



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN
CIENTÍFICA Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA**

CENTRO DE POSGRADOS

MAESTRÍA EN SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE MAGÍSTER EN: SISTEMAS DE GESTIÓN AMBIENTAL**

**TEMA: APLICACIÓN DE FITORREMEDIACIÓN A LOS LODOS
RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA PARROQUIA
MATRIZ, CANTÓN PENIPE, CONTAMINADOS CON PLOMO**

AUTOR: ROMÁN LATORRE, ANA MARÍA

DIRECTOR: CRISANTO PERRAZO, TANIA DEL PILAR M.SC. MBA

SANGOLQUÍ

2019



**VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN
CIENTÍFICA Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “*APLICACIÓN DE FITORREMEDIACIÓN A LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA PARROQUIA MATRIZ, CANTÓN PENIPE, CONTAMINADOS CON PLOMO*” fue realizado por la señora *Román Latorre, Ana María* el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 10 de abril de 2019


.....
DIRECTOR
Tania Crisanto Perrazo, MCS, MBA
C.C. 1712679842



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y
TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA
CENTRO DE POSGRADOS
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, **Román Latorre, Ana María**, con cédula de ciudadanía n° 0602493769, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: Título **APLICACIÓN DE FITORREMEDIACIÓN A LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA PARROQUIA MATRIZ, CANTÓN PENIPE, CONTAMINADOS CON PLOMO** es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas. Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 10 de abril de 2019

Ana María Román Latorre

C.C.: 0602493769



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN, INNOVACIÓN Y

TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA

CENTRO DE POSGRADOS

AUTORIZACIÓN

Yo, **Román Latorre, Ana María**, con C. C. n° 0602493769 autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: “**APLICACIÓN DE FITORREMEDIACIÓN A LOS LODOS RESIDUALES DE LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA PARROQUIA MATRIZ, CANTÓN PENIPE, CONTAMINADOS CON PLOMO**”, en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 10 de abril de 2019

A handwritten signature in blue ink, which appears to read 'Ana María Román Latorre', is written over a horizontal dotted line.

Ana María Román Latorre

C.C.: 0602493769

DEDICATORIA

A mis hijas:

Mishel y Fernanda, así como también a mi querida nietita, Abigail, quienes estuvieron siempre como mi principal fuente de inspiración y sobre todo de convertirme en el ejemplo de sacrificio y amor a la familia y a la formación profesional.

Ana María

AGRADECIMIENTO

A Dios:

Por brindarme su inmenso amor y sabiduría para lograr concluir mi proyecto de vida.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE:

Por impartir todos los conocimientos innovadores.

A la Ing. Tania Crisanto Perrazo, MCS, MBA:

Por compartir sus conocimientos y dirigir el presente trabajo de titulación.

A la Mgs. Margarita Haro:

Por su acertado desempeño como Coordinadora de la Maestría en Sistemas de Gestión Ambiental.

A mi Madre:

Luz María, por toda su ternura y solidaridad expresada, durante el trascurso de mis estudios,

A mi esposo:

Fernando, quien tuvo que asumir casi en su totalidad la dirección de la familia durante mis horas de estudio.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
INDICE DE TABLA.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I.....	1
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Planteamiento del problema.	3
1.3 Justificación e Importancia.	4
1.4 Hipótesis e Interrogante.	5
1.5 Objetivos.	6
1.5.1 Objetivo General.....	6
1.5.2 Objetivos Específicos.	6
CAPÍTULO II	7
MARCO TEÓRICO Y MARCO LEGAL	7

2.1 Marco Teórico.....	7
2.1.1 Las Aguas Residuales.....	7
2.1.1.1 Tratamientos de Aguas Residuales.....	8
2.1.1.1.1 Tratamiento Preliminar.....	8
2.1.1.1.2 Tratamiento Primario.....	8
2.1.1.1.3 Tratamiento Secundario.....	9
2.1.1.1.4 Tratamiento Terciario.....	9
2.1.2 Lodos Residuales.....	9
2.1.3 Metales Pesados.....	10
2.1.3.1 Problemas ambientales a causa de los metales pesados.....	11
2.1.3.1.1 Plomo (Pb).....	12
2.1.3.2 Propiedades físicas del plomo.....	12
2.1.3.3 Propiedades químicas del plomo.....	13
2.1.3.4 Toxicidad del plomo.....	13
2.1.4 La Biorremediación.....	15
2.1.5 La Fito extracción.....	15
2.1.6 La Fitorremediación.....	16
2.1.6.1 Importancia de la biorremediación.....	17
2.1.6.2 El potencial de la fitorremediación como tecnología medioambiental.....	17

2.1.6.3	Aplicaciones de la Fitorremediación.	19
2.1.6.4	Ventajas de la Fitorremediación.	19
2.1.6.5	Desventajas de la Fitorremediación.	20
2.1.7	Brassicaceae.	21
2.1.7.1	Características de las Brassicaceae.	22
2.1.2.	Brassicaceae <i>Género Raphanus</i>	23
2.1.8	Taxonomía.	26
2.1.8.1	Categorías taxonómicas superiores.	26
2.2	Marco Conceptual.	27
2.3	Marco Legal.	30
2.3.1	Marco Institucional.	30
CAPÍTULO III		36
MARCO METODOLÓGICO		36
3.1	Ubicación Geográfica del Proyecto de Investigación.	36
3.2	Área de Influencia.	37
3.3	Planta de tratamiento de Aguas Residuales de la parroquia Matriz del cantón Penipe.	37
3.3.1	Lechos de secado.	38
3.4	Análisis Físico-Químico del agua residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe.	38

3.5 Eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la parroquia Matriz del cantón Penipe.	39
3.6 Análisis Físico-Químico del lodo residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe.....	40
3.7 Tratamiento Fitorremediador aplicado.....	42
3.8 Procedimiento.	44
3.8.1 Selección de la especie de planta para la aplicación de la fitorremediación.	44
3.8.2 Selección del tipo de muestreo para el proceso de recolección de la muestra de lodo residual.....	44
3.9 Seguimiento y control de la unidad piloto.	45
3.10Proceso de cultivo de la planta <i>Raphanus raphanistrum</i>	46
3.11Monitoreo de la planta <i>Raphanus raphanistrum</i>	48
3.12Resultados y discusiones.....	50
3.12.1 Variación del pH del lodo en el ciclo del tratamiento.....	51
3.12.2 Variaciones de las concentraciones de Plomo en el lodo residual en el ciclo del tratamiento.....	52
3.13Eficiencia de remoción del plomo.....	53
3.14Discusión de resultados obtenidos	55
CAPITULO IV	57

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 57

4.1. Conclusiones. 57

4.2. Recomendaciones..... 58

ÍNDICE DE TABLA

Tabla 1 <i>Criterio de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce</i>	35
Tabla 2 <i>Criterios de Calidad del Suelo</i>	35
Tabla 3 <i>Análisis físico químico del agua de la PTAR del GAD Municipal del cantón Penipe....</i>	39
Tabla 4 <i>Análisis físico químico del lodo de la PTAR del GAD Municipal de Penipe.....</i>	41
Tabla 5 <i>Condiciones meteorológicas presentes en la investigación</i>	46
Tabla 6 <i>Monitoreo del desarrollo de las plantas</i>	49
Tabla 7 <i>Análisis de laboratorio del lodo residual antes, durante y después(a nivel de raíz) del tratamiento</i>	50
Tabla 8 <i>Tiempo de eficiencia de la planta Raphanus raphanistrum.....</i>	53
Tabla 9 <i>Análisis estadístico de los resultados de laboratorio.....</i>	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Marco Institucional.....	30
Figura 2. Ubicación de la (PTAR) en la parroquia Matriz del cantón Penipe	36
Figura 3. PTAR de la parroquia Matriz del cantón Penipe	37
Figura 4. Esquema de tratamiento fitorremediador.....	43
Figura 5. Puntos de las submuestras recolectadas.....	45
Figura 6. Siembre de <i>Raphanus raphanistrum</i>	47
Figura 7. <i>R. raphanistrum</i> antes de su trasplante	47
Figura 8. <i>R raphanistrum</i> aplicada en lodo residual.....	48
Figura 9. Potencial hidrógeno (pH) en el ciclo del tratamiento	51
Figura 10. Variación de las concentraciones de Pb en el lodo dentro del ciclo de tratamiento....	52
Figura 11. Variación de efectividad de la fitorremediación en función del tiempo.....	54

RESUMEN

La presente tesis realiza un análisis piloto de la capacidad fitorremediadora que posee la planta *Raphanus raphanistrum* (rábano silvestre) aplicada a los lodos residuales extraídos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la parroquia Matriz del cantón Penipe. Para su estudio se extrajo los lodos que posteriormente a una deshidratación natural fueron depositados en la unidad piloto para su correspondiente monitoreo en el que se registró el comportamiento de la plántula durante 4 meses y 20 días (ciclo de vida de la plántula), además se realizaron pruebas de laboratorio a partir del 26 de enero de 2018, que indican las concentraciones de plomo obtenidas en este proceso. Los resultados finales expresan que la planta *Raphanus raphanistrum* es eficiente en un porcentaje del 10,12 % en cuanto a la remoción de plomo que tuvo lugar a los 60 días de su aplicación, además la planta capta mayor cantidad de plomo en la zona de sus raíces por lo que se la debe sembrar a una distancia de 10 cm de espacio entre planta y planta y los lodos no deben sobrepasar una altura de 12 cm área en la que se desarrolla la raíz, y absorbe nutrientes y metales presentes. La plántula estudiada es endémica de la zona de estudio dado que no necesitará ningún tipo de adaptación en el momento de ser aplicada.

Palabras Claves:

- **FITORREMEDIACIÓN**
- **LODOS RESIDUALES**
- **RAPHANUS RAPHANISTRUM**
- **PLOMO**

ABSTRACT

This abstract develop a pilot analysis of the phytoremediation capacity that the *Raphanus raphanistrum* (the wild radish) plant, it's applied to the residual sludge extracted from the wastewater treatment plant (PTAR) of Penipe Town. For its study, the sludge was extracted, which after a natural dehydration were deposited in the pilot unit for its corresponding monitoring in which the behavior of the seedling was registered during 4 months and 20 days (life cycle of the plan), besides the laboratory tests were carried out from January 26, 2018, which indicate the concentrations of lead obtained in this process. The final results express that the *Raphanus raphanistrum* plant conteint a 10,12% percentage of efficient, regarding the removal of lead that took place within sixty days of its application, in addition the plant captures a greater quantity of lead in the area of its roots. must sow at a distance of 10 centimeters of space between plant and plant and the sludge should not exceed a height of 12 centimeters area in which the root develops and absorbs nutrients and metals that are in it. The studied seedling is endemic to the study area that does not need any type of adaptation in the method of being applied.

Keywords:

- FITORREMEDIACION
- RESIDUAL SLUDGE
- RAPHANUS RAPHANISTRUM
- LEAD

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes.

La contaminación del agua se produce cuando su composición o estado natural se ve transformado, perdiendo las condiciones para las cuales estaba destinada, ésta contaminación puede tener un origen natural o antropogénico siendo este último la principal fuente de contaminación causada de las distintas actividades que realizan los seres humanos como son la industrialización y el avance tecnológico, en los cual se utiliza mayor cantidad de agua y una gran generación de residuos que van a parar en ella sin antes ser tratados (García, 2010).

En Ecuador la contaminación del agua se ve acentuada principalmente en ríos y mares así es el caso del Golfo de Guayaquil, que es el accidente geográfico más importante de la costa Sudamericana. Tiene una entrada de 200 kilómetros de largo desde la Península de Santa Elena, penetra al litoral ecuatoriano hasta 120 km. Posee dos ecosistemas: El Estero Salado y el Río Guayas. Ambos conductos se comunican entre sí por medio del canal Cascajal. Entre los asentamientos más importantes del Golfo se encuentra la ciudad de Guayaquil, limitada por los dos cuerpos de agua el Estero Salado (agua salada) por el Oeste y el Río Guayas (agua dulce) por el Este. Guayaquil es la ciudad que genera la mayor cantidad de desecho, alrededor de 540 industrias asentadas en Guayaquil evacuan el 25% del total de las cargas orgánicas, el 75% restante corresponden a las aguas servidas domésticas sin tratamiento de la ciudad y zonas periféricas, además solo el 3% de las industrias tratan sus desechos adecuadamente y por lo menos 524 industrias contaminan al río y al estero (Ordóñez, 2007).

Por consiguiente, la contaminación del agua es un grave problema que acarrea nuestro país, el mismo que debe ser subsanado por los distintos generadores de aguas residuales como son las industrias y los Gobiernos Autónomos Descentralizados en sus distintas jurisdicciones.

Las aguas residuales están formadas por 99% de agua y 1% de sólidos en suspensión y solución. La generación de aguas residuales es una problemática ambiental que causa daños a la salud humana ya que contiene altas concentraciones de contaminantes, como son: sólidos (solución y suspensión), aceites, grasas, metales, compuestos oxidables, pesticidas, materia orgánica e inorgánica, bacterias y virus entre otros (Ticono & Espinoza, 2018).

De todos los contaminantes, los metales pesados han recibido una atención especial debido a que no son biodegradables, son tóxicos en bajas concentraciones y tienden a acumularse. Además, suelen ser asimilados por los organismos acuáticos donde se genera un proceso de bioacumulación y bioamplificación. Entre los metales pesados considerados con mayor grado de toxicidad podemos anotar al cadmio y el plomo (Pernía, y otros, 2018).

La contaminación por plomo, incide debido a que es un elemento considerado como metal pesado, repartido por la superficie terrestre de forma natural (emisiones volcánicas), o antropogénica correspondiente al uso de combustibles empleados en la industria y el transporte. Además, está presente en baterías (para automóviles y productos eléctricos), en tinturas, en cerámica vidriada para cocinar y almacenar alimentos. A pesar de existir leyes que regulen su uso, se encuentra plomo en crayolas y lápices iluminadores (mercancía de contrabando), que son accesos directos a este metal. Por ello, este elemento puede ingresar en el cuerpo del ser humano mediante la respiración de partículas suspendidas que contengan este contaminante, de modo que el plomo se deposita en pulmones, entra al torrente sanguíneo y se distribuye por el cuerpo; también

puede ingresar al sistema digestivo mediante la ingesta de alimentos o agua contaminados, o cuando los niños se llevan a la boca sus manos en el momento de jugar con tierra u objetos que contienen este componente. (Rivas, 2017).

1.2 Planteamiento del problema.

El cantón Penipe se encuentra ubicado en la provincia de Chimborazo, posee una población de 6739 habitantes de la cual el 51.4% corresponde a las mujeres y el 48.6% a hombres, la principal actividad socio económica que se genera en este sector es la agricultura y ganadería, entre los servicios básicos con los cuales cuentan la población existente se puede mencionar: agua, electricidad y sistemas de alcantarillado en algunos sectores. Las parroquias de Bayushig, El Altar y la Matriz Penipe cuentan con un sistema de saneamiento completo debido a que los sistemas de alcantarillado están conectados a una planta de tratamiento de aguas residuales.

