# Pontificia Universidad Católica del Ecuador

# Sede Ibarra

**ESCUELA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS Y AMBIENTALES**

**INFORME FINAL DEL PROYECTO**

**TEMA**:

PROPUESTA DE MANEJO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA CIUDAD DE IBARRA

**PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE**

INGENIERO AMBIENTAL

**LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN:**

GESTIÓN SOSTENIBLE Y APROVECHAMIENTO DE LOS RECURSOS NATURALES

**SUBLINEA:** AMBIENTE Y BIODIVERSIDAD

**AUTOR:**

ALONDRA ESTEFANÍA MÉNDEZ ZAMBRANO

**ASESOR:**

PhD. RUBÉN DEL TORO DENIZ

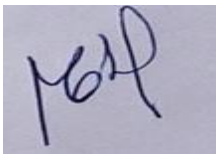
Ibarra, febrero de 2024

Ibarra, febrero de 2024

PhD. RUBÉN DEL TORO DENIZ

**CERTIFICA:**

Haber revisado el presente informe final de investigación, el mismo que se ajusta a las normas vigente en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales (ECAA), de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI); en consecuencia, autorizo su presentación para los fines legales pertinentes.

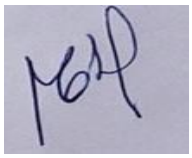
(f) 

PhD. RUBÉN DEL TORO DENIZ

C.C.: 175754447-1

## PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL

El jurado examinador, aprueba el presente informe de investigación en nombre de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra (PUCESI):

(f) 

PhD. Rubén Del Toro Deniz

C.C.: 175754447-1

(f)

Mgs. Diego Leopoldo Mejía Romo

C.C.: 1001912961

(f)

Mgs. Santiago Xavier Mafla Andrade

C.C.: 1002658399

**ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS**

Yo ALONDRA ESTEFANÍA MÉNDEZ ZAMBRANO, declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 165 de Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, que manifiesta textualmente: "Se reconoce facultad de los autores y demás titulares de derecho de disponer de sus derechos o autorizar de sus obras o prestaciones, a título gratuito u oneroso, según las condiciones que determinen. Esta facultad podrá ejercerse mediante licencias libres, abiertas y otros modelos alternativos de licenciamiento o la renuncia".

Ibarra, febrero del 2024

f): 

ALONDRA ESTEFANÍA MÉNDEZ ZAMBRANO

C.C.: 1724433931

## AUTORÍA

Yo, ALONDRA ESTEFANÍA MÉNDEZ ZAMBRANO, portador de la cédula de ciudadanía N° 1724433931, declaro que la presente investigación es de total responsabilidad del autor, y eximo expresamente a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra de posibles reclamos o accione legales.

f): 

ALONDRA ESTEFANÍA MÉNDEZ ZAMBRANO

C.C.: 1724433931

## DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN

Yo, ALONDRA ESTEFANÍA MÉNDEZ ZAMBRANO, con C.C.: 1724433931, autor del trabajo de grado intitulado: PROPUESTA DE MANEJO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA CIUDAD DE IBARRA, previo a la obtención del título profesional de Ingeniería Ambiental, en la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales.

1.- Declaro tener pleno conocimiento de la obligación que tiene la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, de conformidad con el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior de entregar a la SENESCYT en formato digital una copia del referido trabajo de graduación para que sea integrado al Sistema Nacional de Información de la Educación Superior del Ecuador para su difusión pública respetando los derechos de autor.

2.- Autorizo a la Pontifica Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra a difundir a través de sitio web de la Biblioteca de la PUCESI el referido trabajo de graduación, respetando las políticas de propiedad intelectual de Universidad.

Ibarra, febrero del 2024

f): 

ALONDRA ESTEFANÍA MÉNDEZ ZAMBRANO

C.C.: 1724433931

**DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, DESARROLLO Y EVALUACIÓN DE TRABAJO DE TITULACIÓN**

Por medio de la presente declaro conocer y aplicar en la elaboración, desarrollo y evaluación de Proyecto de Titulación: PROPUESTA DE MANEJO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA CIUDAD DE IBARRA, lo propuesto en el Código de Ética de la investigación y el aprendizaje de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, aprobado por el Consejo Superior de la PUCE con fecha 13 de febrero de 2023

Para constancia firma:

f): 

Alondra Estefanía Méndez Zambrano
C.C/ Pasaporte: 1724433931
Carrera: Ingeniería Ambiental

Ibarra, febrero del 2024

## DEDICATORIA

El presente trabajo dedico principalmente a Dios, por haberme permitido llegar a esta etapa de vida profesional, dándome bendiciones y sabiduría, quien ha sido fuente de fortaleza y guía en cada momento.

A mi querida madre quien, con su amor, esfuerzo y paciencia me ha permitido cumplir un sueño más, por su confianza y apoyo incondicional, por ser fuente de inspiración y lucha. Dedico esta tesis con profunda gratitud.

A la memoria de mi amado padre, que siempre confió en mí. A pesar de su ausencia física, siento la presencia y su amor sigue presente en mi vida.

A mis hermanos, que son mi motor, motivación y mayor fuente de inspiración para seguir adelante.

Alondra Estefanía Méndez Zambrano

## AGRADECIMIENTO

Agradezco principalmente a Dios por darme sabiduría necesaria para culminar este trabajo.

A mis padres Luis Méndez y Maritza Zambrano, por enseñarme que a pesar de las adversidades los sueños con constancia y dedicación se cumplen. Han sido mis mejores guías de vida y el motor necesario para cumplir mis sueños.

A mis hermanos por la paciencia y comprensión en este proceso de investigación.

A mi familia por sus oraciones, apoyo incondicional, palabras de aliento y motivación. A mis amigos que aportaron a mi vida experiencias gratificantes.

Mi profundo agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, por permitirme cumplir mis sueños y vivir experiencias maravillosas. A los docentes por impartir su conocimiento y sabiduría mi respeto y admiración. En especial, agradezco a mi tutor PhD. Rubén del Toro por su apoyo constante durante este proceso, quien tuvo paciencia y herramientas necesarias para culminar con el proyecto.

A la planta de tratamiento de la ciudad de Ibarra, en especial, Ing. Milton Giovani Rivadeneira por abrirme las puertas de las instalaciones. Al director de Laboratorios de la Escuela de Ciencias Biológicas PUCE, el Dr. Bolívar Salas. Al Centro de Estudios aplicados en química de la PUCE Sede Quito (CESAQ).

Alondra Estefanía Méndez Zambrano

# ÍNDICE

CERTIFICA:.....ii
PÁGINA DE APROBACIÓN DEL TRIBUNAL .....iii
ACTA DE CESIÓN DE DERECHOS.....iv
AUTORÍA .....v
DECLARACIÓN Y AUTORIZACIÓN .....vi
DECLARACIÓN DE COMPORTAMIENTO ÉTICO EN LA ELABORACIÓN, .....vii
DEDICATORIA .....viii
AGRADECIMIENTO .....ix
RESUMEN .....1
ABSTRACT .....2
CAPÍTULO I .....3
INTRODUCCIÓN.....3
CAPÍTULO II.....5
OBJETIVOS.....5
2.1. Objetivo general .....5
2.2. Objetivos específicos.....5
2.3. Pregunta directriz.....5
CAPÍTULO III .....6
ESTADO DEL ARTE .....6
3.1. Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR) .....6
3.1.1. Pretratamiento.....6
3.1.2. Tratamiento primario .....10
3.1.3. Tratamiento biológico.....11
3.1.4. Tratamiento secundario.....12
3.2. Lodos residuales .....13

3.2.1. Composición y clasificación de lodos ..... 13
3.3. Caracterización físico-química de lodos residuales ..... 16
3.4. Parámetros microbiológicos ..... 17
3.5. Parámetros toxicológicos ..... 18
3.6. Espectrofotometría de absorción atómica ..... 19
3.7. Aplicaciones de biosólidos ..... 19
3.7.1. Lodos residuales como fertilizantes ..... 19
3.7.2. Acción sobre el suelo ..... 20
3.8. Marco Legal ..... 20
3.8.1. Norma ambiental para lodos residuales ..... 21
3.8.2. Normativa para la eliminación de lodos residuales US-EPA 40 ..... 22
CAPÍTULO IV ..... 23
MATERIALES Y MÉTODOS ..... 23
4.1. Materiales, equipos y reactivos ..... 23
4.1.1. Fase de campo ..... 23
4.1.1.1. Materiales de campo ..... 23
4.1.1.2. Métodos en campo ..... 23
4.1.1.2.1. Caracterización de lodos residuales ..... 23
4.1.1.3. Localización geográfica ..... 24
4.1.2. Fase experimental ..... 25
4.1.2.1. Materiales de laboratorio ..... 25
4.1.2.1.1. Equipos ..... 25
4.1.2.1.2. Reactivos ..... 25
4.1.2.2. Métodos Experimentales ..... 26
4.1.2.2.1. Análisis fisicoquímicos ..... 26
Determinación de concentraciones de metales ..... 28
4.1.2.2.2. Análisis microbiológico ..... 29

