de bioconcentración por metales pesados en la <i>Eichhornia crassipes</i> presentes en la Laguna Valle Hermoso.	Tesis



15		Chuercuelon, E.	Determinación de la capacidad de absorción de dos especies vegetales Buchón de agua ( <i>Limnocharis Flava</i> ) y Muñequita de agua ( <i>Hydrocotyle Bonariensis</i> ) en aguas contaminadas con plomo	Tesis
16	2018	Cerón, A.	Estudio comparativo de los efectos físicos causados por agua contaminada con sales de cromo en <i>Lemna minor</i> y <i>Limnoboium laevigatum</i> .	Tesis
17	2019	Coyago y Bonilla	Cinética de absorción de plomo en especies vegetáticas previo a procesos de fitorremediación de suelos altamente contaminados	Revista de Investigación en Ciencias Agronómicas y Veterinarios.

<b>18</b>	2019	Espinosa y Vallejo	Absorción y bioacumulación de metales pesados en tres especies vegetales introducidas en la Amazonía Ecuatoriana en relaves mineros.	Tesis
<b>19</b>	2020	Alacrón, M	Fitorremediación de suelos contaminados por metales pesados debido al cultivo de maíz ( <i>Zea mays</i> ) en la zona de la provincia de Los Rios	Tesis
<b>20</b>	2020	Briceño <i>et al.</i>	Evaluación del contenido de metales en suelos y tejidos comestibles de <i>Allium fistulosum</i> L. cultivado en zonas cercanas al Volcán Tungurahua.	La granja: Revista de Ciencias de la vida
<b>21</b>	2020	Villafuerte, S.	Fitorremediación del agua del estero la matanza 2 del cantón Durán con la implementación de dos especies vegetativas.	Tesis

22	2020	Altamirano <i>et al.</i> ,	Evaluación de la fitorremediación en suelos contaminados, con altas concentraciones de azufre, La Matriz, Guano, Provincia Chimborazo	Revista Polo conocimiento
23	2021	Chavarrea y Aguaisa	Evaluación de la capacidad fitorremediadora de dos especies vegetales <i>Raphanus sativus</i> y <i>Brassica rapa</i> en suelos contaminados con cadmio en laboratorio	Tesis
24	2021	Peña <i>et al.</i>	Caja de herramientas para la prevención y mitigación de la contaminación de cadmio en la cadena de cacao-Ecuador	INIAP

---