Dentro de la parroquia Matriz Penipe el sistema de tratamiento de las aguas residuales está compuesto por un tanque Imhoff, junto al cual se encuentra un lecho de secado para el depósito de los lodos remanentes de este proceso, los lodos mencionados anteriormente son expuestos al aire libre para que mediante procesos naturales (sol, aire) se pueda eliminar la humedad presente en ellos al momento de la extracción. Hasta la actualidad no han recibido ningún tipo de tratamiento a pesar de que mediante análisis de laboratorio con fecha 29 de septiembre de 2016 se ha detectado la presencia de plomo en una concentración de 27.60 mg/kg, parámetro que sobrepasa la normativa ambiental ecuatoriana la cual estima que el límite permisible es de 19.00 mg/kg.

El plomo es un metal pesado que en varias ocasiones se lo puede encontrar en aguas residuales, debido a muchos factores como; la producción y fabricación de pinturas sin llevar un cuidado adecuado, la industria minera por la utilización de productos químicos, el uso de tinturas para hilos

y telas, la fabricación de baterías de plomo, la utilización de combustibles, la producción de aceites e insumos utilizados para la industria automotriz etc. Todos estos procesos contribuyen a la contaminación de las aguas servidas, pero la forma más habitual de encontrar el plomo en las aguas residuales es debido a las escorrentías de suelos contaminados con este producto causadas por las abundantes lluvias que son conducidas a los sistemas de saneamiento en donde se mezclan con las aguas residuales (Lima , Olivares, Columbie, de la Rosa, & Gil, 2005).

Cabe indicar que el plomo se esparce por el cuerpo logrando llegar a los riñones, el hígado, el cerebro, e incluso alcanza a depositarse en dientes y huesos, donde con el paso del tiempo suele acumularse. Para luego ser liberado hacia el torrente sanguíneo durante el tiempo de gestación, siendo una fuente de contaminación para el feto. Se puede manifestar que no hay un rango seguro ante el contacto con el plomo. (OMS., 2018).

La Agencia Internacional para la Investigación sobre el Cáncer (IARC; siglas en inglés) ha clasificado tanto los compuestos orgánicos, como los inorgánicos del plomo, como probables carcinógenos humanos. Uno de los mecanismos por el cual se produce daño es mediante el desplazamiento de calcio y zinc por plomo en algunas proteínas existentes en el organismo de los seres humanos (CONACYT., 2014).

1.3 Justificación e Importancia.

Los lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la parroquia Matriz del cantón Penipe son el resultado de la concentración de sólidos sedimentables en el efluente. Dentro de los contaminantes encontrados mediante análisis físico – químico del lodo residual realizado por el laboratorio CORPLABEC se encuentra: cadmio < 0.500 mg/kg (límite permisible = 0.5 mg/kg), cobalto < 5.0 mg/kg (límite permisible = 10 mg/kg), cromo = 8.4 mg/kg (límite permisible = 54 mg/kg), mercurio = 0.13 mg/kg sobrepasa la normativa ambiental que

indica que el límite permisible es 0.1 mg/kg, níquel = 14.0 mg/kg (límite permisible = 19 mg/kg) y plomo = 27.6 mg/kg valor que supera la normativa ambiental en la cual se establece que el límite permisible es de 19.00 mg/kg. El plomo es un elemento altamente tóxico tanto para los habitantes como para los componentes ambientales del sector. Cabe indicar que los lodos residuales tienen como disposición final terrenos aledaños a la PTAR, además la zona de estudio es altamente agrícola y dentro de su producción se puede encontrar maíz, frejol y árboles frutales (manzana, claudia, durazno, membrillo, etc.) existiendo alta probabilidad de que por acción del viento, pluviosidad o contaminación de suelo, este metal pesado ingrese a la tierra de cultivos afectando a cosechas que estarían en peligro de ser contaminadas y probablemente introducirse en la cadena alimenticia.

Es de vital importancia dar un adecuado tratamiento al lodo residual, aplicando una metodología eficaz que se adapte a los factores ambientales existentes en el lugar y a las condiciones físicas de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), de tal forma que se minimice la presencia de este metal pesado. Los Gobiernos Autónomos Descentralizados tienen la responsabilidad de realizar una correcta disposición final de los desechos generados en su jurisdicción. Con este propósito se plantea el presente trabajo de investigación, en el cual se busca disminuir la presencia del plomo en los lodos residuales de la PTAR de la parroquia Matriz del cantón Penipe aplicando una técnica de fitorremediación utilizando una planta de la zona, denominada comúnmente rábano silvestre (*Raphanus raphanistrum*).

1.4 Hipótesis e Interrogante.

¿Las concentraciones de plomo presente en los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del cantón Penipe serán captados mediante fitorremediación?

1.5 Objetivos.

1.5.1 Objetivo General.

- Aplicar fitorremediación a los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de la parroquia Matriz del cantón Penipe contaminados con plomo.

1.5.2 Objetivos Específicos.

- Evaluar la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la parroquia Matriz del cantón Penipe, mediante análisis de laboratorio.
- Determinar el tratamiento fitorremediador adecuado para disminuir las concentraciones de plomo.
- Realizar pruebas de fitorremediación para tratar el plomo presente en el lodo residual de la PTAR de la parroquia Matriz del cantón Penipe, utilizando la planta *Raphanus raphanistrum*.
- Analizar los resultados de fitorremediación de plomo, mediante pruebas de laboratorio.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO Y MARCO LEGAL

2.1 Marco Teórico.

2.1.1 Las Aguas Residuales.

La contaminación de las fuentes de agua constituye un grave problema que enfrenta la humanidad en la actualidad. La sobre explotación de acuíferos, que unido a los problemas de contaminación de las cuencas hídricas, reduce la disponibilidad del agua para ser utilizada en los servicios públicos y la producción de bienes materiales, por lo que resulta necesario tomar medidas que permitan reducir la contaminación ambiental. En el mundo existe un significativo déficit de tratamiento de las aguas residuales; para el año 2002 se estableció que 2 600 millones de personas (42% de la población mundial) no accedían a un sistema de tratamiento adecuado de aguas residuales, o simplemente no lo tenían. La causa de esto es la explosión demográfica, la crisis del agua y los altos costos de las instalaciones para lograr un buen tratamiento (Guerrero, Vázquez, & Rodríguez, 2018)

De acuerdo al Banco Mundial, más de 300 millones de habitantes de ciudades en Latinoamérica producen 225,000 toneladas de residuos sólidos cada día. Sin embargo, menos del 5% de las aguas de alcantarillado de las ciudades reciben tratamiento. Con la ausencia de tratamiento, las aguas residuales son por lo general vertidas en aguas superficiales, creando un riesgo obvio para la salud humana, la ecología y los animales. En Latinoamérica, muchas corrientes son receptoras de descargas directas de residuos domésticos e industriales. La contaminación del suelo ocurre tanto en áreas urbanas como rurales. Conteniendo 40% de las especies tropicales de plantas y animales del mundo, y 36% de las especies cultivadas de alimentos y productos

industriales, por lo tanto presenta intenso interés en la preservación y protección del medio ambiente, sin mencionar una preocupación por la salud de los habitantes de estas zonas (Reynolds, 2002).

Se puede definir a las aguas residuales como aquella que se derivan del sistema de agua potable de un poblado, que luego de ser alteradas por el uso en distintas actividades urbanas, industriales y domésticas, son recolectadas por los sistemas de alcantarillado y conducidas hasta un destino adecuado (Borja, 2011).

2.1.1.1 Tratamientos de Aguas Residuales.

En la actualidad existen variados tipos de tratamiento adaptables a las aguas residuales, cada uno de ellos se aplican en función al uso que tuvo el agua antes de convertirse en agua residual, entre los tratamientos más usados se puntualiza cuatro fases: Tratamiento preliminar, tratamiento primario, tratamiento secundario y tratamiento terciario.

2.1.1.1.1 Tratamiento Preliminar.

El tratamiento preliminar es la primera fase que se debe efectuar en la depuración de aguas residuales, consiste en separar objetos, gruesos o voluminosos (madera, telas, plásticos, latas etc.) (Lombeida, 2017). Para este tratamiento se utilizan herramientas como: rejillas, tamices o micro filtros.

2.1.1.1.2 Tratamiento Primario.

El tratamiento primario tiene como propósito la separación de sólidos (suspendidos, sedimentables) que no fueron extraídos en el tratamiento preliminar utilizando medios físicos, que pueden ser complementados con medios químicos, así como también los sólidos flotantes como

grasas, fibras, natas etc. En el tratamiento primario se utiliza las siguientes operaciones unitarias; flotación, corrección del pH, sedimentación (Lombeida, 2017).

2.1.1.1.3 Tratamiento Secundario.

El objetivo primordial del tratamiento secundario es la remoción de la materia biodegradable no sedimentable (materia orgánica diluida en el agua residual), además de otros contaminantes presentes, procurando estimular la proliferación de microorganismos descomponedores de materia orgánica, los mismos que se multiplican y originan nuevos microorganismos insolubles que posteriormente son separados del agua residual en forma de lodos consignado a una digestión absoluta directa o indirecta (Lombeida, 2017).

2.1.1.1.4 Tratamiento Terciario.

El tratamiento Terciario tiene por intención principal la sustracción de nutrientes (nitrógeno y fósforo), pero además la desinfección y la expulsión o extracción de compuestos tóxicos (metales pesados) y contaminantes específicos que no fueron retirados en las fases anteriores (Quijia, 2015).

2.1.2 Lodos Residuales.

El tratamiento de las aguas residuales, tanto municipales como industriales, tiene como prioridad remover los contaminantes presentes con el fin de hacerlas aptas para otros usos o bien para evitar daños al ambiente. Sin embargo, el tratamiento del agua trae siempre como consecuencia la formación de lodos residuales, subproductos indeseables difíciles de tratar y que implican un costo extra en su manejo y disposición. Los contaminantes contenidos en las aguas residuales pasan a las plantas de tratamiento donde se eliminan en gran medida por la absorción en el lodo residual producto de un tratamiento físico, químico o biológico (Oropeza, 2006).

Los lodos residuales son un problema debido a los grandes costos adicionales de tratamiento que implican, además del volumen y cantidad que se genera, así como por su composición, ya que están constituidos principalmente por materia orgánica y por elementos contaminantes que fueron removidos del agua residual, tales como: metales pesados, material inorgánico y contaminantes emergentes (productos de limpieza, plaguicidas, medicamentos y productos de cuidado personal). De ahí que los lodos residuales deban ser tratados para eliminar, disminuir o transformar estos elementos y que no representen un riesgo para la salud ni el medio ambiente (Rojas & Mendoza, 2013).

2.1.3 Metales Pesados.

A los metales pesados se los reconoce por mostrar una elevada densidad, su término “metal pesado” se refiere a los elementos ubicados en de la tabla periódica que contienen un peso específico mayor a 5g/cm^3 , excluyendo a los metales alcalinos (Peris, 2006). El origen de los metales pesados es muy diverso, se los puede encontrar en diferentes fábricas como: en la industria petrolera, en la industria minera, en azucareras, cerveceras, textileras, acabados metálicos, cobre y sus aleaciones, curtidurías, alimenticia, hierro y acero (Ballesteros, 2011), pueden hallarse en el ambiente y calificarlos como tóxicos, para los seres vivos, dependiendo de su naturaleza química, exposición y cantidad absorbida.

La presencia de metales pesados en las aguas residuales industriales y municipales, demanda un tratamiento de las mismas antes de ser depositadas en corrientes y cuerpos de agua (Proal, Martínez, & Mueller, 1998), debido a la carencia de vías naturales para la eliminación de los mismos cuando son vertidos; crean acumulación, redistribuyéndose en el medio natural penetrando hacia la cadena trófica donde puede alcanzar niveles tóxicos para los seres vivos con graves alcances en la salud de los seres humanos y de los animales (Martín, 2008).

Con el objetivo de apartar los metales pesados del agua residual, se han colocado diferentes tecnologías tales como la coagulación – floculación, precipitación química, intercambio iónico, adsorción, ósmosis inversa, electrodiálisis, etc. En general, estas tecnologías son impropias para la eliminación de metales pesados de efluentes pues procrean trabas posteriores como la presencia de lodos considerablemente difíciles de tratar, costos elevados y no son lo suficiente efectivas (Martín, 2008), substancialmente cuando la concentración de los metales es muy baja. El uso de sistemas biológicos para la eliminación de metales pesados tiene aptitudes más favorables para hacerlo mejor y a menor costo (Cañizares, 2000).

2.1.3.1 Problemas ambientales a causa de los metales pesados.

Los seres humanos en busca del desarrollo tecnológico establecen actividades que liberan y mueven elementos contaminantes, originando cambios en el ambiente y peligros en la salud de la población (Valdés & Cabrera, 1999). Entre los elementos contaminantes, que requieren mayor atención se encuentran los metales pesados, debido a los daños severos que despliegan en el ambiente y la salud de las personas que se encuentran expuestas a ellos, estos compuestos suelen ser silenciosos, no siempre presentan síntomas, por ello las autoridades Ambientales y de Salud de los diferentes países buscan mecanismos para obviar la exposición de la población a estos elementos. Sin embargo la liberación y movilización de metales pesados debido a distintas actividades sigue afectando a la población y a los factores ambientales suelo agua y aire (Vives , Zulaica, & Vives, 2006).

Desde el punto de vista ambiental el inconveniente más importante en cuanto a los metales pesados es su toxicidad, que puede presentar en los seres vivos, los efectos son a largo plazo y las

alteraciones presentadas pueden afectar a la salud de los seres humanos y a cambios sustanciales en los ecosistemas y por ende en animales y plantas (Ramos, 2002).

Los metales pesados forman un riesgo para el medio ambiente debido a la estabilidad química presentada ante los procesos de biodegradación, motivo por el cual los seres vivos no pueden metabolizarlos y tienden a acumularlos, el plomo tiene la destreza de acumularse en los tejidos humanos perturbando las funciones naturales del organismo e induciendo efectos tóxicos (Abril, 2016, pág. 7).

2.1.1. Plomo (Pb).

El plomo es un elemento de carácter químico considerado como un metal pesado no esencial, que tiene la capacidad de disolverse lentamente con ácido nítrico y bases nitrogenadas. Es anfótero por su aptitud para formar sales de plomo de los ácidos, al igual que sales metálicas del ácido plúmbico (Martín, 2008).

2.1.3.2 Propiedades físicas del plomo.

El plomo es estimado como un elemento metálico que presenta un color gris azulado, blando, maleable, su punto de fusión es bajo y se lo somete a una cristalización en octaedros (Ubillus, 2003).

Entre sus principales parámetros físicos se encuentra:

Densidad: 11.85 unidades, en comparación con los elementos presentes en la tabla periódica, presentando un valor superior dentro de la familia del grupo IVA, motivo que permite convertirlo en un metal denso, tóxico y acumulativo (Ubillus, 2003).