4.1.2.2.3. Análisis toxicológico ..... 29
4.1.2.2.4. Localización geográfica experimental ..... 30
4.1.2.3. Alternativa de manejo de lodos residuales ..... 31
CAPÍTULO V ..... 32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN ..... 32
5.1. Resultados ..... 32
5.1.1. Fase de campo ..... 32
5.1.1.1. Siembra de girasoles ..... 32
5.2. Resultados Fase de laboratorio ..... 35
5.2.1. Lodo residual base seca ..... 35
5.3. Resultados Lodo residual y tierra ..... 37
5.3.1. Análisis físico químicos ..... 37
5.3.2. Nutrientes ..... 38
5.3.3. Metales pesados ..... 39
5.3.4. Análisis microbiológicos ..... 40
5.3.5. Análisis toxicológicos ..... 41
5.4. Propuesta manejo de lodos residuales ..... 44
5.4.1. Selección del tratamiento ..... 44
5.4.2. Factibilidad técnica ..... 45
5.4.3. Análisis de mercurio, plomo y cadmio ..... 46
5.4.4. Recomendaciones para el plan de manejo de lodos residuales ..... 48
DISCUSIÓN ..... 49
CAPÍTULO VI ..... 52
CONCLUSIONES ..... 52
CAPÍTULO VII ..... 53
RECOMENDACIONES ..... 53
CAPÍTULO VIII ..... 54

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS ..... 54
ANEXOS ..... 61

# ÍNDICE DE TABLAS

**Tabla 1** Composición de lodos residuales ..... 14

**Tabla 2** Clasificación según contenido microbiológico ..... 15

**Tabla 3** Aprovechamiento de residuos solidos ..... 15

**Tabla 4** Parámetros fisico-quimicos ..... 16

**Tabla 5** Microoganismos en lodos residuales ..... 17

**Tabla 6** Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos ..... 21

**Tabla 7** Límites máximo-permisibles en lodos destinados a la utilización agraria ..... 22

**Tabla 8** Limite máximos permisibles en lodos residuales ..... 22

**Tabla 9** Parámetros analitos de metales por absorción atómica ..... 28

**Tabla 10** Diseño experimental ..... 31

**Tabla 11** Observaciones del experimento ..... 32

**Tabla 12** Resultados de los análisis de lodo base seca ..... 36

**Tabla 13** Resultados de análisis fisicoquímico ..... 37

**Tabla 14.** Análisis de nutrientes ..... 38

**Tabla 15.** Resultados de metales pesados ..... 39

**Tabla 16.** Resultados microbiológicos ..... 40

**Tabla 17.** Criterios para el manejo del plan de residuos solidos ..... 45

**Tabla 18.** Análisis metales pesados mercurio, cadmio y plomo ..... 47

## ÍNDICE DE FIGURAS

**Figura 1** Pozo de gruesos ..... 7

**Figura 2** Desarenador ..... 8

**Figura 3** Desengrasador ..... 9

**Figura 4** Sedimentadores ..... 10

**Figura 5** Sedimentador primario ..... 11

**Figura 6** Esquema del proceso de tratamiento ..... 12

**Figura 7** Localización PTAR Ibarra ..... 24

**Figura 8** Localización Fase Experimental ..... 30

**Figura 9.** Análisis toxicológicos T0 ..... 41

**Figura 10.** Análisis toxicológicos T1 ..... 42

**Figura 11.** Análisis toxicológicos T2 ..... 43

**Figura 12.** Análisis toxicológicos T3 ..... 44

## ÍNDICE DE ANEXOS

**Anexos A.** Fase de campo ..... 61
**Anexos B.** Fase de Laboratorio ..... 62
**Anexos C.** Certificado de Cumplimiento PTAR ..... 63

## RESUMEN

El objetivo de la investigación fue elaborar una propuesta de manejo de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de la ciudad de Ibarra, evaluando sus características físico-químicas, microbiológicas y toxicológicas. Se evaluó 3 diferentes tratamientos de mezcla de lodo residual 5, 10 y 15% y tierra para su posible uso en la siembra de girasoles. Todos los tratamientos mantuvieron un pH aceptable, con características ligeramente ácidas. La conductividad eléctrica aumentó progresivamente de 331 a 742 µS /cm, siendo el T3 que mostró la conductividad más alta, indicando un suelo alcalino. Respecto a la materia orgánica, el T3 exhibió la concentración más alta con 10,47%. En cuanto a nutrientes, el T3 destacó con concentraciones superiores de amoníaco, fósforo y potasio, sugiriendo potenciales beneficios para el crecimiento vegetal. El análisis de metales pesados reveló que el T1 presentó la menor concentración de plomo, mientras que T0 y T2 emergieron como los más efectivos al mostrar las concentraciones más bajas para los demás metales pesados en un rango de 7,78-8,32 µg/kg. En el estudio microbiológico, el T2, que incluyó un 10% de lodo, tuvo menor cantidad de presencia de *E. coli*, coliformes totales se mantuvieron controlados en todos los tratamientos evaluados. Además, el análisis toxicológico reveló una ligera disminución en las fases de la mitosis celular en presencia de lodos residuales, lo que podría considerarse para su uso en la siembra de girasol, siempre y cuando se implementen medidas adecuadas de manejo y considerando las concentraciones específicas obtenidas en cada tratamiento.



**Palabras clave:** Lodos residuales, tratamiento, siembra, nutrientes, metales pesados.

## ABSTRACT

The objective of the research was to develop a proposal for the management of residual sludge generated in the wastewater treatment plant of the city of Ibarra, evaluating its physicochemical, microbiological, and toxicological characteristics. Three different treatments of residual sludge mixing 5, 10, and 15% with soil were evaluated for possible use in sunflower planting. All treatments maintained an acceptable pH, with slightly acidic characteristics. Electrical conductivity increased progressively from 331 to 742 µS/cm, with T3 showing the highest conductivity, indicating alkaline soil. Regarding organic matter, T3 exhibited the highest concentration at 10.47%. In terms of nutrients, T3 stood out with higher concentrations of ammonia, phosphorus, and potassium, suggesting potential benefits for plant growth. Heavy metal analysis revealed that T1 had the lowest lead concentration, while T0 and T2 emerged as the most effective in showing the lowest concentrations for other heavy metals in a range of 7.78-8.32 µg/kg. In the microbiological study, T2, which included 10% sludge, had a lower presence of E. coli, with total coliforms remaining controlled in all treatments evaluated. Additionally, the toxicological analysis revealed a slight decrease in the phases of cell mitosis in the presence of residual sludge, which could be considered for use in sunflower planting, provided that appropriate management measures are implemented and considering the specific concentrations obtained in each treatment.



**Keywords:** Sewage sludge, treatment, cultivation, nutrients, heavy metals.

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El aumento de la población global demanda el consumo del recurso hídrico, el cual, por sus diferentes usos en actividades industriales, agrícolas o domésticas, han provocado una mayor contaminación. Se han planteado varias alternativas para mitigar, una de ellas son las plantas de tratamiento que generan desechos como los lodos, con su alto contenido de materia orgánica, pueden utilizarse como una alternativa a los fertilizantes mediante el tratamiento y la purificación hasta límites aceptables o permisibles para disminuir el uso de fertilizantes sintéticos que utilizan los sistemas de producción agrícola que son es el desafío más significativo en la producción de alimentos saludables y de alta calidad a nivel mundial, el valor que tienen estos fertilizantes es alto por la cual aumenta el precio de los alimentos, de igual manera su uso colabora en la salinización del suelo. Los lodos residuales pueden constituirse en una alternativa de solución para este sector productivo luego de superar por medio de procesos, la eliminación o reducción del grado de la presencia de metales pesados de los lodos residuales (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura, [UNESCO], 2019)

La gestión de tratar los lodos es actualmente uno de los desafíos más complicados y preocupantes en el tratamiento de aguas residuales, debido a que a medida que va aumentado considerablemente los volúmenes de lodos residuales, se encuentran procedimientos viables de manipulación y disposición final que se vuelven cada vez más complejos debido a los costos del proceso asociados con el transporte y el almacenamiento, representar un peligro para la salud humana y problemas ambientales si no se tratan adecuadamente los lodos obtenidos de la descontaminación de las aguas residuales de las ciudades (Montes & Menéndez, 2010).

Según Gualoto (2017) la falta de concientización ambiental por parte de las instituciones del estado como municipios e industrias es predominante, no le dan suficiente atención a los efectos negativos del uso de lodos contaminados sin realizar análisis fisicoquímicos, microbiológicos, los cuales informan sobre la calidad y que certifiquen su uso dentro de los rangos permisibles. Una porción considerable de los lodos residuales producidos en las instalaciones de tratamiento se vierte en el sistema de drenaje o se eliminan sin recibir ningún tratamiento previo, generando problemas de contaminación ambiental, riesgos a la salud, por otro lado, no son aprovechadas las propiedades benéficas que presentan. El principal problema

para llevar a cabo el tratamiento de los lodos es la falta de recursos financieros de igual manera la falta de conocimiento a la normativa que permite para su reutilización benéfica, que favorezca a un sector productivo.

Todos los procesos de manejo de lodos antes y después que permitan su uso a bajo costo, especialmente en la disposición final, deben ser evaluados mediante pruebas de campo durante el proceso de manejo de lodos residuales para minimizar los volúmenes de disposición final (Aldana & Pérez, 2017).