2.1.3.3 Propiedades químicas del plomo.

El plomo es un elemento que posee ciertas propiedades químicas, las mismas que se enlistan a continuación:

- Cuando está en contacto con el aire se oxida superficialmente cubriéndose con una capa de color gris.
- Cuando está en contacto con el agua sufre un ataque debido a que el agua contiene anhídrido carbónico y oxígeno libre.
- El plomo en presencia de agua lluvia y del dióxido de carbono de aire, se altera y produce una capa de carbonato hidratado que se disuelve poco en agua.
- Si se encuentra con ácido sulfúrico concentrado y caliente se produce sulfato de plomo II.
- En presencia de ácido nítrico frío suele disolverse generando nitrato de plomo II y vapores nitrosos que son muy tóxicos (Ubillus, 2003).

2.1.3.4 Toxicidad del plomo.

El plomo es una sustancia que se puede encontrar en la corteza terrestre en su estado natural. Cuando penetra en el cuerpo humano sea por la piel o inhalación suele ser tóxico. Se tiene indicios de que origina alteraciones negativas en el sistema endócrino, cardiovascular, respiratorio, inmunológico, neurológico y gastrointestinal además de afectar a la piel y a los riñones. Al ser un metal pesado el plomo no suele degradarse por lo que perdura en el suelo, agua y aire (Valdés & Cabrera, 1999).

Entre los efectos tóxicos presentados por el plomo en el organismo humano mediante vía digestiva o pulmonar en niños pequeños se puede citar afectaciones en la función cerebral, además de confirmarse que niveles de plomo entre 5 y 9 µg/dl provocan una disminución del coeficiente

intelectual, disminuyendo la agudeza auditiva, un retraso del progreso psicomotor y limitación del crecimiento, rangos entre 10 $\mu\text{g}/\text{dl}$ hasta 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$ producen anemia, demora del metabolismo y restricciones en la velocidad de conducción nerviosa periférica, y valores superiores a 70 $\mu\text{g}/\text{dl}$ originan encefalopatía, nefropatía, inducción al coma e incluso la muerte (Ochoa , Rivera, de Díaz, & Hesse, 1998).

En los niños habitualmente es absorbido primordialmente por vía intestinal por el consumo de agua no tratada, tuberías antiguas o mínimas cantidades de pintura presente distintos artículos. Además el plomo en la sangre dura aproximadamente 30 días, su mayor depósito es en los huesos con un 95% de su carga corporal, razón para calificarlo como un elemento que contiene una toxicidad crónica (Espinal & Rodríguez, 2008).

A bajas concentraciones el plomo suplanta al calcio actuando como un mensajero sustituto intracelular, modificando la distribución del calcio dentro de la célula, estas alteraciones concluyen con una neurotransmisión que explica la hipertensión y la neurotoxicidad presentada en personas expuesta a este elemento (Valdivia , 2005).

A nivel gastrointestinal puede ocasionar anorexia, cefalea, estreñimiento, espasmo intestinal y dolor abdominal. La sintomatología mostrada en los nervios que controlan los músculos parten desde una debilidad y agotamiento hasta alcanzar a la inmovilización de los mismos en sectores como el antebrazo, dedos y muñeca de la mano, otro de los efectos ocasionados por este elemento es la esterilidad en hombres o mujeres y la muerte del feto. En animales se ha descubierto efectos contraproducentes en el gameto y acaparamiento en la sangre de animales en procesos de gestación, disminuyendo el tiempo de formación en el vientre de animales y por ende la masa corporal de las crías al momento de nacer (Londoño, Londoño, & Muñoz, 2016).

2.1.4 La Biorremediación.

En los proceso de biorremediación se utiliza microorganismos autóctonos o exógenos como; hongos, algas, plantas, bacterias entre otros, que poseen grandes aptitudes metabólicas que puedan llegar a neutralizar elementos tóxicos encontrados en un determinado lugar (ambiente); modificándolos para que sean menos tóxicos, y puedan ser eliminados mediante técnicas más adecuadas, la biorremediación es una técnica que agranda las condiciones aeróbicas siendo este un mecanismo natural y propio del suelo. (Pérez, 2018).

2.1.5 La Fito extracción.

La Fito extracción hace referencia a la aptitud que poseen algunas plantas para absorber los contaminantes que se encuentran dispersos en el suelo utilizando sus raíces, llevándolos hasta sus partes aéreas o cualquier sección que pueda ser recogida, para extraer los contaminantes y originar una limpieza del suelo o lodo. Según este enfoque, las plantas que poseen la capacidad de acumular metales pesados serán sembradas en los sectores que necesiten su requerimiento y la biomasa que se genera debido al enriquecimiento con metales pesados será extraída mediante la cosecha de la misma (Lorca., 2014).

Para que la Fito extracción sea eficiente se debe considerar ciertas circunstancias como; la disponibilidad de los metales en el suelo, la aptitud de las plantas para asimilar y almacenar los metales en sus órganos aéreas. Las plantas ideales para la Fito extracción deben tener entre sus características la destreza de promover la generación de biomasa, su recolección debe ser sencilla y además poseer una amplia aptitud acumuladora de metales pesado en sus órganos recolectables (Lorca., 2014).

Para una Fito extracción efectiva, se considera la rapidez que tiene la planta para absorber metales, la facilidad que posee para llevarlos desde sus raíces hasta sus partes aéreas, la acidificación de la rizosfera, la exudación de elementos orgánicos y los mecanismos que interceden para obtener el fósforo del suelo, todos estos procesos cooperan en el incremento de la disponibilidad de algunos metales haciendo efectiva la extracción de los mismos mediante este proceso (Lorca., 2014).

2.1.6 La Fitorremediación.

La fitorremediación es un término relativamente nuevo acuñado en el año de 1991. Su significado es remediar lo que se encuentra dañado utilizando seres vivos (plantas o vegetales). También se la puede definir como una tecnología moderna que emplea plantas para disminuir la peligrosidad de elementos (orgánicos e inorgánicos) contaminantes que se encuentran en el suelo, lodo, agua y aire, aplicando procesos bioquímicos realizados por las plantas y microorganismos mediante sus raíces que dirigen la degradación, mineralización, reducción, volatilización de los distintos contaminantes. (Núñez, Meas, Ortega, & Olguín , 2004). La fitorremediación está considerada como una parte de la biorremediación que utiliza una tecnología beneficiosa y sostenible debido a los bajos costos empleados (Batista & Sánchez, 2009).

La palabra fitorremediación proviene del vocablo griego Phyto: planta y remedium: recuperar el equilibrio. Esta tecnología emplea vegetación para remediar el suelo, el agua y el aire contaminados, se sustenta en procesos naturales entre las plantas y las bacterias rizos férricas, degradando los compuestos orgánicos e inorgánicos contaminados. La Fitorremediación es una buena alternativa ante las técnicas tradicionales que utilizan elementos químicos, alterando las

condiciones naturales del suelo y en general de los ecosistemas naturales, perturbando a los seres vivos que habitan en ellos (Flores, 2014).

La fitorremediación es una vertiente de la biorremediación que usa plantas verdes para degradar elementos tóxicos como metales, a través de procesos metabólicos que realizan las plantas de forma natural. Esta tecnología es considerada como rentable debido a su bajo costo de ejecución, además de ser amigable con el ambiente (Biorrehid, 2018).

2.1.6.1 Importancia de la biorremediación.

En este sentido, resalta la biorremediación, procedimiento natural que consiste en el empleo de sistemas biológicos capaces de eliminar los contaminantes orgánicos e inorgánicos de un determinado medio, dada su capacidad de utilizar compuestos presentes en su entorno y transformarlos en precursores de sus constituyentes celulares. La fitorremediación es una de las vertientes de la biorremediación que puede considerarse una tecnología alternativa rentable y sostenible (Marrero Coto, 2012).

2.1.6.2 El potencial de la fitorremediación como tecnología medioambiental.

Cuando se habla del potencial de fitorremediación se considera la habilidad que poseen las plantas para adsorber, estabilizar o degradar los elementos contaminantes está inmerso en el conjunto de procesos existentes entre plantas, microorganismos y el suelo presentes, además de la forma en que funcione el metabolismo y la fisiología de los mismos. Razón por la cual las plantas operarán a diferentes niveles:

- *La rizosfera*, comprendida por un grosor de uno o dos milímetros en el espacio de suelo que está en contacto con la raíz de la planta y determinada por los microorganismos existentes en

ella. Aquí tienen gran significado los hongos creadores de micorrizas (relación de simbiosis planta-hongo), gracias a que pueden acumular en su cuerpo los contaminantes, evadiendo que exista algún contacto con la planta. En otras circunstancias, el hongo procede a diluir los contaminantes para que cuando lleguen a la raíz contengan menor toxicidad y sin interferir en ninguna manera el crecimiento normal de la planta. Dada la importancia que ejerce la rizosfera sobre la técnica de fitorremediación es importante considerar el tipo de raíz que contiene la planta que será utilizada para este proceso (Rivilla, 2015).

- *El transporte.* Los elementos tóxicos van a ingresar a la planta por medio de los vasos del xilema, pero muchas veces pueden ser acumulados en las vacuolas de la raíz, impidiendo que ingresen en las partes aéreas, en donde suelen impregnarse en órganos como fruto o flores. A pesar de lo mencionado muchos contaminantes suelen llegar a las partes aéreas de la planta por medio de la transpiración. Cuando sucede este tipo de transporte los contaminantes son modificados por los procesos metabólicos los mismos que disminuyen su toxicidad. Además algunos contaminantes salen directamente a la atmósfera debido al proceso de transpiración (Rivilla, 2015).
- *La fotosíntesis.* Cuando la planta realiza su proceso de fotosíntesis produce carbohidratos los cuales son devueltos a la tierra para contribuir con el progreso de microorganismos que son parte de la rizosfera y que aportan a la fitorremediación del suelo (Rivilla, 2015).
- *El biometabolismo,* de una planta, influye sobre los procesos de fitorremediación debido a que contienen ciertas enzimas que actúan dentro de la planta pero además pueden ser arrojados por las raíces mediante la exudación aportando a los procesos degradadores del contaminante. Además se produce una serie de reacciones químicas concernientes con la exudación de ácidos

orgánicos debido a los mecanismos de nutrición mineral, que modifican la estructura de los contaminantes volviéndolos menos tóxicos o haciendo que puedan ser fácilmente absorbidos por las plantas (Rivilla, 2015).

2.1.6.3 Aplicaciones de la Fitorremediación.

La fitorremediación ha sido utilizada para remediar instalaciones militares, zonas de tanques de almacenamiento de combustible, campos agrícolas, vertederos industriales y municipales, plantas de municiones del ejército, plantas de tratamiento de aguas residuales y minas. En los años 90 la fitorremediación fue utilizada primordialmente para sustraer metales pesados de los suelos (Silva, 2010).

Los procesos de Fitorremediación pueden emplearse en el tratamiento de suelos contaminados con elementos orgánicos como benceno, tolueno, etilbenceno y xilenos (BTEX); solventes clorados; HAP; agroquímicos; restos de nitrotolueno y organofosforados; asimismo elementos inorgánicos como cobre, cromo, cadmio, níquel, selenio, zinc y plomo. Además son muy eficiente en la extracción de metales radioactivos encontrados en agua y suelos (Volke & Velasco, 2002).

2.1.6.4 Ventajas de la Fitorremediación.

Según la opinión de Delgadillo, González, Prieto Villagómez y Acevedo (2011) los procesos de fitorremediación tienen grandes ventajas:

- Se puede realizar in situ y ex situ.
- Se realiza sin necesidad de transportar el sustrato contaminado, con lo que se disminuye la diseminación de contaminantes a través del aire o del agua.
- Es una tecnología sustentable.
- Es eficiente tanto para contaminantes orgánicos como inorgánicos.

- No requiere de un alto presupuesto económico.
- El personal que lo maneja no necesita ser especializado.
- No necesita de ninguna clase de energía.
- No perjudica al ambiente.
- Contribuye con el suelo, optimizando sus propiedades físicas y químicas, gracias a la cubierta vegetal que se forma.
- Evita realizar grandes excavaciones que dañan el suelo.
- Se puede emplear en agua, suelo, aire y sedimentos.
- Permite el reciclado de recursos (agua, biomasa, metales).

2.1.6.5 Desventajas de la Fitorremediación.

En las desventajas de la fitorremediación se citan:

- En especies como los árboles o arbustos, la fitorremediación es un proceso relativamente lento.
- Su aplicación se restringe a sitios de contaminación superficial dentro de la rizósfera de la planta.
- El crecimiento de las plantas está limitado por concentraciones tóxicas de contaminantes, por lo tanto, es aplicable a ambientes con concentraciones bajas de contaminantes.
- En el caso de la Fito volatilización, los contaminantes almacenados en las partes aéreas (hojas) pueden ser expulsados reiteradamente a la atmósfera.
- No todas las plantas poseen la capacidad de acumular, degradar o transformar los contaminantes.
- En sistemas acuáticos se disminuye la proliferación de plagas, como la de moscos (Delgadillo, González, Prieto, Villagómez, & Acevedo, 2011).

2.1.7 Brassicaceae.

Es una familia de plantas que contiene muchas especies empleadas por el ser humano como alimento: el nabo (*Brassica rapa*), el berro (*Nasturtium officinale*), la col (*Brassica oleraceae*) y el rábano (*Raphanus sativus*); como medicina: la mostaza negra (*Brassica nigra*), el berro (*Cakile lanceolata*) y el mastuerzo (*Lepidium virginicum*) entre ciertas especies de importancia, además de ser utilizadas como plantas forrajeras y ornamentales (Ecured., 2018).

Actuales estudios sitúan el principio de las brassicáceas aproximadamente hace 37 millones de años, cuando el planeta era sometido a climas cálidos y húmedos, llenos de bosques tropicales extendidos por el viejo continente, ambiente que contribuyó a la proliferación de la especie adaptada a un clima cálido. A finales de esta época sucedió un cambio climático con una baja de temperatura que congeló la tierra, matando a todas las especies de plantas y animales existentes. Este evento concuerda contrariamente a lo esperado, dada una máxima propagación de las especies crucíferas, además de su evolución que condujo a la existencia de varias especies de esta familia (Pandolfo, 2016). A estas características especiales que poseen se ven incorporadas las diferencias en el sistema reproductivo, fases de floración, biología de la polinización y cambios en su ecosistema de vida (Rosales , 2004). La adaptación de esta especie es similar a la de las cleomáceas y caparáceas que se encuentran escasamente repartidas por él planeta. Cuando suscitó este impactante cambio climático las especies de esta familia fueron obligadas a migrar hacia otros hábitats o extinguirse (Pandolfo, 2016).

Se considera que la duplicaciones del genoma (*whole-genome duplications*) suscitado en las brassicáceas fue un fenómeno importante para su evolución. En análisis realizados en *A. thaliana* se encontró acontecimientos que ligan a tres de estos fenómenos dentro de la historia progresiva de estas especies. La más remota duplicación sucedió cuando se esparcieron las eudícotas

(Eudicotyledoneas), la siguiente en la discrepancia de las carícaceas – brassicaceas, y la más actual en el núcleo de las brassicaceas (hace cuarenta millones de años), que encaja con su propagación. Tal suceso fue de gran importancia para su diversificación. La poliploidía abastece el material preciso para que actúe la selección, ampliando la resistencia a mutaciones deletéreas, incrementando la tasa de especiación y riqueza de la especies, además de otorgarle facilidades adaptativas para reproducirse en ambientes inestables (Pandolfo, 2016).

Las presencia de estos dos suceso, uno externo relacionado; con la baja de temperatura que instauró ambientes secos y abiertos; y nuevos hábitats; y otro interno afín de la genética basados en la duplicación del genoma, que aportaron con las condiciones necesarias para que esta especie denominada crucífera se adapte con gran facilidad en estos nuevos nichos ecológicos (Rosales , 2004).

2.1.7.1 Características de las Brassicaceae.

- **Porte:** hierbas pequeñas que pueden crecer hasta 1.5m, rara vez arbustos, que puede llegar a vivir entre uno y más de dos años.
- **Hojas:** De color verde claro alternas y opuestas, por lo general simples o a menudo pinnadas.
- **Flores:** en forma de racimos, perfectas, algunas veces zigomorfas, actinomorfas, o hipóginas a menudo con nectarios.
- **Fruto:** en forma de silicua de color verde.
- **Perianto:** compuesto por un cáliz con 4 sépalos, cuatro pétalos que forman una cruz razón por la que se las denomina como Crucífera.
- **Androceo:** compuesto por estambres, (4 -) 6 (-16).

- **Gineceo:** posee un ovario súpero, óvulos, 1-∞, con o sin estilo, y un estigma bilobulado o capitado.
- **Semillas:** no tienen endosperma, con embrión oleaginoso de forma variada (Raisma & González, 2013).

“La familia *Brassicaceae* comprende aproximadamente trecientos cincuenta géneros y tres mil especies, distribuidas en todo el mundo pero principalmente en las regiones templadas” (Monsalve, 2003). Esta familia incluye especies que poseen un personal interés científico, económico y agronómico, incluyendo especies modelo de estudio biológico (*Arabidopsis thaliana* y varias especies del género *Brassica*), así como aquellas que son ampliamente cultivadas (brócoli, canola, coliflor, colza y diversos rábanos). Varios de sus taxones son conocidos por su habilidad de hiperacumular metales y su tolerancia ante la presencia de los mismos (Vargas, Sánchez, & Jiménez, 2013).

2.1.2. Brassicaceae Género *Raphanus*.

Las plantas pertenecientes al género *Raphanus* están compuestas por dos especies básicas: *R. sativus* que abarca a todas la plantas cultivadas mientras que *R. raphanistrum* L. se supone que es el antecesor silvestre, que se desarrolla de forma natural en diversas zonas del mundo. Las dos especies son diploides, con nueve pares de cromosomas y podrían hibridarse entre sí. Al género *Raphanus sativus* no se lo ha encontrado en estado silvestre, además se considera que es el resultado de la domesticación de *R. raphanistrum*. Esta última es considerada como una maleza muy agresiva a nivel mundial, encontrada en más de cuarenta y cinco cultivo de sesenta y cinco países. Es nativa de región litoral del Mediterráneo (Oriente Medio, Europa, y el norte de África), se la puede hallar en zona templadas de los dos hemisferios. Existe alrededor de ciento veinte especies crucíferas que

son malezas, muchas de ellas son cosmopolitas y se encuentran en los cultivos a nivel mundial (Pandolfo, 2016).

2.1.7.2 *Raphanus raphanistrum*.

- Familia: Crucífera (*Brassicaceae*).
- Género: *Raphanus*.
- Nombre común: Rabanillo, Rabaniza, Rábano salvaje, Rábano silvestre.
- Época de floración: Febrero, marzo, abril, mayo, junio.
- Forma vitales: Geófito, Terófito.
- Hábitat: Tierras cultivadas
- Características: Hierbas de campo, y cantos de caminos, su tamaño es más de 50 centímetros de altura. Tiene hojas de tacto áspero, muy divididas con lóbulos irregulares donde el apical puede ser el más grande. Las flores son blanquecinas con las venas bien marcadas de color violáceo. El fruto es muy característico porque desarrolla estrangulaciones entre cada una de las semillas dándole una forma bien particular, florece casi todo el año (Àrea de Botànica, Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears, 2007).

Se puede describir a *Raphanus raphanistrum* como:

- Hábito: ramificada, poco pubescente
- Forma de vida: estructura erecta, puede vivir anualmente
- Tamaño: puede alcanzar 1 metro de alto.
- Tallo: en forma Cilíndrica, ciertas veces acostillado, erecto, ordinariamente sencillo en la base, presentando ramificación en su parte superior.

- Hojas basales: su peciolo puede medir 1 a 6 cm de largo; lamina oblonga, obovada u oblanceolada en contorno, profundamente lirado-pinnatífida u ocasionalmente entera, con un largo de 6 a 20 cm y un ancho entre 3 a 10 cm, terminando con un lóbulo grande y redondeado, al igual que muchos pares de lóbulos laterales más pequeños, con presencia de indumentos estrigosos y margen dentado.
- Hojas del tallo: contienen un peciolo muy corto que muchas de las veces no existe con láminas pequeñas, elípticas, de 2.5 a 7 centímetros de largo y de 7 a 25 milímetros de ancho, ápice agudo a redondeado, base atenuada, con indumento estrigoso y un margen entero o dentado.
- Inflorescencia: dotada por un sencillo racimo.
- Flores: tienen una longitud de 2 a 3 centímetros, incluye el pedicelo, que puede ser más similar o más largo que los sépalos; tiene sépalos angostos, de color verde con un largo aproximado a 10 mm; pétalos en colores cremosos, blancos o amarillentos, a veces con pequeñas venas de color morado oscuro, de 15 a 20 milímetros de largo, unguiculados; el estilo con un estigma capitado y levemente bilobado.
- Frutos: compuestos por unas semillas con dos cotiledones envueltas en una vaina en compartimientos cerrados, que pueden alcanzar de 1 centímetro de largo.
- Semillas: globulares, ovoides, de 2 a 3 milímetros de largo, de color rojizo, café rojizas a café naranja en incluso café oscuras y reticuladas, puede encontrarse en cada fruto de 4 a 6 ejemplares.
- Raíz: Pivotante y frecuentemente engrosada (Rollins, 1993).

- Características especiales: dentro de sus características especiales se puede citar su característico olor al rábano, es una hierba anual con hojas, frutos de mayor tamaño a 2.5 cm pétalos de color crema y pequeñas venas oscuras. (Rollins, 1993).

2.1.8 Taxonomía.

Es una especie emparentada con el rábano doméstico, *Rhapanus sativus*, y posiblemente es su ancestro. Esta especie cambia dependiendo del lugar en el que se encuentre es así que en Europa presenta flores de color blancas y rosas, con sépalos más teñidos de color morado y frutos gruesos, mientras en otros países como México muestra sépalos de color verde. El vocablo *Raphanus* proviene de una palabra griega que significa “apareciendo rápido”, debido a su pronta germinación (Rojas & Vibrans, 2004). La planta *Raphanus raphanistrum* “Pueden encontrarse en altitudes que van desde 2250-3000 m.s.n.m” (Rosales , 2004).

2.1.8.1 Categorías taxonómicas superiores.

- Reino: Plantae
- Subreino: Plantas vasculares denominadas Traqueobionta
- Superdivisión: Plantas con semillas denominadas Spermatophyta
- División: Plantas que poseen flores denominadas Magnoliophyta
- Clase: dicotiledóneas contiene 2 cotiledones, Magnoliopsida
- Subclase: Dilleniidae
- Orden: Capparales (Vibrans, 2009).

La planta *Raphanus raphanistrum* es una maleza nociva a nivel mundial, reportada como especie adventicia rara, que se ha encontrado en Argentina en distintas zonas, con las siguientes

características: semillas con tamaños superiores, su raíz engrosada, silicuas globosas con escasa constricción entre sus semillas, las cuales permanecen en la planta después de haber alcanzado su madurez. Se presume que entró en el continente Americano mediante las visitas que realizaron los europeos en la época de la conquista (Pandolfo, 2016).

Raphanus raphanistrum es una planta perteneciente a la familia Brassicaceae, conocidas también como crucíferas debido a que sus flores son en forma de una cruz, esta planta posee una característica especial al poseer taxones hiperacumuladores de metales pesados (Vargas, Sánchez, & Jiménez, 2013). Debido a esta característica especial y a los beneficios que ofrece la plántula se la seleccionó para el presente proyecto piloto.

Entre los beneficios que presenta la planta *Raphanus raphanistrum* conocida como rábano silvestre se destaca algunas ventajas 1) Su disponibilidad al encontrarse distribuida en distintos sectores del cantón Penipe. 2) Puede ser aplicada directamente en los lechos de secado adyacentes a la PTAR sin tener que transportar el lodo residual contaminado a otro sector. 3) Su costo es relativamente bajo ya que se puede recolectar las semillas de la planta en cualquier zona del cantón Penipe. 4) Reduce la inversión de recursos económicos utilizados en transporte del sustrato o lodos residuales. 5) Es un tratamiento amigable con el ambiente gracias a que no se utiliza ninguna clase de sustancias químicas peligrosas para su aplicación (Núñez, Meas, Ortega, & Olguín, 2004).

2.2 Marco Conceptual.

El desarrollo del presente trabajo requiere de la comprensión de ciertos conceptos que son utilizados en las fases de la experimentación. Tales como:

- **Contaminante:** los contaminantes pueden ser elementos, sustancia, derivados químicos o biológicos, energías, radiaciones, vibraciones, ruido que causan efectos negativos sobre el agua, suelo, flora, fauna, personas y su interrelación con el ambiente en general (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).
- **Disposición final:** es la última fase de manejo de los desechos y/o residuos sólidos, en la que son dispuestos de forma definitiva los desechos sólidos no aprovechables o desechos peligrosos, con tratamiento previo, en lugares seleccionados y diseñados para evitar la contaminación, daños o riesgos a la salud humana o al ambiente (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).
- **Plomo:** el Plomo es un elemento químico que posee un número atómico 82, es de color gris azulado, se lo puede encontrar en la naturales de forma natural en pequeñas cantidades, se funde con facilidad, tiene una valencia de 2+ y 4+, es considerado como un elemento tóxico para los seres humanos (Martín, 2008).
- **Fitorremediación:** la fitorremediación es una fracción de la biorremediación que posee características especiales debido a sus procesos biológicos naturales que se dan entre el suelo, plantas y microorganismos. En ella se emplean plantas (flora arbórea, arbustiva, herbácea) y algas que tienen la capacidad de almacenar y eliminar sustancias tóxicas mediante sus procesos metabólicos, por lo que son denominadas plantas hiperacumuladoras (Marrero, Amores, & Coto, 2012).
- **Lodos residuales:** se define como lodos residuales a los desechos, sedimentos, arenas que contienen humedad, provenientes del desazolve de los sistemas de alcantarillado de las poblaciones, de las industrias o de cualquier actividad que realice el ser humano y que deben

ser manejados adecuadamente para su disposición final, dependiendo del contenido de contaminante que posean (Ambiente., 2014).

- **Metales pesados:** una de las definiciones establecida para metales pesados es basada en su peso específico superior a 5g/cm^3 cuando se encuentra en forma elemental o tiene un número atómico superior a 20, se los conoce como elementos de transición de la tabla periódica (Ramos, 2002)
- **Muestra compuesta:** se denomina muestra compuesta aquella que se compone de submuestras recolectadas del sustrato a ser analizado (Laboratorio de Calidad Ambiental, 2007).
- **Remediación ambiental:** conjunto de medidas y acciones que se aplica en un área determinada para revertir las afectaciones ambientales producidas por la contaminación a consecuencia del desarrollo de actividades, obras o proyectos económicos o productivos (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).
- **Tratamiento de aguas residuales:** conjunto de procesos, operaciones, técnicas en las que las aguas residuales experimentan una transformación Física, química y biológica (Acuerdo Ministerial No. 097-A, 2015).
- **Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR):** se denomina como Planta de Tratamiento de Aguas Residuales al conjunto de obras, facilidades y procesos, implementados para mejorar las características del agua residual doméstica e industrial mediante procesos físicos, químicos y biológicos que tienen como fin eliminar los contaminantes físicos, químicos y biológicos presentes en el agua que usamos y desechamos los seres humanos.

2.3 Marco Legal.

2.3.1 Marco Institucional.

Las principales instituciones que guardan relación con la presente investigación, se desglosa a continuación. Lo determinado con anticipación se sintetiza en la *Figura 1*.

MARCO INSTITUCIONAL	Ministerio del Ambiente
	Dirección Provincial del Ambiente de Chimborazo
	Secretaría Nacional del Agua (SENAGUA)
	Gobierno Municipal Descentralizado del cantón Penipe

Figura 1. Marco Institucional

- **CONSTITUCIÓN DE LA REPÚBLICA DEL ECUADOR (2008).**

Con la finalidad de regular y controlar una nueva forma de convivencia ciudadana en la que todos puedan vivir en un territorio sin tener que estar expuestos a varios peligros, la Asamblea Nacional y sus funcionarios emite una reforma a la Constitución de la República del Ecuador de 1998. En la nueva reforma emitida el año 2008 se pone gran énfasis en el cuidado y protección del medio ambiente considerando los peligros que pueden causar las alteraciones de la biodiversidad y de los distintos factores ambientales (agua, suelo, aire).

Sección segunda.- Ambiente sano.

Art. 14.- “En este apartado se reconoce el derecho de la población a vivir en un ambiente sano y ecológicamente equilibrado, que garantice la sostenibilidad y el buen vivir, *sumak kawsay*. Declarando como interés público la preservación del ambiente, la conservación de los ecosistemas,

la biodiversidad y la integridad del patrimonio genético del país, la prevención del daño ambiental y la recuperación de los espacios naturales degradados”.

Sección sexta.- Hábitat y vivienda.

Art. 30.- “Las personas tienen derecho a un hábitat seguro y saludable, y a una vivienda adecuada y digna, con independencia de su situación social y económica”.

Capítulo séptimo.- Derechos de la naturaleza.

Art. 72.- “La naturaleza tiene derecho a la restauración. Esta restauración será independiente de la obligación que tienen el Estado y las personas naturales o jurídicas de indemnizar a los individuos y colectivos que dependen de los sistemas naturales afectados. En los casos de impacto ambiental grave o permanente, incluidos los ocasionados por la explotación de los recursos naturales no renovables, el Estado establecerá los mecanismos más eficaces para alcanzar la restauración, y adoptará las medidas adecuadas para eliminar o mitigar las consecuencias ambientales nocivas”.