Durante el proceso de tratamiento y producción de lodos, se encuentran diversas composiciones que varían según la naturaleza de la carga contaminante y las características físicas, químicas, microbiológicas y toxicológicas. Es esencial comprender estas variables para determinar si los lodos pueden ser reutilizados o deben ser clasificados como desechos peligrosos (Caballero, 2022).

El objetivo de esta investigación, se centra en la elaboración de una propuesta de manejo de lodos residuales generados en la planta de tratamiento, conforme a las normativas ambientales, con el propósito de aprovecharlos como subproducto. Para lograr este objetivo, se plantean objetivos específicos que abordan la evaluación exhaustiva de las características físico-químicas, microbiológicas y toxicológicas de los lodos residuales mezclados con tierra procedentes de la planta de tratamiento en la ciudad de Ibarra. Este análisis integral permitirá comprender la composición y calidad de los lodos, fundamentales para proponer una alternativa efectiva de manejo que considere su posible uso o disposición final.

# CAPÍTULO II

# OBJETIVOS

## 2.1. Objetivo general

Elaborar una propuesta de manejo de lodos residuales generados en la planta de tratamiento según normativas ambientales para su uso como subproducto.

## 2.2. Objetivos específicos

- Evaluar las características físico-químicas, microbiológicas y toxicológicas de los lodos residuales generados en la planta de tratamiento de la ciudad de Ibarra.
- Proponer una alternativa de manejo de los lodos residuales para un posible uso o disposición final.

## 2.3. Pregunta directriz

¿Se podrá establecer un posible uso de los lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales, mediante la caracterización físico-química, microbiológica y toxicológica?

# CAPÍTULO III

# ESTADO DEL ARTE

## 3.1. Plantas de tratamiento de agua residual (PTAR)

Las aguas residuales, conocidas como aguas servidas o aguas negras, se originan de las actividades humanas y contienen una diversidad de sustancias contaminantes ( Pérez & Mejía, 2021). Estas aguas tienen su origen en viviendas, industrias y otros establecimientos, y su contaminación abarca materia orgánica, compuestos químicos, microorganismos perjudiciales, nutrientes y metales pesados (Ortiz, 2021).

A nivel global, las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) se construyen con el propósito de cumplir con los estándares establecidos en la normativa ambiental. Por lo tanto, la configuración de los sistemas de tratamiento se basa en su capacidad para eliminar de manera efectiva los contaminantes (Cristancho et al., 2019). Es importante Es importante señalar que los procedimientos de tratamiento de aguas residuales actuales pueden producir emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), dado que las fases de eliminación y descomposición de la materia orgánica en el agua tratada generan un impacto ambiental (Aguilar-Benitez & Blanco, 2018). El proceso de tratamiento de aguas residuales requiere una serie de pasos graduales, que se detallan a continuación.

### 3.1.1. Pretratamiento

El tratamiento preliminar de la PTAR de Ibarra se lleva a cabo en un único edificio, que consta de varios pasos González et al. (2017) miembros de departamento de construcción de ACCIONA describe de la siguiente manera cada uno de ellos:

- **Medida del caudal afluente**

En primer lugar, las aguas residuales se recogen en una arqueta en la Avenida Carchi y se transportan por un conducto de PVC DN-1000, cubriendo 250 metros hasta la PTAR, al llegar, se mide el flujo de agua cruda mediante un medidor electromagnético colocado en el conducto de entrada, que registra la cantidad de caudal que ingresa a la planta.

- **Estructura de entrada y *by-pass* general**

El conducto que lleva el agua cruda desemboca en el pozo de gruesos para permitir que el flujo se tranquilice antes de someterse al tratamiento. En este pozo, hay un vertedero aliviadero que funciona como un desvío principal de la planta. Este conducto de desvío puede manejar el flujo máximo de agua cruda en situaciones de emergencia.

- **Pozo de gruesos**

Cuenta un pozo de gruesos con una capacidad de 113,03 $m^3$ para retener desechos voluminosos (Figura 1). Diseñado para el caudal máximo de entrada, presenta una forma tronco piramidal invertida que concentraba los desechos en la parte inferior. Cuenta con una cuchara bivalva de 100 litros para la extracción de desechos, protegida por perfiles metálicos en el concreto. Además, posee contenedor de 1.100 litros para almacenar los desechos y tiene un polipasto eléctrico de 4.000 kg para su manejo y transferencia al contenedor.

**Figura 1**

*Pozo de gruesos*



*Nota*. Se observa las máquinas de pozo de gruesos que son parte del proceso para retener productos voluminosos. Tomado de *EDAR de Ibarra* (p. 53), por González et al. 2017, FuturEnviro.

- **Desarenada-desengrase**

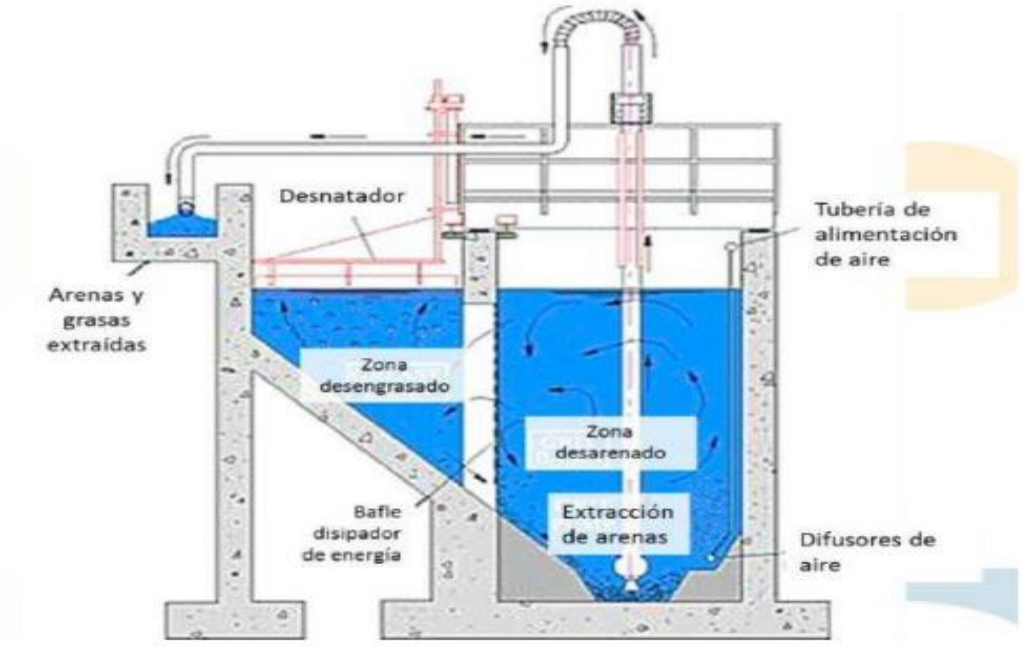
Estructura combinada para el proceso de desarenado y desengrase. Esta obra tiene la capacidad de retener tanto la arena como los aceites, grasas y pequeños materiales flotantes. Se han establecido criterios flexibles para simplificar el funcionamiento y el mantenimiento en otras partes de la planta, permitiendo la eliminación eficiente de grandes cantidades de grasas que pueden estar presentes.

- **Eliminación de arenas y depósitos**

Tiene una estructura combinada para el proceso de desarenado y desengrase (Figura 2). Esta obra tiene la capacidad de retener tanto la arena como los aceites, grasas y pequeños materiales flotantes. Se han establecido criterios flexibles para simplificar el mantenimiento y la operación en otras partes de la planta, permitiendo la eliminación eficiente de grandes cantidades de grasas que pueden estar presentes.

**Figura 2**

*Desarenador*




*Nota*. Se observa el desarenador donde pasa por una zona de desengrasado, desarenado y extracción de arenas. Tomada de *Planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra* (p.11) por EMAPA, 2017

- **Eliminación de grasas y aceites**

Se emplea un sistema de distribución de aire para emulsionar las grasas, utilizando difusores para insuflar aire. La aireación se realiza mediante una combinación de burbuja fina con soplantes y difusores, instalados en dos desarenadores con 200 difusores cada uno. El aire generado por los soplantes crea una circulación que facilita la separación de las materias orgánicas unidas a las partículas de arena, evitando la acumulación excesiva de arena gruesa al principio del proceso (Figura 3).

Las grasas y materiales flotantes son removidos por rasquetas y llevados a un canal de recepción, desde donde son transferidos a una arqueta conectada a los desarenadores y luego dirigidos hacia un concentrador de grasas. El retorno de las rasquetas se realiza con un contrapeso correspondiente.

Posteriormente, los flotantes y grasas espesadas en el concentrador son descargados en un contenedor de residuos luego de un proceso con rasquetas superficiales.

**Figura 3**

*Desengrasador*



*Nota*. Se observa el desengrasador donde se eliminan impurezas. Tomada de *Planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra* (p.11) por EMAPA, 2017

- **Alivio y *by pass,* medidor de caudal a tratamiento primario**

Después de los desarenadores, se coloca un medidor de caudal electromagnético para registrar el flujo dirigido al tratamiento primario. Para regular el flujo que no se envía al tratamiento primario, se utiliza un vertedero en el canal conectado a los desarenadores.