Capítulo segundo.- Organización del territorio.

Art. 264.- Los gobiernos municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley:

1. “Planificar el desarrollo cantonal y formular los correspondientes planes de ordenamiento territorial, de manera articulada con la planificación nacional, regional, provincial y parroquial, con el fin de regular el uso y la ocupación del suelo urbano y rural”.

4. “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (Registro Oficial, 2008).

- **REFORMA DEL LIBRO VI DEL TEXTO UNIFICADO DE LEGISLACIÓN SECUNDARIA. Acuerdo No 061 (2015).**

El ministerio del ambiente busca regular las actividades de los ciudadanos ecuatorianos reconociendo el derecho de tener un lugar de vivienda adecuado en el que no exista alteraciones del medio ambiente que causen daños a la salud de la población o al medio ambiente que los rodea. Por ello se emite el presente Acuerdo Ministerial publicado en el registro oficial No. 316 con fecha 4 de mayo del 2015. A continuación se detallan algunos artículos que tienen relación con el presente trabajo.

CAPÍTULO VIII.- CALIDAD DE LOS COMPONENTES BIÓTICOS Y ABIÓTICOS

SECCIÓN I.- DISPOSICIONES GENERALES.

Art. 195 Responsabilidad.- “La Autoridad Ambiental Competente en ningún caso será responsable por emisiones, descargas y vertidos que contengan componentes diferentes o que no cumplan con los límites establecidos reportados por el Sujeto de Control quien será responsable en el ámbito administrativo, civil, o penal. Adicionalmente a la imposición de sanciones administrativas, civiles o penales generadas por incumplimientos a la normativa ambiental aplicable, el incumplimiento de las medidas de contingencia para la limpieza, remediación y restauración de una área contaminada que a su vez pasa a ser una fuente de contaminación del entorno, puede conllevar a la generación de pasivos ambientales, cuya responsabilidad recaerá sobre quien o quienes generaron la contaminación, sobre el Sujeto de Control que no tome los

correctivos inmediatos y sobre quien impida la aplicación de las medidas correctivas pertinentes de ser el caso”.

PARÁGRAFO I.- DEL AGUA.

Art. 211.- “Tratamiento de aguas residuales urbanas y rurales.- La Autoridad Ambiental Competente en coordinación con la Agencia de Regulación y Control del Agua, verificará el cumplimiento de las normas técnicas en las descargas provenientes de los sistemas de tratamiento implementados por los Gobiernos Autónomos Descentralizados. Las actividades productivas, se sujetarán a lo dispuesto en el presente Libro y a la normativa técnica que para el efecto emita la Autoridad Ambiental Nacional. La gestión y el mantenimiento de sistemas de tratamiento de agua deberán ser monitoreados y evaluados por medio de los mecanismos de control y seguimiento establecidos en este Libro” (Hugo del Pozo, 2015).

• CÓDIGO ORGÁNICO DE ORGANIZACIÓN TERRITORIAL, AUTONOMÍA Y DESCENTRALIZACIÓN (COOTAD) (2010).

En consideración de la nueva organización territorial del Estado ecuatoriano y a las competencias y responsabilidades que asumen los Gobiernos Autónomos Descentralizados en sus distintas jurisdicciones se establece el Código Orgánico Territorial de Autonomía y Descentralización, como herramienta de apoyo, el mismo que provee de una base legal a los funcionarios de estos sectores.

TÍTULO III.- GOBIERNOS AUTÓNOMOS DESCENTRALIZADOS.

Capítulo III.- GOBIERNO AUTÓNOMO DESCENTRALIZADO MUNICIPAL.

Sección I.- NATURALEZA JURÍDICA, SEDE Y FUNCIONES.

Art. 54.-“Funciones.- Son funciones del gobierno autónomo descentralizado municipal las siguientes”:

k) “Regular, prevenir y controlar la contaminación ambiental en el territorio cantonal de manera articulada con las políticas ambientales nacionales”.

Art. 55.-“Competencias exclusivas del gobierno autónomo descentralizado municipal.- Los gobiernos autónomos descentralizados municipales tendrán las siguientes competencias exclusivas sin perjuicio de otras que determine la ley”:

d) “Prestar los servicios públicos de agua potable, alcantarillado, depuración de aguas residuales, manejo de desechos sólidos, actividades de saneamiento ambiental y aquellos que establezca la ley” (Del Pozo Barrezueta, 2010).

• NORMA DE CALIDAD AMBIENTAL Y DE DESCARGA DE EFLUENTES: RECURSO AGUA.

La norma de calidad ambiental regulan las descarga de efluentes para preservar y controlar la contaminación ambiental en lo relativo al recurso agua para salvaguardar y preservar los usos asignados, la integridad de las personas y de los ecosistemas.

PRINCIPIOS BÁSICOS.

Las municipalidades dentro de su límite de actuación y a través de las Entidades Prestadoras de Servicios de agua potable y saneamiento (EPS) de carácter público o delegadas actualmente al sector privado, serán las responsables de prevenir, controlar o solucionar los problemas de contaminación que resultaren de los procesos involucrados en la prestación del servicio de agua

potable y alcantarillado, para lo cual deberán realizar los respectivos planes maestros o programa de control de la contaminación (Ambiente., 2014).

La Norma Ecuatoriana general de descarga de efluentes, estipulada en el Acuerdo Ministerial No. 097 – A (2015) los límites permisibles para descargas de este tipo de desecho a un cuerpo de agua, es así que los criterios de calidad para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce, marina o de estuario se presentan en la Tabla 2, del Anexo 1 de la reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Ambiental Secundaria del Ministerio del Ambiente del Ecuador.

En la *Tabla 1*, se muestra el criterio de la calidad de agua para preservar la vida acuática y silvestre en agua dulce respecto al plomo, establecida y actualmente vigente en la normativa ambiental ecuatoriana.

Tabla 1

Criterio de calidad admisible para la preservación de la vida acuática y silvestre en agua dulce

Parámetro	Expresados como	Unidad	Criterio de calidad
Plomo	Pb	mg/l	0,001

Fuente (Acuerdo Ministerial No. 097 -A, 2018)

La *Tabla 2*, indica el criterio de la calidad del suelo respecto al plomo. Estos criterios son los que se utiliza cuando se trata de lodos residuales.

Tabla 2

Criterios de Calidad del Suelo

Parámetros inorgánicos		
Plomo	mg/Kg	19

Fuente. (Acuerdo Ministerial No. 097 -A, 2018)

CAPÍTULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Ubicación Geográfica del Proyecto de Investigación.

El proyecto investigativo se desarrolló en las coordenadas geográficas U.T.M. WGS-84 zona geográfica 17 S - 0774446 Este; 9827138 Norte, que corresponden a la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la parroquia Matriz del cantón Penipe, jurisdicción de la provincia de Chimborazo. En la *Figura 2*, se ilustra la ubicación de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) respecto a la parroquia Matriz Penipe.

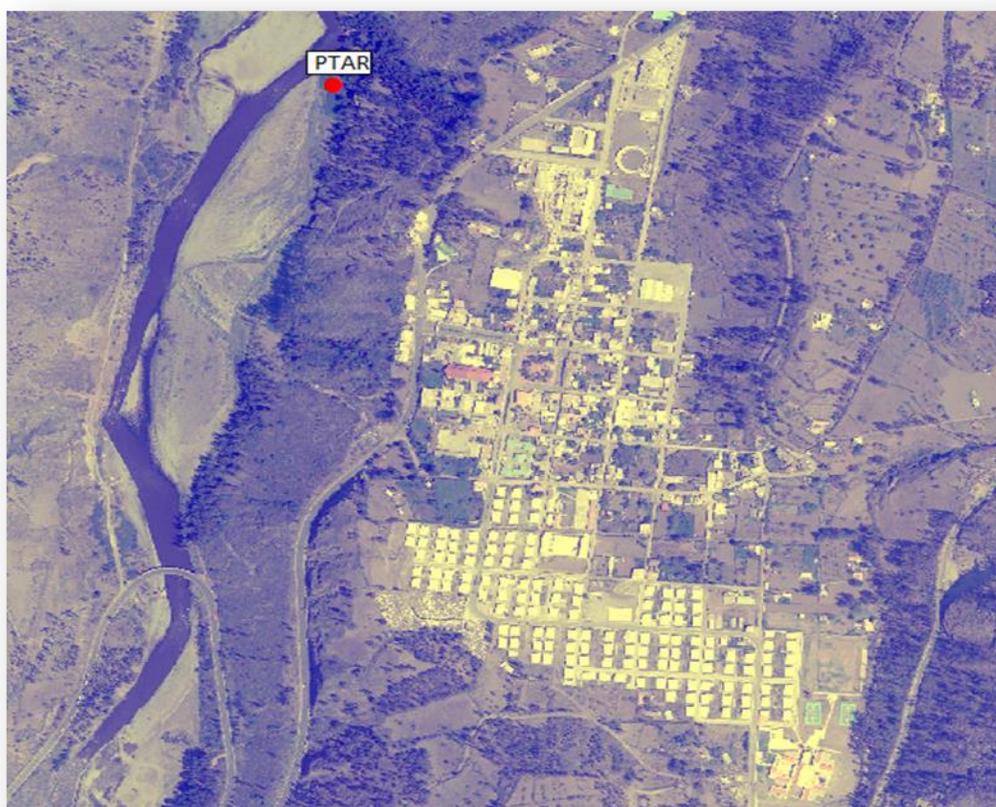


Figura 2. Ubicación de la (PTAR) en la parroquia Matriz del cantón Penipe

3.2 Área de Influencia.

El área de influencia abarca el cantón Penipe, que ocupa una superficie de 386 km², con una población de 6739 habitantes (INEC , 2010). El cantón Penipe está constituido por siete parroquias: Bayushig, La Candelaria, Bilbao, El Altar, Puela, Matus y la parroquia Matriz Penipe. Se estima como eje central del área de influencia, la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR), ubicada en la parroquia Matriz del cantón Penipe.

3.3 Planta de tratamiento de Aguas Residuales de la parroquia Matriz del cantón Penipe.

La Planta de tratamiento de Aguas Residuales de parroquia Matriz está diseñada para tratar un caudal de 530m³/día, consiste en una unidad de tratamiento primario denominada Tanque Imhoff. El cual tiene por finalidad sedimentar el agua y digerir los lodos sedimentables, por esta característica especial también se lo conoce como tanque de doble cámara. Su forma es rectangular, está constituido por 2 cámaras de sedimentación, 2 cámaras de digestión de lodos, 2 cámaras de natas, 4 válvulas, tubería, y 1 lecho de secado. En la *Figura 3* se encuentra una imagen de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la parroquia Matriz del cantón Penipe.



Figura 3. PTAR de la parroquia Matriz del cantón Penipe

En la fase operacional, el agua residual fluye a través de la cámara de sedimentación, aquí se remueve la mayor parte de los sólidos sedimentables, luego pasa a la cámara de digestión de lodos en donde se producen reacciones anaerobias, los fangos son depositados en la superficie baja, en el que son digeridos, posteriormente son retirados por medio de la tubería interna y depositados en los lechos de secado. En el *Anexo 1* se muestra el plano de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del cantón Penipe.

3.3.1 Lechos de secado.

Los lechos de secado se encuentran junto al tanque Imhoff, poseen un área de 408 m². Está formado por dos capas una de grava y otra de arena, sobre esta última se depositan los lodos extraídos del tanque Imhoff. En la parte inferior existe un contrapiso que hace la función de impermeabilizar el lecho. También se aprecia la existencia de una tubería interna para la recolección del lixiviado, es decir el líquido que resulta de la infiltración de los lodos extraídos. Actualmente los lodos extraídos alcanzan un volumen aproximado de 81.60 m³ que no han recibido ningún tipo de tratamiento y que según los análisis realizados por Gobierno Autónomo Descentralizado del Cantón Penipe reportan altas concentraciones de plomo. Se presume que el plomo presente en los lodos residuales, resulta de tinturas utilizadas para teñir ponchos de lana de oveja actividad artesanal que realizan tradicionalmente algunos pobladores que viven en el sector descargando sus desechos al alcantarillado público existente.

3.4 Análisis Físico-Químico del agua residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe.

En cumplimiento con la Normativa Ambiental vigente y a lo estipulado en el Plan de Manejo Ambiental aprobado por la Dirección Provincial del Ambiente Chimborazo mediante Oficio Nro.

MAE-DEPACH- 2012-0733, con fecha 19 de abril de 2012, la Dirección de Gestión de Impacto Ambiental y Salud Pública del Gobierno Autónomo Descentralizado del Municipio de Penipe analiza el agua de entrada y salida de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la parroquia Matriz. En la *Tabla 3* se plasma los resultados obtenidos.

Tabla 3

Análisis físico químico del agua de la PTAR del GAD Municipal del cantón Penipe.

Parámetro Analizado	Agua de Entrada	Agua de Salida
Sólidos sedimentables	2.00 mg/l	0.500 mg/l
Sólidos suspendidos totales	98.00 mg/l	68.00 mg/l
Sólidos totales disueltos	564 mg/l	486 mg/l
Plomo	23.00 mg/l	21.4 mg/l

Fuente. (Análisis físico químico del agua de la PTAR del GAD Municipal de Penipe, 2014)

3.5 Eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la parroquia Matriz del cantón Penipe.

Para el cálculo de la eficiencia de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la parroquia Matriz del cantón Penipe se utilizará la siguiente formula:

$$E = \frac{C1 - C2}{C1} * 100$$

Donde:

E= eficiencia del proceso %

C1= Contaminante de entrada

C2= Contaminante de salida

Eficiencia de la PTAR para depurar las concentraciones de plomo

$$E = \frac{23.00 - 21.4}{23.00} * 100 = 6.95 \%$$

Eficiencia de la PTAR para depurar la cantidad de solidos sedimentables

$$E = \frac{2.00 - 0.500}{2.00} * 100 = 75 \%$$

Eficiencia de la PTAR para depurar la cantidad de solidos suspendidos totales

$$E = \frac{98.00 - 68.00}{98.00} * 100 = 21 \%$$

Eficiencia de la PTAR para depurar la cantidad de Sólidos totales disueltos

$$E = \frac{564 - 486}{564} * 100 = 13.8 \%$$

3.6 Análisis Físico-Químico del lodo residual de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe.

Entre los años 2014 – 2016 el Gobierno Autónomo Descentraliza del cantón Penipe, realiza cuatro análisis de los lodos procedentes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) los mismos que muestran concentraciones variadas que fluctúan entre 27. 60 mg/kg y 16.03 mg/kg de plomo presente. En la *Tabla 4*, se exponen los resultados del laboratorio CORPLABEC.S.A realizados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe.

Tabla 4*Análisis físico químico del lodo de la PTAR del GAD Municipal de Penipe*

No.	Fecha	Potencial de Hidrógeno pH	Plomo (mg/kg)
1	12/12/2014	6.46	19.00
2	01/09/2015	7.55	21.80
3	29/03/2016	7.17	16.03
4	29/09/2016	6.58	27.60

Fuente. (Análisis físico químico del lodo de la PTAR del GAD Municipal de Penipe, 2014)

En el año 2016 el nivel de plomo, sobrepasa los límites permisibles de 19 mg/kg establecidos en el Acuerdo Ministerial No. 097-A, mientras que en el año 2014, 2015 y primer semestre del 2016 se expone una concentración que está dentro de los límites permisibles establecidos en la normativa ambiental aplicable a la República del Ecuador.

En el *Anexo 2* se presentan los resultados de todos los parámetros analizados en lodos residuales realizados por el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe en el laboratorio CORPLABEC.S.A.

Debido a los datos históricos obtenidos mediante el Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe en el laboratorio CORPLABEC.S.A es necesario realizar un tratamiento y disposición final técnica, por lo que se plantea realizar una prueba piloto para observar la eficiencia de remoción de plomo que presenta la plántula *Raphanus raphanistrum*, en vista que es una planta que pertenece a la familia brassicaceae, endémica, bibliográficamente presenta una alta eficiencia de remoción de metales pesados, necesita poco cuidado y metaboliza el plomo convirtiéndola en una especie inocua así lo establece Villatoro en su tesis doctoral denominada

Caracterización nutricional y agronómica, análisis de la actividad biológica y selección de crucíferas para uso alimentario.

3.7 Tratamiento Fitorremediador aplicado.

El Tratamiento Fitorremediador piloto propuesto para estudiar la eficiencia de remoción de plomo en los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la parroquia Matriz del cantón Penipe, consiste en una serie de pasos que se detallan a continuación.

- a) **Extraer los lodos.-** El primer paso a seguir es la extracción de lodos de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales mediante la apertura de la válvulas.
- b) **Deposito en lechos de secado.-** Una vez abiertas las válvulas de la PTAR mediante tuberías internas se conduce los lodos residuales al lecho de secado para su deshidratación y reducción de volumen mediante factores naturales como es el sol.
- c) **Desmenuce del lodo residual.-** Los lodos deshidratados adquieren una compactación por lo que es necesario realizar un desmenuzado manual de los mismos.
- d) **Recolección del lodo residual para el experimento.-** En esta fase se procede a recolectar el lodo desmenuzado utilizando la técnica establecida en la Guía para muestreo de suelos No. 002-2013-MINAM, la cual indica que cuando el área de contaminación tiene forma regular de un rectángulo, el número de muestras y distribución, será de una muestra en cada pared corta (2), dos en cada pared larga (4) y dos en el fondo (2), total 8 muestras que formaran la muestra compuesta.
- e) **Siembra de semillas.-** Las semillas de *Raphanus raphanistrum* fueron sembradas en un semillero en el cual permanecieron hasta ser trasplantadas.

f) **Trasplante.**- A los 49 días de vida de la plántula *Raphanus raphanistrum* se procede a trasplantarla en suelo común y lodo residual.

g) **Monitoreo.**- Se observa todos los cambios que susciten durante la investigación. En la *Figura 4* se detalla el esquema de tratamiento fitorremediador aplicado.

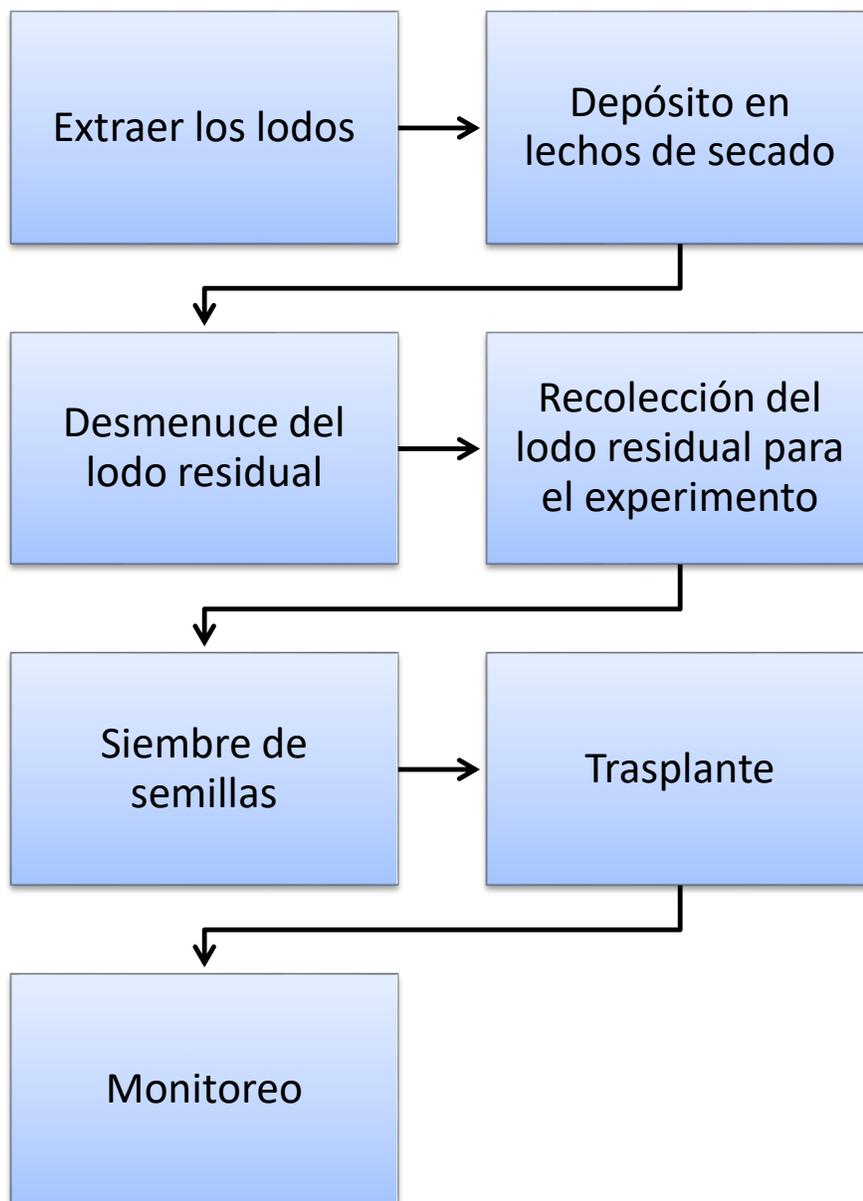


Figura 4. Esquema de tratamiento fitorremediador

3.8 Procedimiento.

3.8.1 Selección de la especie de planta para la aplicación de la fitorremediación.

Para el proceso de fitorremediación aplicado al lodo residual proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales del Gobierno Autónomo Descentralizado del cantón Penipe, ubicada en la parroquia Matriz, se seleccionó una planta existente en la zona denominada *Raphanus raphanistrum* más conocida como rábano silvestre, planta perteneciente a las angiospermas dicotiledóneas de la familia Brassicaceae llamadas también crucíferas por la forma de sus flores con corola que representan una imagen de cruz, debido a que los taxones de ésta especie son identificados como hiperacumuladores de metales pesados así lo establece Vargas, Sánchez, & Jiménez, en su artículo científico La Producción de Metabolitos Secundarios en la Familia Brassicaceae.

3.8.2 Selección del tipo de muestreo para el proceso de recolección de la muestra de lodo residual

La recolección de la muestra de lodo residual se realizó como lo establece la Guía para muestreo de suelos, Decreto Supremo N° 002-2013-MINAM, Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Suelo, en la que indica que cuando el áreas de contaminación es de forma regular y menor a 1000 m² se debe realizar de la siguiente manera. Dividir al lecho de secado en 8 puntos, en cada punto se recolectó 0,4375kg de lodo residual (submuestra), una vez realizado este proceso se continuó con la homogenización de la muestra antes de ser usada en la unidad piloto en la cual se desarrollarán los procesos de fitorremediación. La *Figura 5* muestra los puntos de las submuestras recolectadas.

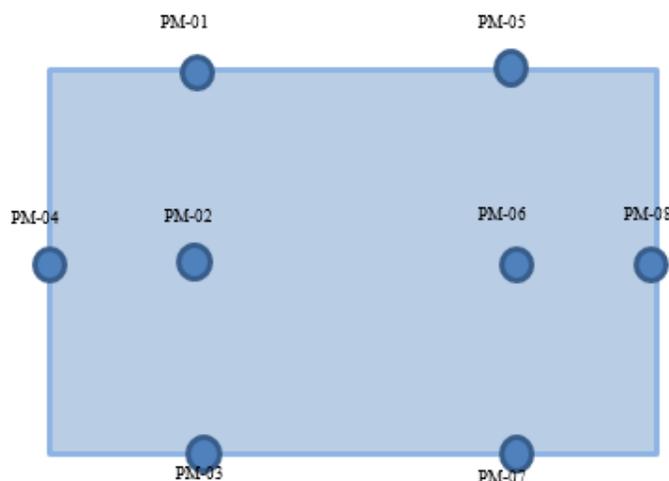


Figura 5. Puntos de las submuestras recolectadas

Este procedimiento constituye una unidad piloto en la cual se pretende valorar los procesos de fitorremediación con la especie *Raphanus raphanistrum* más conocida como rábano silvestre debido a su gran diversidad existente en la zona de estudio. Durante el seguimiento y control del contenido de Plomo en el lodo residual se trabajó con pruebas piloto las mismas que fueron realizadas por el laboratorio CESTTA.

3.9 Seguimiento y control de la unidad piloto.

El experimento se desarrolló en los meses de enero, febrero, marzo y primeros días de abril del 2018, a una altitud de 2750 m.s.n.m. y presión atmosférica de 1027 hPa. Para un mejor monitoreo de la plántula se cultivó en condiciones controladas de humedad del 72.1% bajo cubierta tipo invernadero. El entorno meteorológico presentado en el tiempo que duró el experimento se presentan en la *Tabla 5*.

Tabla 5
Condiciones meteorológicas presentes en la investigación

Condición Meteorológica	Enero	Febrero	Marzo
Promedio Humedad Relativa (%)	72.1	78.4	78.1
Promedio Temperatura (°C)	13.2	13.9	13.8

Fuente. (Estación Agrometeorológica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2018)

3.10 Proceso de cultivo de la planta *Raphanus raphanistrum*.

El cultivo de la planta *Raphanus raphanistrum* inició con la recolección de la semilla, en la comunidad de Nabuzo perteneciente a la parroquia Matriz del cantón Penipe, se cosecharon todas las vainas que alcanzaron su madurez fisiológica, para luego ser expuestas al sol durante 3 semanas con un promedio de temperatura de 13.2 °C y conseguir que su vaina se abra, obteniendo de esta manera las semillas necesarias para la ejecución del presente proyecto piloto.

Una vez obtenida la semilla se continuó con el proceso de siembra en un semillero con una capacidad de 3 kg de suelo común, las plantas permanecerán en éste semillero hasta alcanzar un tamaño considerable para ser trasplantadas en una unidad piloto. Para la siembra se realizó un pequeño surco no profundo en el que se depositaron las semillas que luego fueron cubiertas con una pequeña cantidad de suelo común, en la *Figura 6* se muestra el proceso de siembra de la planta *Raphanus raphanistrum* (rábano silvestre).



Figura 6. Siembre de *Raphanus raphanistrum*

La germinación de la semilla se produjo a los 7 días de la siembra, las plantas fueron creciendo en condiciones controladas de humedad (72.1%) adicionando 250 ml de agua cada dos días y bajo cubierta tipo invernadero. Con un tamaño aproximado de 14 cm, 49 días de vida y totalmente libre de Pb en su biomasa la plántula *Raphanus raphanistrum* (rábano silvestre), es trasplantada en 3,5 kg de lodo residual obtenido de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) del cantón Penipe con una concentración de plomo de 22.92 mg/kg y un pH de 7.49. Cabe indicar que a partir lo establecido anteriormente se da inicio al monitoreo mediante pruebas piloto. En la *Figura 7* se observa la imagen de la planta antes de ser trasplantada en la unidad piloto.



Figura 7. *R. raphanistrum* antes de su trasplante

En el presente proceso investigativo se tomó 100 g de lodo residual de la unidad piloto (recipiente) cada 15 días, para examinar las cantidades de plomo (Pb) y potencial de hidrógeno (pH) presentes. El laboratorio CESSTA de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo fue el encargado de realizar los análisis.

3.11 Monitoreo de la planta *Raphanus raphanistrum*.

Con el objeto de recabar toda la información posible durante la fase experimental se monitoreó la planta en dos fases visualmente cada 7 días y pruebas de laboratorio piloto cada 15 días durante cuatro meses y 20 días, desde la siembra de las semillas el 17 de noviembre del 2017 hasta el fin de su ciclo de vida el 06 de abril del 2018.

Para el trasplante de la plántula *Raphanus raphanistrum*, se utilizaron 2 unidades piloto (recipientes de vidrio de 20 x 20 x 20 cm) en la primera unidad piloto se depositó 3.5 kg de lodo residual y en la segunda 3,5 kg de suelo común. La *Figura 8* visualiza la planta trasplantada en lodo residual.



Figura 8. *R raphanistrum* aplicada en lodo residual

A los 7 días posteriores al trasplante no se muestran cambios físicos en las plántulas sembradas en los distintos medios, mientras que a los 14 días se evidencia cambios en la planta sembrada en

el lodo residual, el largo de sus hojas supera 2 cm en comparación con las hojas de la planta sembrada en tierra común. Otro cambio significativo luego del trasplante se da entre el día 21 y el día 63 en donde prevalece en crecimiento y apariencia vigorosa de la plántula sembrada en suelo común, en el día 70 considerado a partir del trasplante empieza a secarse las plantas monitoreadas cumpliendo con su ciclo vital.

Se realizó la siembra en dos sustratos debido a que se considera que la planta sembrada en suelo común es una planta de control para observar las variaciones que pueden suscitarse en la plántula sometida al contaminante en este caso plomo disuelto en el lodo residual. La *Tabla 6* exhibe el monitoreo de la plántula *Raphanus raphanistrum* (rábano silvestre) en dos tipos de sustrato lodo residual y suelo común.

Tabla 6
Monitoreo del desarrollo de las plantas

Fecha	Planta sembrada en lodo contaminado con Plomo	Planta sembrada en tierra común
26/01/2018	Trasplante de la plántula	
02/02/2018	No hay variaciones	No hay variaciones
09/02/2018	Sus hojas tienen 2 cm más	Sus hojas tiene 2 cm menos
16/02/2018	En el tallo hay 4 ramificaciones	Del tallo sale 5 ramificaciones
23/02/2018	Hojas poco anchas	Las hojas son más anchas
02/03/2018	No hay variaciones	
09/03/2018	Del tallo salen 5 ramificaciones	Del tallo salen 8 ramificaciones
16/03/2018	Posee menos flores	Posee más flores
23/03/2018	Tiene pocos segmentos verdes en su estructura.	Tiene un color amarillo intenso
30/03/2018	La planta empieza a secarse	
06/04/2018	La planta cumple su ciclo de vida	

En cuanto al monitoreo de la raíz de la plántula *Raphanus raphanistrum* (rábano silvestre) durante el proceso de experimentación se observa que el crecimiento de la misma es de forma vertical sin ninguna ramificación y al final del tratamiento alcanza un tamaño de 11,70 cm.