### 3.1.2. Tratamiento primario

Se utiliza un sistema con un depósito de sedimentación primaria y secundaria (ver figura 4) para retener partículas sólidas pesadas y voluminosas, protegiendo así los equipos posteriores A un flujo medio, se lleva a cabo un tratamiento completo con un decantador primario, tratamiento biológico y otro decantador secundario. Para momentos de alta demanda, se implementará un proceso similar a una carga elevada, usando tratamiento biológico y dos decantadores secundarios (Pineda-Buitrago, 2017).

**Figura 4**

*Sedimentadores*



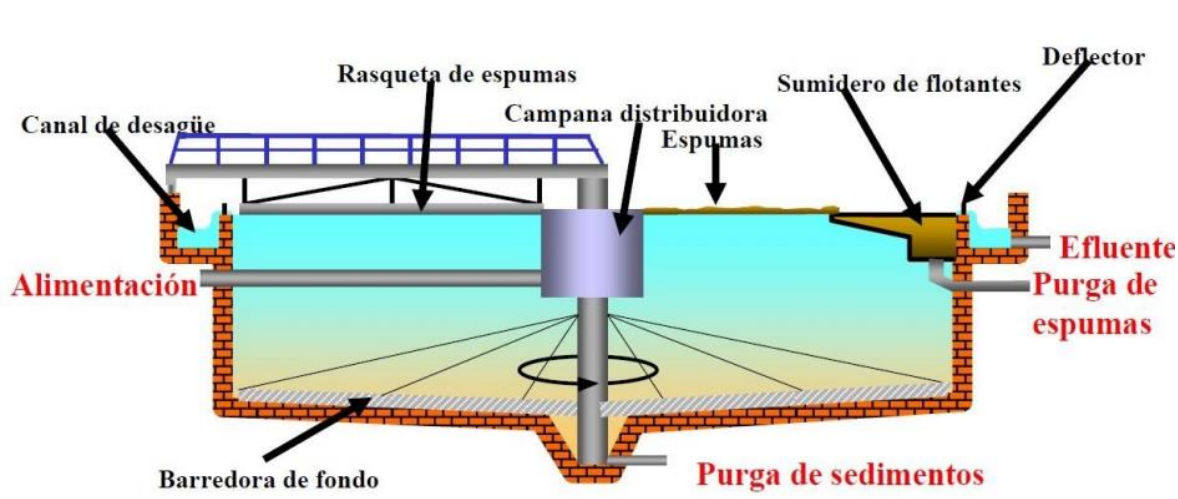
*Nota*. Se observa el sedimentador primario y secundario. Tomada de *Planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra* (p.15) por EMAPA, 2017

Su propósito radica en eliminar parcialmente materia orgánica y sólidos suspendidos, empleando la sedimentación u otros métodos similares, al mismo tiempo que prepara el agua para el tratamiento secundario, se utiliza un tanque de homogeneización ya que es parte integral

del tratamiento primario y cumple diversas funciones (Ver figura 5). Estas funciones comprenden la regulación y control del caudal, la reducción de los picos de caudal, el equilibrio del pH y la provisión de un flujo constante hacia los sistemas de tratamiento subsecuentes. Esto asegura el correcto funcionamiento de la planta en su conjunto (Delgado & Riofrio, 2020).

**Figura 5**

*Sedimentador primario*




Nota. Partes de un sedimentador primario. Tomada de *Planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra* (p.14) *por* EMAPA, 2017

### 3.1.3. Tratamiento biológico

El tratamiento biológico se efectúa en dos líneas de lodos activos con aireación por difusores uniformemente distribuidos a través de una parrilla. El licor resultante se conduce a las arquetas de sedimentación secundaria mediante vertederos, sin afectar la demanda de oxígeno. Para mantener la biomasa activa en el proceso de lodos activados de alta carga, se requiere recircular los lodos, retirando el exceso y reintroduciendo constantemente la biomasa, llevada a cabo por bombas sumergibles desde el decantador secundario (González et al., 2017).

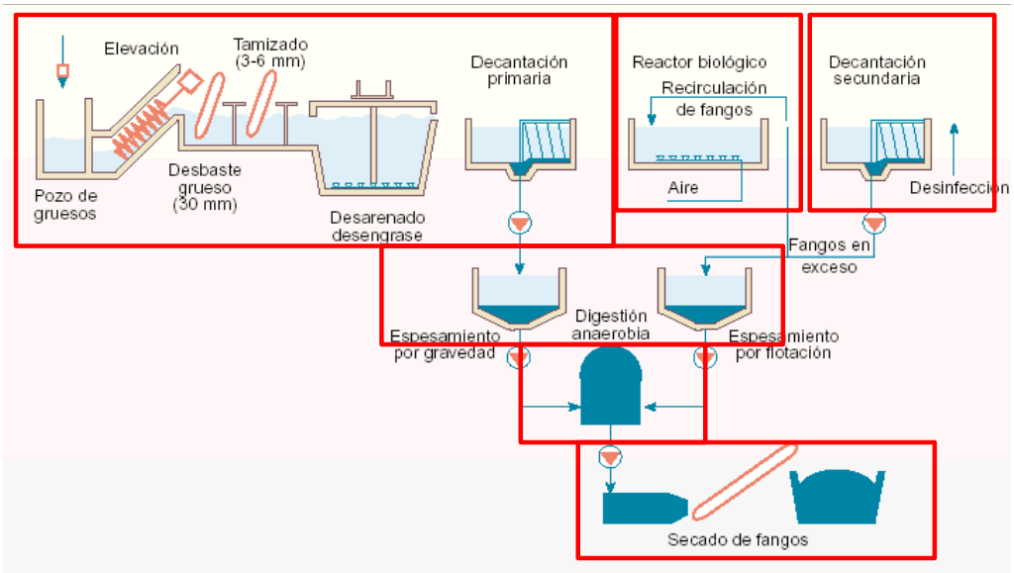
### 3.1.4. Tratamiento secundario

Este proceso se utiliza principalmente para disminuir la Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO) soluble y los sólidos suspendidos presentes en las aguas residuales. En el contexto del tratamiento secundario, se incluye un reactor biológico de flujo continuo, que se alimenta con aire para estimular el crecimiento de microorganismos encargados de oxidar y degradar la materia orgánica del agua. En esta etapa, se incluye la microfiltración, que consiste en un biorreactor de membranas. Este sistema integra un reactor biológico para descomponer los compuestos presentes en el agua y un módulo de membranas que lleva a cabo la separación física del agua (Pineda-Buitrago, 2017).

Además, la instalación incluye una cámara designada para la recirculación de lodos, donde se depositan los residuos provenientes del proceso de tratamiento secundario. Parte de estos lodos son llevados a una cámara de deshidratación, donde experimentan un procedimiento utilizando un calentador centrífugo y la adición de un coagulante del tipo de los polielectrolitos catiónicos para deshidratarlos. Finalmente, estos lodos deshidratados se almacenan en contenedores y se llevan a un vertedero sanitario (Delgado & Riofrio, 2020).

**Figura 6**

*Esquema del proceso de tratamiento*




*Nota.* Se observa el tratamiento de aguas residuales en donde se produce los lodos. Tomada de *Planta de tratamiento de aguas residuales Ibarra* (p.14) por EMAPA, 2017

## 3.2. Lodos residuales

Los lodos contienen una considerable cantidad de materia orgánica y albergan tanto microorganismos patógenos como no patógenos, además de contener metales, en particular metales pesados. Estos lodos necesitan ser sometidos a procedimientos de estabilización. En varias etapas del proceso de tratamiento, los lodos presentan una fracción líquida con concentraciones de sólidos que varían en un rango del 0,5% al 10% (Castro, 2022).

Previo a su disposición, es esencial tratar los lodos en función de su procedencia, además, tener en cuenta el contenido de sólidos, ya que este parámetro influye en la planificación y dimensionamiento de los equipos, bombas, sistemas de conducción y maquinaria empleados en la gestión y tratamiento de estos materiales (Espinoza, 2022). En las rejillas de los desarenadores y sedimentadores se acumulan diversos subproductos que quedan atrapados, y estos pasan por un riguroso proceso de gestión en etapas que incluyen el espesamiento, digestión, acondicionamiento, deshidratación o secado, incineración y oxidación. Dada su elevada concentración de materia orgánica, es imprescindible acondicionar los lodos antes de su disposición final (Domínguez, 2021).

### 3.2.1. Composición y clasificación de lodos

Los lodos que se forman como resultado del tratamiento de aguas residuales son un sustrato complejo. La composición de los lodos varía según su fuente, el tipo de planta de tratamiento y las operaciones específicas llevadas a cabo en dicha instalación. En líneas generales, estos lodos pueden contener materia orgánica, macro y micronutrientes, compuestos no biodegradables y potencialmente tóxicos, sales eliminadas durante el proceso de tratamiento, metales pesados, así como microorganismos patógenos como virus, bacterias, protozoos y parásitos intestinales como helmintos (Ambulkar & Nathanson, 2023). La Tabla 1 resume la composición media de ciertos componentes dependiendo del tipo de lodo.