3.12 Resultados y discusiones.

Se analizó el plomo (Pb) y el potencial de hidrógeno (pH) ya que este último es un parámetro importante que determina la disponibilidad del metal para la plántula en el lodo residual debido a que interviene directamente en los procesos de sorción – desorción que se producen entre el fluido que se encuentra dentro de un poro y la superficie del suelo o lodo. En la *Tabla 6* se muestra el resultado analítico del pH y Pb presentes durante la investigación.

Tabla 7

Análisis de laboratorio del lodo residual antes, durante y después (a nivel de raíz) del tratamiento

No. Muestras	Fecha	Potencial de Hidrógeno pH	Plomo (mg/kg)
1 (P. antes)	26/01/2018	7.49	22.92
2 (P. durante)	09/02/2018	6.38	20.51
3 (P. durante)	23/02/2018	6.34	22.08
4 (P. durante)	09/03/2018	7.09	21.49
5 (P. durante)	23/03/2018	7.54	19.16
6 (P. durante)	06/04/2018	7.13	20.60
7 (P. después)	18/09/2018	6.14	14.63

En la *Tabla 7*, nos indica los parámetros obtenidos de plomo y pH, antes, durante y después del proceso fitorremediador. En el Anexo 3 se puede encontrar los análisis realizados en la unidad piloto durante el proceso de investigación.

3.12.1 Variación del pH del lodo en el ciclo del tratamiento.

Durante el periodo de tratamiento se observa variación en el potencial de hidrógeno debido a que la plántula *Raphanus raphanistrum* (rábano silvestre) consume los nutrientes presentes en el lodo residual y acumula en su estructura vegetal el plomo. En la *Figura 9*. Se muestra la variación del pH durante el ciclo de tratamiento.

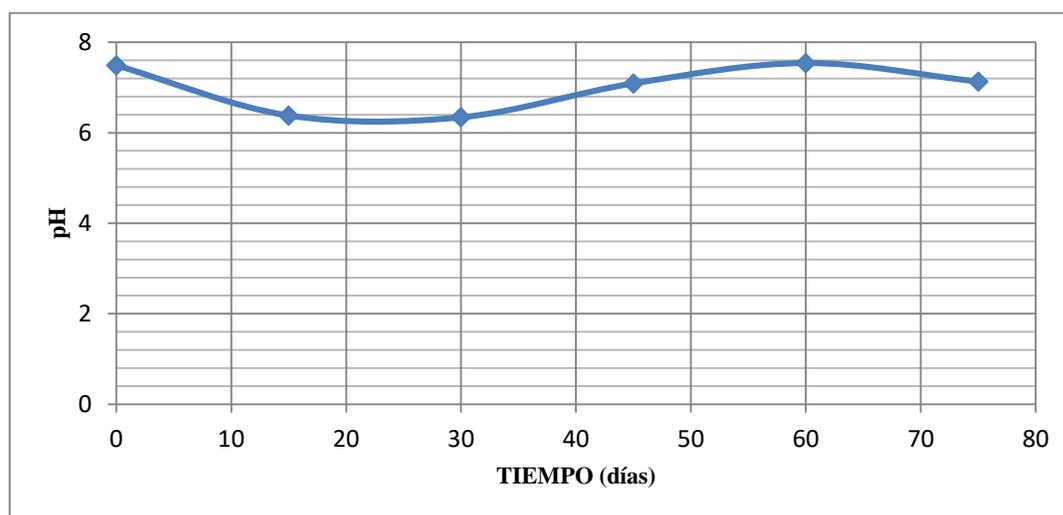


Figura 9. Potencial hidrógeno (pH) en el ciclo del tratamiento

La *Figura 9* es una representación de la variación del pH, es así que en el eje de las Y se encuentra los valores de pH obtenidos durante el experimento, y el eje de las X representa al tiempo en días. Al mes del tratamiento se puede observar que el pH tiende a disminuir debido a que la planta absorbe mayor cantidad de minerales por la necesidad de estabilizarse al ser trasplantada, para luego ir aumentando su pH paulatinamente debido a que la planta requiere menor cantidad de minerales. En el primer día se muestra un pH de 7.49 y al final del tratamiento el lodo residual presenta un pH de 6.14. En cuanto al plomo el resultado inicial es 22.92 mg/kg y el resultado final es de 20.60 mg/kg

3.12.2 Variaciones de las concentraciones de Plomo en el lodo residual en el ciclo del tratamiento

Las concentraciones de plomo durante el ciclo de tratamiento disminuyen al tener contacto con la plántula *Raphanus raphanistrum* (rábano silvestre), alcanzando disminuir la concentración en un porcentaje de 10,12% en cuanto a la concentración inicial como se muestra en la *Figura 10*.

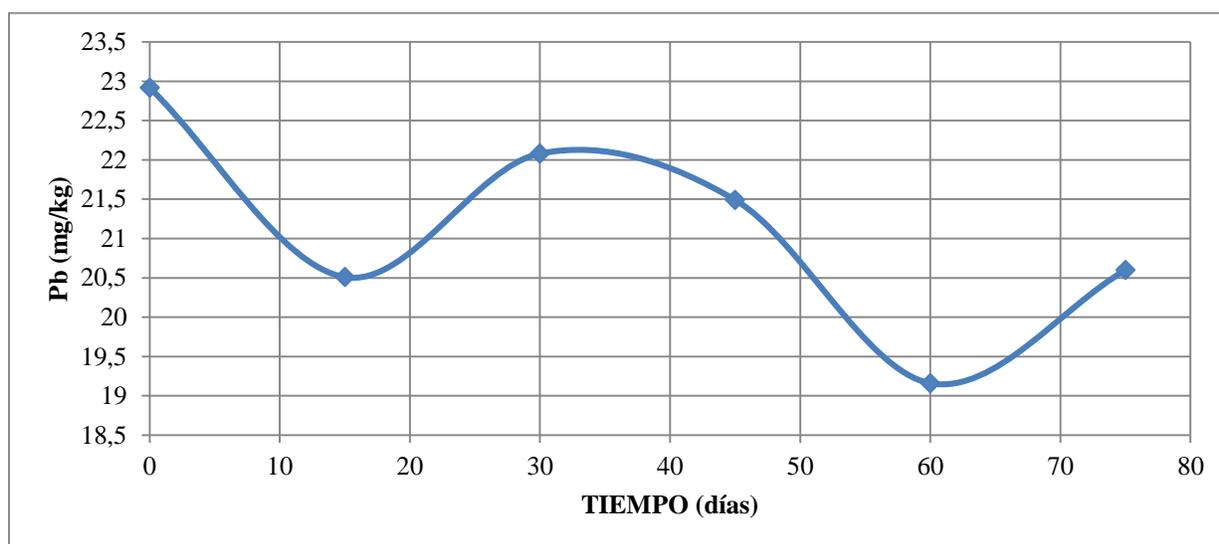


Figura 10. Variación de las concentraciones de Pb en el lodo dentro del ciclo de tratamiento

En la *Figura 10* los valores representados en el eje de las Y corresponde a la concentración de Pb obtenido en los análisis realizados durante el experimento, en tanto que los valores correspondientes al eje de las X representan el tiempo transcurrido y expresado en día, es así que se observar que el tratamiento de fitorremediación con la planta *Raphanus raphanistrum* alcanza su óptima eficiencia a los 60 días de aplicación, presentado variaciones en el proceso de fitorremediación debido a que el plomo es movilizadopor a la adición de agua, acumulándose en algunas zonas de la unidad piloto influyendo en la obtención de resultados al ser tomadas las muestras.

3.13 Eficiencia de remoción del plomo.

El método utilizado para el cálculo de la eficiencia obtenida en términos de cantidad de plomo presente en el lodo residual de la unidad piloto, fue determinando mediante el siguiente fundamento estadístico:

$$E = \frac{S_o - S}{S_o} * 100$$

Donde:

E= eficiencia del proceso %

S= Concentración de contaminante final

So= Concentración de contaminante inicial

La fórmula de eficiencia fue aplicada a cada resultado obtenido en el monitoreo de la plántula mediante análisis de laboratorio de la unidad piloto, considerando el tiempo transcurrido de remediación y la concentración de plomo presente en los distintos tiempos. Los datos obtenidos de eficiencia se muestran en la *Tabla 8*.

Tabla 8

Tiempo de eficiencia de la planta Raphanus raphanistrum

Resultados de laboratorio (Pb) mg/kg	Tiempo transcurrido en (días)	Eficiencia en (%)
2.92	0	0
20.51	15	10.51
22.08	30	3.66
21.49	45	6.23
19.16	60	16.40
20.60	75	10.12

Durante el proceso de fitorremediación se puede identificar variaciones en la eficiencia del tratamiento, las mismas que se encuentran condicionadas en función al tiempo en el que se halla en contacto el contaminante (Pb) y la planta de *Raphanus raphanistrum* conocida como rábano silvestre. En la *Figura 11* se expone la fluctuación de la eficiencia existente en el proceso de fitorremediación.

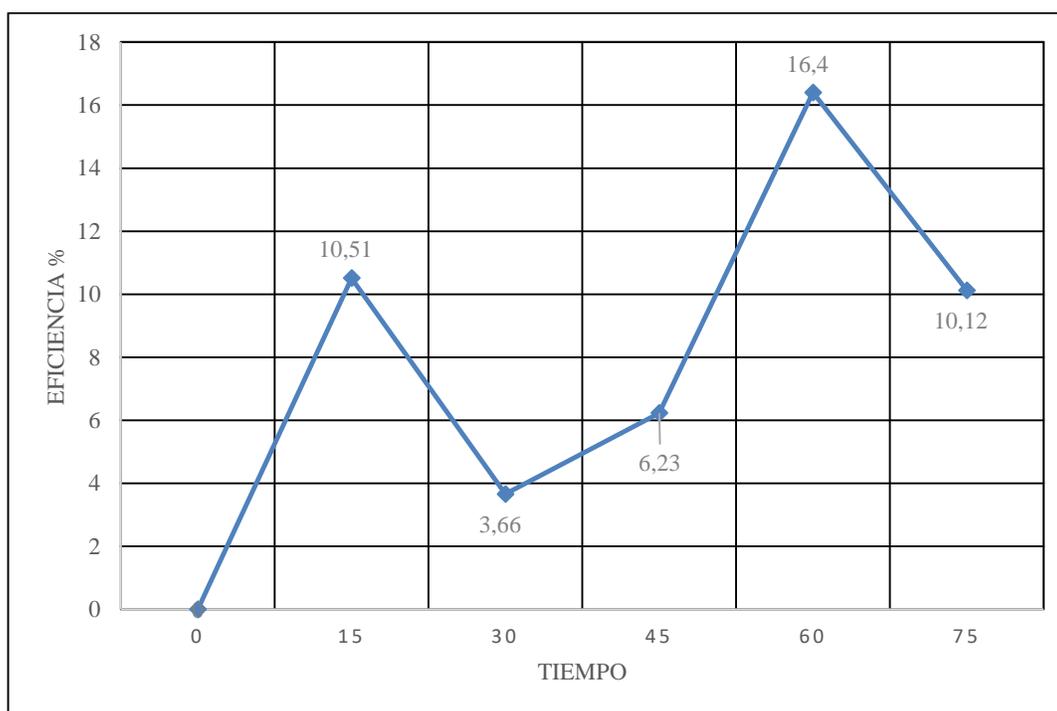


Figura 11. Variación de efectividad de la fitorremediación en función del tiempo

Como se muestra en la *Figura 11*, la eficiencia establecida en el proceso de fitorremediación alcanza su mayor incremento a los 60 días, para luego decaer debido a que la planta alcanza su estado de madurez, ejerciendo menor intensidad que al inicio de su ciclo de vida.

Tabla 9
Análisis estadístico de los resultados de laboratorio

Potencial de Hidrógeno pH	Plomo (mg/kg)	Tiempo en días
6.34	19.16 Mínima	60
7.54	22.92 Máxima	0
7.00	21.13 media	75

En la *Tabla 9* se observa que la concentración máxima de plomo es de 22.92 mg/kg ubicada al inicio del experimento, mientras que la mínima cantidad de plomo obtenido es de 19.16 mg/kg ubicado al final del proceso de fitorremediación en donde la plántula de *Raphanus raphanistrum* alcanzó su vida útil a los 75 días a partir del trasplante y a los 4 meses y 20 días desde su siembra.

3.14 Discusión de resultados obtenidos

El ciclo de vida de la planta *Raphanus raphanistrum* es de 4 meses y 20 días, desde el momento de la siembra de sus semillas hasta su muerte.

Al inicio de la investigación el pH del lodo residual es de 7.49, el mismo que durante el tratamiento de fitorremediación presenta diversas variaciones, alcanzando un valor de final de 7.13.

Las fluctuaciones de plomo presentes en la investigación se deben a que el plomo se encuentra distribuido en el lodo de una forma asimétrica, razón por la cual al realizar el análisis de fecha 28 de septiembre de 2018, en forma vertical y alcanzar la zona que tienen mayor contacto con la raíz, se puede observar que la concentración de este elemento es de 14.63 mg/kg. Estableciéndose que la plántula actúa con mayor eficiencia en la zona radical.

Debido al crecimiento vertical de la raíz de 11,70 cm se concluye que al aplicar la planta en el lecho donde se encuentra el material contaminado (lodo con Pb) se recomienda que la altura del lodo no debe sobrepasar 12,00 cm para que la planta pueda ejercer su proceso fitorremediador.

La distancia de siembra entre planta y planta será de 10 cm debido a que sus hojas iniciales presentan un crecimiento son en forma de roseta y a la capacidad de captación de plomo concentrada en su raíz.

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones.

1. La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de la Parroquia Matriz del cantón Penipe, durante la investigación muestra una eficiencia del 6.95 % en cuanto a la remoción de plomo en el agua cloacal.
2. En la presente unidad piloto de investigación se determina que el tratamiento fitorremediador adecuado consiste en una serie de pasos como: Extraer los lodos, deposito en lechos de secado, desmenuce del lodo residual, recolección del lodo residual para el experimento, siembra de semillas, trasplante y monitoreo.
3. Una vez realizadas las pruebas de laboratorio se determina que la aplicación de la plántula *Raphanus raphanistrum* más conocida como rábano silvestre, en el lodo residual contaminado con plomo presente en la unidad piloto alcanza su óptima eficiencia a los 60 días de tratamiento alcanzando un valor de 19.16 mg/kg de plomo.
4. Con los resultados obtenidos en la unidad piloto, se puede comprobar que la plántula *Raphanus raphanistrum* posee capacidad para acumular plomo en su biomasa alcanzando una eficiencia remediadora de 10.12%.
5. Una vez realizados todos los análisis se concluye que la planta *Raphanus raphanistrum* capta mayor cantidad de plomo en las zonas que se encuentran en contacto con la raíz de la plántula.

4.2. Recomendaciones.

1. Se recomienda al Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del cantón Penipe utilizar el presente proceso de fitorremediación para disminuir la cantidad de plomo presente en sus lodos residuales.
2. Se recomienda realizar un estudio de la capacidad bioacumuladora de la plántula *Raphanus raphanistrum*, con plomo y otros metales pesados, utilizando metodologías de espectrofotometría de absorción atómica.
3. La planta *Raphanus raphanistrum* puede ser utilizada en otras zonas del Ecuador que posean características similares en cuanto a sus componentes ambientales y contenido de contaminantes.
4. Se recomienda dar el tratamiento y disposición final adecuada a la plántula utilizada en el tratamiento de fitorremediación.
5. Debido a que la Dirección de Gestión de Impacto Ambiental del GADM- Penipe no posee un presupuesto para remediación ambiental se recomienda utilizar la plántula *Raphanus raphanistrum* por la disponibilidad de la planta en el sector, la reducción de costos en la adquisición de semillas, el no pertenecer a plantas que sirven como alimento por lo contrario ser una maleza y a la reducción de costo económico que representa la fitorremediación.

BIBLIOGRAFÍA

Abril , L. (2016). *Análisis comparativo de la velocidad de degradación de cromo VI aplicando fitorremediación en medios físicos diferentes: suelo y agua (tesis de pregrado)*. Recuperado el 12 de noviembre de 2017, de Escuela de Ciencias Químicas, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/4892/1/236T0182.pdf>

Ambiente., M. d. (2014). *Norma de calidad ambiental y de descarga de efluentes: recurso agua*. Quito-Ecuador: Anexo 1 del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria del Ministerio del Ambiente: Norma de Calidad Ambiental y de Descarga de Efluentes al Recurso Agua.

Àrea de Botànica, Departament de Biologia, Universitat de les Illes Balears. (24 de Octubre de 2007). *Herbario virtual del Mediterráneo Occidental*. Obtenido de <http://herbarivirtual.uib.es/cat-med/index.html>

Ballesteros, J. (Diciembre de 2011). *Determinación de la eficacia de Azolla Caroliniana como matriz de hiperacumulación de metales pesados cuantificados (tesis pregrado)*. Obtenido de Universidad Politécnica Salesiana. Ingeniería en Biotecnología de los Recursos Naturales: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5046/1/UPS-QT02529.pdf>

Batista, R., & Sánchez, A. (2009). Fitorremediación de Metales Pesados y Microorganismos. *Medio Ambiente y Desarrollo*, 1-6.

Biorrehid. (27 de Julio de 2018). *Fitorremediación*. Recuperado el 10 de septiembre de 2017, de ¿Qué es la Fitorremediación?: <http://www.ecured.cu/Fitorremediaci%c3%B3n>

Borja, M. (2011). *Diseño de una planta de tratamiento para aguas residuales de la ciudad de Guaranda. (tesis de pregrado)*. Obtenido de Escuela Superior Politecnica de Chimborazo. Escuela de Ciencias Químicas: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/1626/1/236T0043.pdf>

Cañizares, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Revista Latinoamericana de Microbiología* , 42:131-143.

CONACYT. (2014). *El plomo y sus efectos en la salud*. México: CONACYT.

COOTAD. (19 de Octubre de 2010). *Código Orgánico de Organización Territorial, Autonomía y Descentralización*. Obtenido de Registro Oficial Suplemento 303 últimas notificaciones 16 de enero del 2015: http://www.oas.org/juridico/pdfs/mesicic4_ecu_org.pdf

Del Pozo Barrezueta, H. E. (2010). *Código Orgánico de Organización Territorial Autonomía Descentralización*. Quito: Ley 0 Registro Oficial Suplemento 303 de 19-oct-2010.

Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., & Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Delgadillo-López, A. E., González-Ramírez, C. A., Prieto-García, F., Villagómez-Ibarra, J. R., & Acevedo-Sandoval, O. (2011). FiTropical and subtropical Agroecosystems, Vol 14(2), 597-612.*

Ecured. (28 de julio de 2018). *Brassicaceae*. Obtenido de Brasicáceas (Brassicaceae) o crucíferas (Cruciferae): <https://www.ecured.cu/Brassicaceae>

Espinal , G., & Rodríguez, A. (2008). Niveles de plomo en sangre y factores de riesgo asociados en niños de 2 a 10 años en el barrio Villa Francisca, Santo Domingo, República Dominicana. *Ciencia y Sociedad*, 596-597. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/870/87012672005.pdf>

Flores. (2014). *Fitorremediación*. Obtenido de <https://www.flores.ninja/fitorremediacion/>

García, M. (2010). *Contaminación del agua*. Obtenido de Contaminación ambiental en Colombia. Bogotá: Fundación e causa por el desarrollo humano: https://www.researchgate.net/profile/Manuel_Rodriguez26/publication/263925744_La_hidrosfera_El_ciclo_del_agua_La_contaminacion_del_agua_Metodos_de_analisis_y_depuracion_El_problema_de_la_escasez_del_agua/links/5486d67c0cf2ef34478c2e1e/La-hidrosfera-El-cic

Guerrero, M., Vázquez, A., & Rodríguez, M. (2018). La zeolita en la descontaminación de aguas residuales. *Universidad Ciencia y Tecnología*.

Hugo del Pozo, B. (2015). *Reforma del Libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Acuerdo No 061*. Quito: Corporación de Estudios y Publicaciones.

INEC . (2010). *Instituto Nacional de Estadística y Censos*. Obtenido de Censo de Población y Vivienda: <http://www.ecuadorencifras.gob.ec/centso-de-poblacion-y-vivienda/>

Lima , L., Olivares, S., Columbie, I., de la Rosa, D., & Gil, R. (2005). Niveles de plomo, zinc, cadmio y cobre en el Río Almendares, Ciudad Habana, Cuba. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 21(3), 115-124. Obtenido de <http://www.redalyc.org/html/370/37021302/>

Lombeida, L. V. (febrero de 2017). *Diseño de una planta de tratamiento de aguas residuales para una empresa de curtiembre (tesis de pregrado)*. Obtenido de Universidad Central del Ecuador Facultad de Ciencias Químicas Carrera de Química: <http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/9724/1/T-UCE-0008-Q001-2017.pdf>

Londoño, L., Londoño, P., & Muñoz, F. (2016). Los Riesgos de los Metales Pesados en la Salud Humana y Animal. *Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial*, Vol. 14(2), 145-153.

doi:10.18684/BSAA(14)145-153

Lorca., R. (2014). *Fitoextracción, ¿qué es realmente?* Obtenido de <http://liferiverphy.eu/web/fitoextraccion-que-es-realmente/>

Marrero Coto, J. A. (2012). Fitorremediación, una tecnología que involucra a plantas y microorganismos en el saneamiento ambiental. *Redalyc.org*, 55.

Marrero, J., Amores , I., & Coto, O. (2012). Fitorremediación una tecnología que involucra a plantas y microrganismos en el saneamiento ambiental. *ICIDCA*, <http://www.redalyc.org/comocitar.oa?id=223124988007>.

Martín, M. (Junio de 2008). *Caracterización y aplicación de biomasa residual a la eliminación de metales pesados (tesis doctoral)*. Obtenido de Departamento de Ingeniería Química. Facultad de Ciencias. Universidad de Granada:

<http://digibug.ugr.es/bitstream/handle/10481/1906/17514629.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Monsalve, C. (2003). *Taxonomía y distribución de la familia brassicaceae en la provincia de Huaylas, Ancash (tesis de pregrado)*. Obtenido de Facultad de Ciencias Biológicas. Unoiversidad Nacional Mayor de San Marcos :

http://cybertesis.unmsm.edu.pe/bitstream/handle/cybertesis/807/monsalve_lc.pdf;jsessionid=BDF9F70551C5B1B60CE9E1570765AC97?sequence=1

Núñez, R., Meas, Y., Ortega, R., & Olguín, E. (Julio - septiembre de 2004). Fitorremediación: fundamentos y aplicaciones. *Ciencia*, 69-82. Obtenido de http://www.revistaciencia.amc.edu.mx/images/revista/55_3/Fitorremediacion.pdf

Ochoa, M., Rivera, M., de Díaz, I., & Hesse, H. (1998). Efectos de la Intoxicación por Plomo en Niños Escolares. *Revista médica Ondureña*, 66(4), 134-181.

OMS. (2018). *Intoxicación por plomo y salud*. Ginebra - Suiza.: OMS.

Ordóñez, V. (2007). Contaminación del agua. *Ingenius (1)*.

Oropeza, N. (2006). Lodos residuales: estabilización y manejo. *Caos Conciencia*.

Pandolfo, C. (2016). *Caracterización Agroecológica de poblaciones (tesis doctoral)*. Obtenido de Universidad Nacional del Sur: <http://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/123456789/2592/1/Tesis%20doctoral%20Pandolfo.pdf>

Pérez, M. (Abril de 2018). *Evaluación de la biorremediación en suelos contaminados con hidrocarburos utilizando Pseudomonas fluorescens*. Obtenido de Universidad Pontificia Saliciana: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15446/1/UPS-QT12601.pdf>

Peris, M. (2006). *Estudio de metales pesados en suelos bajo cultivos hortícolas de la provincia de Castellón (Tesis doctoral)*. (U. d. València, Editor) Obtenido de Departamento de CIDE: <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/9504/peris.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Pernía, B., Mariuxi, M., Xavier, C., Nelson, R., Lissette, R., Kenya, B., . . . Josué, Z. (2018). Determinación de cadmio y plomo en agua, sedimento y organismos bioindicadores en el Estero Salado, Ecuador. *Enfoque UTE*.

Prieto, J., Gonzalez, C., Román, A., & Prieto, F. (2009). contaminación y fitotoxicidad en plantas por metales pesados provenientes de suelos y agua. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 10(1), 29-44.

Proal, B., Martínez, L., & Mueller, M. (1998). Estudio sobre la remoción de metales pesados en aguas de desecho bajo la técnica de aglomeración esférica. *Ciencia y Mar*, 30-38.

Quijia, F. (2015). *Diseño del sistema de alcantarillado sanitario y tratamiento de aguas residuales de Veracruz, cantón Pastaza, provincia de Pastaza (tesis de pregrado)*. Obtenido de Facultad de Ingeniería civil y ambiental. Escuela Politécnica Nacional : file:///C:/Users/Anita/Downloads/CD-6976.pdf

Raisma, J., & González, A. (2013). *Hipertextos del Área de la Biología*. (U. N. Nordeste., Editor) Obtenido de Brassicaceae (Cruciferae): <http://www.biologia.edu.ar/diversidadv/fascIII/27.%20Brassicaceae.pdf>

Ramos, J. (2002). Estudio de la contaminación por metales pesados y otros procesos de degradación química en los suelos de invernaderos del poniente almeriense. *Universidad Almería*, Vol (133). Obtenido de Universidad Almería.

Registro Oficial, 4. (2008). *Constitución de la República del Ecuador*. Quito- Ecuador: Lexis.

Reynolds, K. (2002). Tratamiento de aguas residuales en Latinoamérica. *Agua Latinoamérica*, 3.

Rivas, M. (05 de enero de 2017). *Salud y medicinas*. Obtenido de Intoxicación por plomo, más que sangre pesada: <https://www.saludymedicinas.com.mx/centros-de-salud/salud-mental/articulos-relacionados/intoxicacion-por-plomo-mas-que-sangre-pesada.html>

Rivilla, H. M. (19 de mayo de 2015). *MasScience*. Obtenido de El potencial de la fitorremediación como tecnología medioambiental: <https://www.masscience.com/2015/05/19/el-potencial-de-la-fitorremediacion-como-tecnologia-medioambiental/>

Rojas , R., & Mendoza, L. (2013). Utilización de biosólidos para la recuperación energética en México. *Producción + Limpa*.

Rojas, S., & Vibrans, H. (2004). *Catálogo de Malezas de México: Familia Brassicaceae (cruciferae)*. Obtenido de

https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/260224/Catalogo_de_Brassicaceas.pdf

Rollins, R. (1993). *The Cruciferae of continental North America*. Stanford University Press.

Rosales , N. (febrero de 2004). *Respuesta del rábano (Raphanus Sativus L.) a densidades de siembra y aplicación de sustancias fúlvicas (k-tionic) y húmicas (humiplex std)*. Obtenido de Universidad Autónoma Agraria "Antonio Narro":

<http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/4503/58264s.pdf?sequence=1>

Silva, L. (2010). *Aplicación de Técnicas de la Biotecnología (fitorremediación) en la recuperación de los suelos para pasturas por medio de plantas extractoras de metales pesados*. Obtenido de <http://javasil751.blogspot.com/>

Ticono, R., & Espinoza, J. (2018). Tratamiento de aguas residuales mediante un sistema anaerobio para comunidades rurales. *In Conference Proceedings*.

Ubillus, J. (2003). *Estudio sobre la presencia del plomo en el medio ambiente de Talara en el año 2003 (tesis de pregrado)*. Recuperado el 12 de febrero de 2018, de Facultad de Química e Ingeniería

Química, Universidad Nacional Mayor de San Marcos :
http://sisbib.unmsm.edu.pe/bibvirtualdata/Tesis/Ingenie/ubillus_lj/cap2.pdf.

Valdés, F., & Cabrera, V. (1999). *La contaminación por metales pesados en Torreón, Coahuila, México*. Texas. Center for Policy Studies.

Valdivia , M. (2005). Intoxicación por plomo. *Rev. Soc. Per. Med. Inter*, 22-27.

Vargas, C., Sánchez, G., & Jiménez, P. (2013). *La Producción de Metabolitos Secundarios en la Familia Brassicaceae*. Obtenido de Universidad Militar Nueva Granada:
<https://revistas.unimilitar.edu.co/index.php/rfcb/article/viewFile/388/167>

Vibrans, H. (16 de julio de 2009). *Malezas de México*. Obtenido de Ficha-Raphanus raphanistrum.:
<http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/brassicaceae/raphanus-raphanistrum/fichas/ficha.htm>

Vives , A., Zulaica, M., & Vives, H. (2006). *Impactos Ambientales de los Metales Pesados en Sitios de Juegos Infantiles*. Avellaneda: Editorial de la Universidad tecnológica Nacional (UTN).

Volke, T., & Velasco, J. (2002). *Tecnologías de Remediación para suelos contaminados*. Capítulo Mexicano de la Red Latinoamericana de Prevención y gestión de Sitios Contaminados ReLASC.