**Tabla 1**

*Composición de lodos residuales*

| **Parámetros** | **Lodos primarios** | **Lodos secundarios** | **Lodos Digeridos** |
|---|---|---|---|
| Contenido de agua (%) | 92-96 | 97,5-98 | 94-97 |
| Sólidos suspendidos volátiles (%) | 70-80 | 80-90 | 55-65 |
| Grasas (%) | 12-14 | 3-5 | 4-12 |
| Proteínas (%) | 4-14 | 20-30 | 10-20 |
| Carbohidratos (%) | 8-10 | 6-8 | 5-8 |
| Nitrógeno (%) | 2-5 | 1-6 | 3-7 |
| Fósforo (%) | 0,5-1,5 | 1,5-2,5 | 0,5-1,5 |

*Nota*. Tomado de (Broche, 2020)

La clasificación de los lodos residuales está influenciada por la planta de aguas residuales y los diversos procesos unitarios que se llevan a cabo en ella. Se establece tres tipos de lodos, Piedra (2020) menciona la clasificación en aprovechables, no aprovechables y peligrosos. Además, en función de su contenido microbiológico, los lodos se dividen en tres clases: Clase A, Clase B y Clase C (Tabla 2).

**Lodos Aprovechables:** se pueden reutilizar directa e indirectamente para usos como compostaje, energía, reparación de suelos, reciclaje, etc., después de ser procesados tanto por procesos anaeróbicos como aeróbicos en las plantas de tratamiento de aguas residuales.

**Lodos no Aprovechables:** se refieren a lodos que no están aprovechables, sus propiedades no son útiles, tienen una baja carga orgánica y un mínimo poder calorífico. Estos lodos se destinan a vertederos o rellenos municipales, a menudo junto con residuos sólidos.

**Lodos Peligrosos:** la generación de compuestos peligrosos provoca diversos impactos irreversibles en el medio ambiente y la salud humana. La eliminación final de estos lodos

requiere instalaciones especiales y el estricto cumplimiento de las medidas de seguridad adecuadas.

**Tabla 2**

*Clasificación según contenido microbiológico*

| Clase | Indicador bacteriológico | Patógenos | Parásitos |
|---|---|---|---|
| | Coliformes fecales NMP/g en base seca | Salmonella spp NMP/g en base seca | Huevos de Helmitos/g en base seca |
| **A** | Menor de 1000 | Menor de 3 | Menor de 1 |
| **B** | Menor de 1000 | Menor de 3 | Menor de 10 |
| **C** | Menor de 2 000 000 | Menor de 300 | Menor de 35 |

*Nota*. Tomado de (Broche, 2020)

Las estrategias utilizadas en la gestión de lodos residuales deben incluir acciones relacionadas con la prevención y revalorización. Cualquier material que no pueda ser revalorizado debe ser objeto de una disposición final que sea seguro desde una perspectiva ambiental y adecuada, en función del tipo de metales pesados presentes en los lodos residuales, en la tabla 3, se detallan las opciones para su aprovechamiento o disposición final aplicadas a este tipo de residuos (Broche, 2020).

**Tabla 3**

*Aprovechamiento de residuos solidos*

| Tipo | Clase | Aprovechamiento |
|---|---|---|
| Excelente | A | Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación |
| Excelente o bueno | B | Usos urbanos sin contacto publico |

| | | |
|---|---|---|
| | | directo durante su aplicación |
| Excelente o bueno | C | Usos forestales Mejoramiento de suelo Usos agrícolas |

*Nota*. Tomado de (Broche, 2020)

### 3.3. Caracterización físico-química de lodos residuales

La evaluación físico-química de los lodos residuales es fundamental para entender su estructura y características, lo que a su vez simplifica la toma de decisiones informadas sobre cómo gestionar y tratarlos (Delgado & Riofrio, 2020). A continuación, en la tabla 4, se describen los principales parámetros que se examinan durante la caracterización físico-química de lodos residuales.

**Tabla 4**

*Parámetros físico-químicos*

| Parámetro | Descripción | Cita |
|---|---|---|
| **Humedad** | Cantidad de agua presente en el lodo; influye en la capacidad de desplazamiento de microorganismos, el transporte de nutrientes y la circulación de oxígeno. Se calcula por diferencia de peso tras secado a 60 ºC. | (Calderón, 2018) |
| **pH** | Nivel de acidez o alcalinidad; afecta el proceso de compostaje. Las bacterias prosperan entre pH 6 y 7.5. Medido con un pH metro que ofrece lectura digital precisa. | (Marín, 2019) |
| **Conductividad eléctrica** | Evalúa concentración de sales solubles en el lodo. Se mide con un conductímetro que muestra el valor en pantalla. | (Marín, 2019) |

| | | |
|---|---|---|
| **Materia Orgánica** | Presencia de carbono; similar a fertilizantes comerciales, posible fuente de combustible. | (Alania & Inga, 2022; Yan et al., 2009) |
| **Nutrientes** | Contenido de nitrógeno, fósforo y potasio; esencial para desarrollo de plantas y propiedades fertilizantes. | (Delgado & Riofrio, 2020) |
| **Relación carbono/nitrógeno** | Ratio entre porcentaje de carbono orgánico total y porcentaje de nitrógeno total; determina eficiencia del proceso. | (Baquero & Murillo, 2019) |

*Nota*. Elaboración propia

### 3.4. Parámetros microbiológicos

Tanto los lodos como las aguas residuales albergan una variedad de microorganismos, que pueden ser tanto patógenos como beneficiosos, incluyendo bacterias, virus, protozoarios, parásitos y otros tipos de organismos microscópicos (Tabla 5).

Los microorganismos presentes en los lodos son los seres vivos más prevalentes, y desempeñan un papel primordial en la oxidación de la materia orgánica y los nutrientes. En los flóculos, se han identificado más de 300 especies de microorganismos que contribuyen a la producción de polisacáridos, los cuales facilitan la formación de aglomerados de biomasa (Baquero & Murillo, 2019). Aunque las condiciones en los lodos no son óptimas para el desarrollo de hongos, algunos de ellos logran sobrevivir en este entorno debido a la presencia ocasional de factores como pH ácido, toxicidad y escasez de nitrógeno (Miranda, 2021). Estos microorganismos pertenecen al reino Protista y se caracterizan por ser depredadores de bacterias. Este grupo incluye a los Ciliados, Flagelados y Rhizopoda o Amiboidea.

**Tabla 5**

*Microrganismos en lodos residuales*

| **Patógeno** | **Especie** |
|---|---|
| **Bacterias** | *Zooglea* |
| | *Pseudomonas* |
| | *Flavobacterium* |

| | |
|---|---|
| | *Alcaligenes* |
| | *Bacillus* |
| | *Achromobacter* |
| | *Corynebacterium* |
| | *Comomonas* |
| | *Brevibacterium* |
| **Hongos** | *Geotrichium* |
| | *Penicillium* |
| | *Cephalosporium* |
| | *Cladosporium* |
| | *Alternaria* |
| **Protozoarios:** | *Chilodonella* |
| **Ciliados** | *Colpidium* |
| | *Blepharisma* |
| | *Euplotes* |
| | *Paramecium* |
| | *Spirostomum* |
| | *Epystilis* |
| **Flagelados** | *Bodo* |
| | *Pleuromonas* |
| | *Monosiga* |
| **Rhizopoda** | *Amoeba* |
| | *Thecamoeba* |

*Nota.* Tomado de (Baquero & Murillo, 2019; Miranda, 2021)

### 3.5. Parámetros toxicológicos

Es común que los lodos residuales contengan metales pesados como zinc (Zn), cobre (Cu), níquel (Ni), cadmio (Cd), plomo (Pb), mercurio (Hg) y cromo (Cr), especialmente en aguas residuales provenientes de industrias. Estos metales, detectados en aguas residuales industriales, generan preocupación debido a su potencial impacto ambiental y riesgos asociados a la salud humana. Estos metales, presentes en niveles elevados, pueden desencadenar efectos adversos en los ecosistemas acuáticos y terrestres, además de representar un peligro para la diversidad biológica y la salud pública (Beltrán-Pineda & Gómez-Rodríguez, 2016).

## 3.6. Espectrofotometría de absorción atómica

La espectrofotometría de absorción atómica es una técnica analítica utilizada para determinar la concentración de metales en una muestra líquida. En este método, la muestra se vaporiza y atomiza en un atomizador, donde se hace incidir una luz monocromática específica sobre los átomos del elemento a analizar. La intensidad de la luz que transmite el atomizador se mide, y la absorción de los átomos del analito provoca una reducción en esta intensidad. Para calcular la cantidad de metal presente en la muestra, se compara la intensidad de la luz transmitida con una curva de calibración previamente obtenida con muestras de concentración conocida del elemento a determinar. Este proceso proporciona una lectura de salida que refleja la cantidad de átomos en la muestra examinada (Pérez & Alvarado, 2018).

## 3.7. Aplicaciones de biosólidos

La aplicación de biosólidos, provenientes del tratamiento de aguas residuales, despliega un papel fundamental en la sostenibilidad ambiental y agrícola, ofreciendo una alternativa beneficiosa con el propósito de mejorar la calidad del suelo y promover el desarrollo de los cultivos.

### 3.7.1. Lodos residuales como fertilizantes

Son conocidos como biosólidos, son lodos sometidos a procesos de estabilización para reducir su peligrosidad, capacidad de fermentación y evitar la atracción de vectores, estos pueden experimentar tratamientos aeróbicos o anaeróbicos mediante la digestión bacteriana y, debido a su contenido líquido, procesos de deshidratación y secado. La elección del tratamiento se basa en el origen de las aguas residuales, sea doméstico o industrial (Alania & Inga, 2022).

Los biosólidos ofrecen un alto valor nutricional que beneficia la capacidad productiva del suelo y el desarrollo de las plantas. Con concentraciones significativas de materia orgánica (alrededor del 60-70%) y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo, potasio, magnesio, sulfuro y micronutrientes, estos lodos ayudan a mejorar la composición física del suelo.

incluyendo la porosidad, densidad aparente y habilidad para retener agua. Estos aspectos, a su vez, influyen positivamente en la producción de cultivos (Rodríguez, 2016).

En su fase líquida, los lodos exhiben un mayor potencial como fertilizante, si bien enfrentan restricciones debido a la adsorción de metales pesados. Algunos organismos tienen la capacidad de sobrevivir a la digestión anaeróbica, este efecto puede contrarrestarse eficazmente mediante un tratamiento térmico. Los lodos resultantes se transforman en una biomasa valiosa debido a su alto contenido de materia orgánica estable les otorga características parecidas al humus (Alania & Inga, 2022).

### 3.7.2. Acción sobre el suelo

Los lodos son una fuente importante de nutrientes fundamentales para el desarrollo vegetal, como el fósforo y el nitrógeno. Sirven como una fuente adicional de nutrientes para los suelos agrícolas al proporcionar materia orgánica. Además, contribuyen a la reducción de la densidad aparente y al aumento de la porosidad del suelo, mejorando su estabilidad estructural y propiedades químicas. Estos efectos combinados enriquecen la presencia de nutrientes en el suelo, lo que beneficia significativamente el rendimiento de los cultivos (Saravia, 2017).

Los lodos aportan al suelo nutrientes y materia orgánica, incluyendo una amplia gama de micronutrientes; sin embargo, un exceso de arsénico, cadmio, plomo, mercurio y níquel puede ser perjudicial para el suelo si se sobrepasan las dosis adecuadas. Los componentes tóxicos principales que se encuentran como metales pesados incluyen cromo, níquel, cobre, zinc, arsénico, molibdeno, cadmio, mercurio y plomo (Wijesekara et al., 2016). En áreas donde se utilicen lodos de forma prolongada, es fundamental realizar análisis fisicoquímicos regulares para evaluar la susceptibilidad del terreno frente a un aumento de estos metales. Además, la presencia de organismos patógenos es un problema potencial, aunque los lodos manejados y tratados adecuadamente suelen tener un contenido mínimo de estos organismos (Alania & Inga, 2022).

## 3.8. Marco Legal

En Ecuador, las regulaciones para el uso de biosólidos de PTAR se encuentran en el Decreto 1287 de 2014, que establece los criterios para el uso de los biosólidos producidos a partir de los lodos generados en las PTAR municipales. Como alternativa, se han adoptado

normativas internacionales, como la CFR 40 PARTE 503 de la Agencia de Protección Ambiental de EE. UU. (US-EPA) y la Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002. Estas normativas extranjeras están siendo implementadas en Ecuador para regular el manejo y disposición final de los lodos residuales.

### 3.8.1. Norma ambiental para lodos residuales

La Norma Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, establece las especificaciones y los límites aceptables de contaminantes en lodos y biosólidos para su uso o eliminación, se utilizan estos estándares para contrastar los resultados de análisis fisicoquímicos que incluyen pH, porcentaje de humedad y la concentración de metales. En la tabla 6 se observan los limites permisibles para metales pesados.

**Tabla 6**

*Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos*

| **Contaminante (Determinados en forma total)** | **Excelentes (mg/kg) En base seca** | **Buenos (mg/kg) En base seca** |
|---|---|---|
| Arsénico | 41 | 75 |
| Cadmio | 39 | 85 |
| Cobre | 1500 | 4300 |
| Plomo | 300 | 840 |
| Mercurio | 17 | 57 |
| Níquel | 420 | 420 |
| Selenio | 100 | 100 |
| Zinc | 2800 | 7500 |

*Nota*. Adaptado de (Sánchez, 2023)

La Comisión Europea emitió el Real Decreto 1310/1990, el cual define los criterios para la composición de lodos depurados y los métodos de tratamiento utilizados. También establece los límites máximos permitidos de metales pesados en el suelo, detallados en la tabla 7.

**Tabla 7**

*Límites máximo-permisibles (mg/kg de materia seca) en lodos destinados a la utilización agraria.*

| Contaminante | Suelos con pH menor de 7 | Suelos con pH mayor de 7 |
|---|---|---|
| **Cadmio** | 20 | 40 |
| **Cobre** | 1000 | 1750 |
| **Níquel** | 300 | 400 |
| **Plomo** | 750 | 1200 |
| **Zinc** | 2500 | 4000 |
| **Mercurio** | 16 | 25 |
| **Cromo** | 1000 | 1500 |

*Nota*. Adaptado de (Sánchez, 2023)

### 3.8.2. Normativa para la eliminación de lodos residuales US-EPA 40

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA) ha establecido normas para el tratamiento y la eliminación de los lodos de aguas residuales domésticas. Estas normas incluyen los lineamientos generales, los límites de contaminación, las prácticas de manejo y las regulaciones operativas (Gualoto, 2017).

La normativa divide los biosólidos en dos categorías, A y B, cada una con criterios particulares según su aplicación posterior. Los criterios se centran principalmente en la reducción de patógenos como coliformes fecales, Salmonella y huevos de helmintos. La Tabla 8 detalla los límites máximos permitidos para estos tres principales indicadores de contaminación.

**Tabla 8**

*Limite máximos permisibles en lodos residuales*

| CLASE | PATÓGENOS | | |
|---|---|---|---|
| | **Coliformes fecales** | ***Salmonella* spp.** | **Helmintos viales** |
| | **NMP/g ST** | **NMP/g ST** | **Huevos/g de ST** |
| **A** | Menor de 1 000 | Menor de 3 | Menor de 1 |
| **B** | Menor de 2 x $10^6$ | No Aplica | No aplica |

*Nota*. (US-EPA, 1996)

# CAPÍTULO IV

# MATERIALES Y MÉTODOS

## 4.1. Materiales, equipos y reactivos

### 4.1.1. Fase de campo

#### 4.1.1.1. Materiales de campo

- Muestra lodo residual
- Semillas de girasol
- Fundas
- Tierra
- Equipo de protección

#### 4.1.1.2. Métodos en campo

El método descriptivo se aplica en esta fase al especificar el proceso de muestreo de lodos residuales, describiendo minuciosamente cómo se seleccionan, combinan y almacenan las muestras. Este enfoque busca caracterizar sin alterar el entorno, permitiendo un análisis representativo de las condiciones reales de los lodos para su estudio posterior.

##### 4.1.1.2.1. Caracterización de lodos residuales

Para la toma de muestra, Se optó por tomar una muestra representativa de todas las capas de los lodos residuales obtenidos durante el proceso de tratamiento, las cuales se encuentran en diversas etapas como secado y reposo, con especial atención en la porción inferior, excluyendo la superficie debido a su mayor actividad anaeróbica. Este muestreo consistió en la toma de tres muestras compuestas, combinando muestras variadas.

Las muestras se redujeron mediante el método de cuarteo, que implicó crear pilas homogéneas de lodo en forma cónica, mezclándolos tres veces para homogeneizar la muestra. Posteriormente, se subdividieron para obtener una muestra cualitativamente representativa.

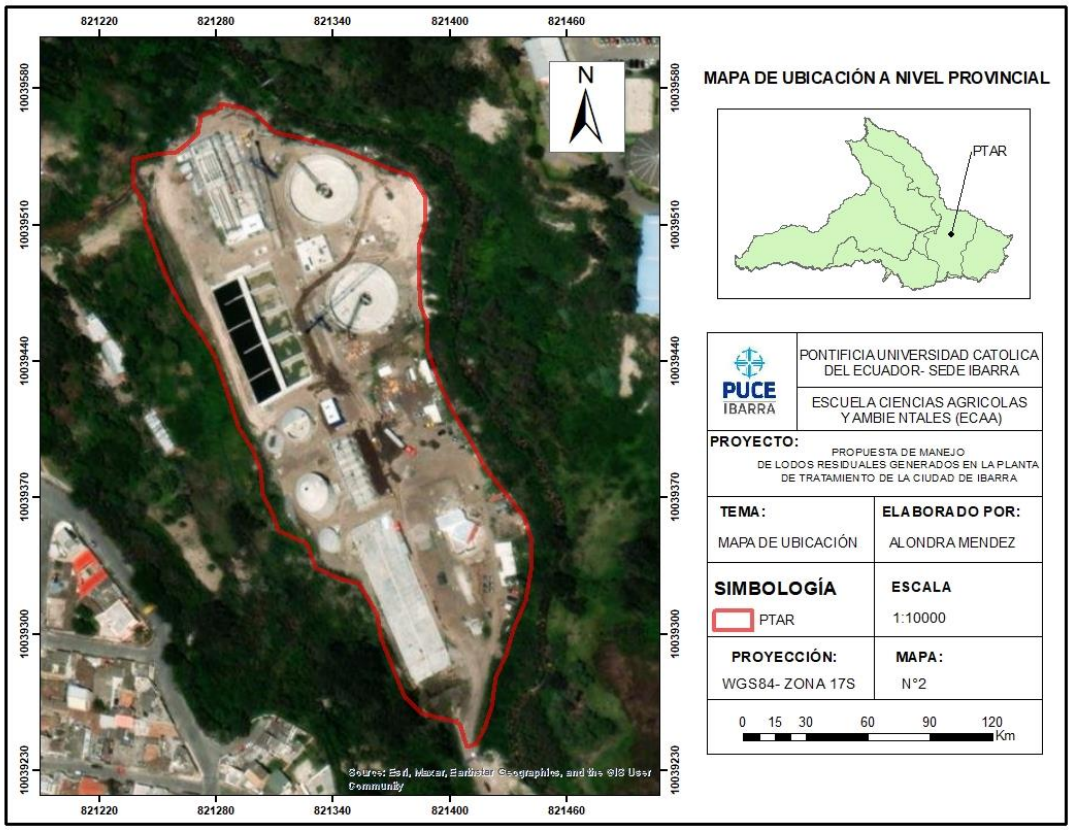
Estas muestras se empaquetaron en bolsas tipo Ziploc de polietileno grueso y se conservaron a -4°C, evitando la exposición al sol. Cada muestra se rotuló con la fecha y se selló para su transporte al laboratorio de química de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador Sede Ibarra, luego de desinfectar y limpiar el material. Se guardaron estas muestras en bolsas con cierre hermético y se transportaron en una nevera portátil.

### 4.1.1.3. Localización geográfica

La Planta de Tratamiento de Aguas Residuales está localizada en las siguientes coordenadas 41º 36' 50"N 2º 18'23" E, en terrenos adyacentes a la margen izquierda del río Tahuando, con una extensión total aproximada de 4,5 hectáreas, situada entre la Avenida Carchi y María Angélica Idrobo, a lo largo del río Tahuando. El estudio se llevó a cabo en el laboratorio de aguas de la Escuela de Ciencias Agrícolas y Ambientales, ubicado en la ciudad de Ibarra, en la provincia de Imbabura.

**Figura 7**

Localización PTAR Ibarra



*Nota*. En la figura se observa la ubicación de la PTAR Ibarra. Tomada de Programa Google Earth Pro, 2023

### 4.1.2. Fase experimental

#### 4.1.2.1. Materiales de laboratorio

- Tamiz 2mm
- Crisoles de porcelana
- Frascos ámbar de plástico 100 ml
- Tubos de ensayo
- Agua destilada tipo 1
- Frasco hueco 250 ml
- Micropipetas
- Petrifilm agar (Petrifilm E. coli/ Coliformes totales)

##### 4.1.2.1.1. Equipos

- Potenciómetro marca HORIBA modelo LAQUA
- Espectrofotómetro de absorción atómica marca SensAA GBC
- Generador de hidruros GBC HG 3000
- Espectrofotómetro LaMotte
- Estufa marca VWR modelo 1305U
- Horno mufla marca Thermo Scientific modelo F601
- Balanza analítica marca ADAM modelo PGL 4001
- Desecador
- Conductímetro HANNA Instruments

##### 4.1.2.1.2. Reactivos

- Estándares de metales (Pb, Cd, As, Hg, Cr) marca: AccuStandard
- Ácido nítrico grado analítico 10 ml x4
- Sodium Hydroxide Solid
- Sodium borohydride extrapure, 98 %

#### 4.1.2.2. Métodos Experimentales

Se realizaron análisis fisicoquímicos, microbiológicos y toxicológicos para determinar propiedades del lodo de la PTAR de Ibarra.

##### 4.1.2.2.1. Análisis fisicoquímicos

Estos análisis se centraron en medir el pH y la concentración de metales. El pH y la concentración de metales se evaluaron con el fin de caracterizar la composición y las propiedades del lodo mezclado con tierra proveniente de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de Ibarra. Estos análisis fisicoquímicos proporcionan información clave sobre la acidez o alcalinidad del lodo y la presencia de metales, lo que permite entender su naturaleza y posibles implicaciones ambientales o de tratamiento, así como su bioaccesibilidad por las plantas.

- **pH y conductividad eléctrica**

Se realizó siguiendo la Norma Oficial Mexicana NOM-147-SEMARNAT/SSA1-2004, se preparó una suspensión del lodo mezclando muestra y agua en una proporción equitativa, es decir, una relación de 1:5. Esta mezcla homogénea permitió obtener una muestra representativa para su análisis, luego, se midió el valor del pH-$H_2O$ en el sobrenadante utilizando un potenciómetro de la marca HORIBA, modelo LAQUA. Posteriormente a la misma muestra se realizó la conductividad eléctrica bajo las pautas de la norma TS ISO 11265, utilizando el equipo conductímetro, este método valúa concentración de sales solubles en el lodo.

- **Materia orgánica**

Se realizó bajo la Norma IRAM-SAGyP 29571-1:2008. Se siguió el protocolo descrito por Azcárate et al. (2017) el cual implica una serie de pasos meticulosos para identificar la materia orgánica en muestras de suelo. Inicialmente, se procede a la pesada precisa de una cápsula de porcelana vacía. Posteriormente, se adiciona una cantidad específica de muestra de suelo seco (5g) a la cápsula, seguido de un periodo de secado en un horno a 105 °C durante 2 horas. La masa de la muestra seca se registra con exactitud. A continuación, se lleva a cabo la calcinación de la muestra en un horno a 430 °C durante 2 horas, y se calcula la masa de la muestra después de la calcinación.

- **Nutrientes**

Se realizó la evaluación de nutrientes: Fosfato ($PO_4^{3-}$), Potasio (K) y Amonio ($NH_4$), mediante el kit de análisis de agua Lamotte. Empleando el método 3659-SC.

Se realizaron análisis de fosfato, potasio y amonio en muestras de suelo utilizando el método de fotometría con el kit Lamotte. Cada tratamiento constó de 10 gramos de muestra. Para la extracción de fosfato, se utilizó una solución de ácido sulfúrico 0,1N y se mezcla meticulosamente con 100 ml de agua destilada se somete a un proceso de filtración para obtener la muestra purificada y analizar con el colorímetro. Para el potasio, se empleó 100 ml de agua destilada. Para la extracción del amonio, se recurrió a una solución de cloruro de potasio 0,1 M, se mezcla meticulosamente con 100 ml de agua destilada se somete a un proceso de filtración para obtener la muestra purificada y analizar con el colorímetro, la cantidad de amonio en la muestra se determina midiendo intensidad del color que se produce cuando se incorpora la solución de salicilato de amonio a la muestra.

- **Metales pesados**

Se realizó un análisis de metales pesados utilizando espectrofotometría de absorción atómica mediante un espectrofotómetro de la marca SensAA GBC. Para determinar los niveles de Cd, Cr, y Pb se utilizó el método de absorción atómica de llama, mientras que para el Hg y As se empleó el método de generación de hidruros por vapor frío y llama (Ver tabla 9). El proceso implicó el uso de una cantidad específica de muestra, 10 gramos, dispuestos en crisoles de 50 ml junto con 10 ml de ácido nítrico (como agente para la digestión) el que fue medido mediante una pipeta aforada. Posteriormente, estas muestras se sometieron a una temperatura de 50°C en una estufa, realizada la digestión se trasvasaron a balones aforados de 100 ml, completándolos con agua tipo 1.

**Tabla 9**

*Parámetros analíticos de metales por absorción atómica*

| Metal | Longitud de onda (mm) | Abertura (nm) | Corriente de la lámpara (mA) | Método |
|---|---|---|---|---|
| **Cd** | 228.8 | 0.5 | 3 | Absorción atómica de llama |
| **Cr** | 357.9 | 0.2 | 6 | Absorción atómica de llama |
| **Hg** | 253,7 | 0,5 | 4 | Absorción atómica de hidruros con vapor frio |
| **As** | 193,7 | 1 | -8 | Absorción atómica por generación de hidruros con llama |
| **Pb** | 217 | 1 | 5 | Absorción atómica de llama |

*Nota*. Se observa en la tabla los parámetros que incluyen la longitud de onda específica de la radiación electromagnética absorbida por cada metal, la abertura, la corriente de la lámpara, y el método analítico utilizado para calcular la concentración de cada metal presente en una muestra.

**Determinación de concentraciones de metales**

En el análisis de plomo (Pb) mediante espectrofotometría de absorción atómica, se procedió empleando cinco estándares con distintas concentraciones. Estos estándares tenían concentraciones de 2,5 ppm, 5 ppm, 7,5 ppm, 10 ppm y 20 ppm respectivamente. Los datos obtenidos en la curva de calibración presentaron un rango de error de 0,004%.

Para los demás metales se siguió la misma metodología empleando distintas concentraciones. Para el análisis de Cr, se usaron concentraciones de 3, 6, 9, 12 y 15 ppm. El análisis de Cd se realizó mediante espectrofotometría de absorción atómica, utilizando cinco

estándares con concentraciones de 0.2, 0.4, 0.6, 1.2 y 1.8 ppm. Asimismo, para el análisis de As mediante espectrofotometría de absorción atómica con generación de hidruros por llama, se emplearon cinco estándares con concentraciones específicas 1, 2,5, 5, 10 y 20 ppm.

Por otro lado, el análisis de Hg se realizó mediante absorción atómica con generación de hidruros por vapor frio. En este caso, se empleó un reactor con una mezcla de hidróxido de sodio y borohidruro de sodio para la reducción del mercurio. Se procede pesando 3 gramos de borohidruro de sodio y la misma cantidad de hidróxido de sodio. Estos compuestos se disuelven en 500 litros de agua tipo 1 para obtener la solución deseada. Adicionalmente, se prepara una solución de ácido clorhídrico 3 molar, mezclando 125 mililitros del ácido con agua tipo 1 en un balón de 500 mililitros. Para su análisis se preparó los estándares de 2, 4, 6, 10 y 15 ppb.

#### 4.1.2.2.2. Análisis microbiológico

La metodología para el análisis microbiológico de *E. Coli* y coliformes totales se realizó de la siguiente manera:

- Se tomó una muestra de 10 gramos de lodo mezclado con tierra y se colocó en un tubo de ensayo con 50 ml de agua destilada. La muestra se mezcló bien y se dejó decantar.
- Luego, se colocaron 9 ml de agua destilada en 12 tubos de ensayo y se realizó una serie de diluciones. La dilución final fue de $10^{-3}$.
- Se sembró 1 ml de la dilución de $10^{-3}$ en una placa petrifilm.
- La placa petrifilm se incubó a 37 °C durante 24 horas. La presencia de colonias de color roja indica la presencia de *E. Coli*.

#### 4.1.2.2.3. Análisis toxicológico

Para el análisis toxicológico se utilizó *Allium cepa* (cebolla blanca), este análisis toxicológico de lodos residuales es un procedimiento para evaluar la toxicidad de los lodos para los organismos vivos. Este análisis se realiza normalmente utilizando cebolla blanca como bioindicador. El procedimiento se realiza de la siguiente manera:

- Se prepara una suspensión con 2 g de lodos residuales mezclando con tierra de los tratamientos control, T1, T2 y T3 mezclado con 10 ml de agua Tesalia o de beber (libre de cloro) para sembrar *Allium cepa.*

- Se colocan los bulbos de *Allium cepa* en la suspensión con la mezcla por 120 horas
- Posteriormente se toma 5 mm de la punta de la raíz, se coloca Ácido clorhídrico 1N en la muestra y se espera 1 minutos a fuego.
- Se coloca aceto carmín 2% a fuego
- Finalmente se observa al microscopio a 100X. Es importante mencionar que este procedimiento se realizó en el laboratorio de la Escuela de Ciencias Biológicas PUCE.

#### 4.1.2.2.4. Localización geográfica experimental

Se realizo en el laboratorio de Química de la Escuela Ciencias Agrícolas y Ambientales de la PUCESI, ubicada en Ibarra.

**Figura 8**

*Localización Fase Experimental*




*Nota.* Se observa en la figura la localización del laboratorio de PUCE-I. Realizado en ArcGIS, 2023.

#### 4.1.2.3. Alternativa de manejo de lodos residuales

Se llevó a cabo un experimento de siembra que comprendió cuatro condiciones distintas. En la condición T0, se utilizó únicamente suelo en una cantidad de 1000g como base. En las condiciones T1, T2 y T3, se añadieron proporciones crecientes de lodo, adaptados de Valenzuela (2019) siendo del 5%, 10% y 15% respectivamente, se realizaron 3 repeticiones dando en total 12 unidades experimentales en total. Este diseño experimental permite evaluar el efecto progresivo del lodo agregado al suelo en el crecimiento o desarrollo de la muestra en estudio. La variación de las concentraciones de lodo en las diferentes condiciones posibilitará analizar el impacto de esta adición en los resultados obtenidos, proporcionando datos relevantes para la comprensión de su influencia en el sustrato de siembra.

**Tabla 10**

*Diseño experimental*

| Tratamientos | Lodo residual (g) | Tierra (g) |
|---|---|---|
| T0 | 0 | 1000 |
| T1 | 50 | 950 |
| T2 | 100 | 900 |
| T3 | 150 | 850 |

Fuente: Elaboración propia.

*Nota*: Este diseño experimental permitió evaluar el efecto del lodo residual en la absorción de metales por los girasoles y determinar el rango de utilización de lodo para su disposición final, con un mínimo de riesgos para el medio ambiente.

# CAPÍTULO V

# RESULTADOS Y DISCUSIÓN

## 5.1. Resultados

### 5.1.1. Fase de campo

#### 5.1.1.1. Siembra de girasoles

Se llevó a cabo una siembra aleatoria de girasoles, seguida de un período de observación de 8 semanas para evaluar el impacto de la combinación de lodo y tierra en su crecimiento y estado. Los resultados detallados de estas observaciones se encuentran reflejados en la Tabla 11, proporcionando una visión completa de cómo la interacción entre el lodo y la tierra influyó en el desarrollo y condición de los girasoles a lo largo del tiempo, así como en los posibles efectos de la absorción de metales tóxicos.

**Tabla 11**

*Observaciones del experimento*

| Semana | Observaciones | Anexos |
|---|---|---|
| 1 | Durante la primera semana después de la siembra, los girasoles requieren una cantidad significativa de agua. Especialmente en este período inicial, es crucial mantener un suministro adecuado de agua para el desarrollo óptimo de las plantas, garantizando la posibilidad de absorción de metales en esa etapa. |  |

| | | |
|---|---|---|
| 2 | En la semana 2 se muestra un grupo de pequeños brotes de girasol (30% en total de plantas) que han brotado de la tierra. Los brotes son de color verde claro y tienen forma de flecha. Cada brote tiene una raíz pequeña que se extiende hacia abajo en el suelo. El tallo de los brotes de girasol es corto y delgado. El tallo se extenderá a medida que la planta crezca, pudiendo alcanzar la presencia de metales en el suelo y su posible absorción |  |
| 3 | En la imagen se aprecia un 60% de girasoles en su tercera semana de crecimiento. Con una altura promedio de 10 centímetros y dos o tres hojas, estas plantas muestran un estado general saludable y vigoroso. Las hojas exhiben un tono verde oscuro y un desarrollo adecuado, mientras que los tallos se presentan robustos y erguidos, denotando un buen estado de fortaleza estructural. |  |
| 4 | En la cuarta semana, se observa un impresionante avance en el crecimiento de los girasoles, donde el 90% ha experimentado un aumento significativo en su altura. Han pasado de una estatura inicial de 10 centímetros a una notable altura de 25 centímetros. Este rápido crecimiento es |  |

indicativo de un desarrollo saludable y vigoroso en la etapa temprana de estas plantas.

5 En esta semana, los girasoles son de aproximadamente 30 centímetros de altura y tienen 8 o 9 hojas. Las hojas son de color verde oscuro y están bien desarrolladas.



6 En la semana 6, se evidencia un crecimiento notable en los girasoles, alcanzando una elevación aproximada de 50 cm. Entre los tratamientos, se destaca que el T3 exhibe una mayor altura en comparación con los demás.



7 Durante la semana 7, se registra un incremento en la altura de los girasoles, pasando de 50 a 55 cm. En particular, se nota que el T3 presenta una menor frondosidad en comparación con los otros tratamientos.



**8** En la semana 8, se registra un aumento considerable en la altura de los girasoles, alcanzando una medida de 70 cm. Al analizar los tratamientos, se evidencia que el T3 presentan una cantidad notablemente mayor en las hojas en comparación con los otros tratamientos.



| | | |
|---|---|---|
| **9** | Al finalizar el proceso se puede observar brotes de girasoles, lo cual se concluye que el uso de lodo residual, si puede funcionar para el crecimiento del lodo y así poder evaluar la presencia de metales sin aberraciones en la planta. |  |

**Análisis**

El análisis del crecimiento de los girasoles revela una respuesta significativa al uso de lodo residual en calidad de nutriente. A lo largo de las semanas, se observa un desarrollo saludable en el T3, con un 15% de lodo, indicando que la combinación de lodo residual y tierra ha contribuido positivamente al crecimiento de las plantas. Durante las semanas iniciales, la necesidad de un suministro adecuado de agua es destacada, lo que puede ser crucial para la asimilación y utilización eficiente de los nutrientes presentes en el lodo y de hecho colaborar en la movilidad de los metales tóxicos hacia la planta. A medida que avanzan las semanas, se evidencia un aumento en la altura y frondosidad de los girasoles, mostrando la capacidad del lodo residual para enriquecer el sustrato y proporcionar nutrientes esenciales (o no esenciales como los metales: mercurio, cadmio y plomo) para el desarrollo de las plantas.

## 5.2. Resultados Fase de laboratorio

### 5.2.1. Lodo residual base seca

Los resultados, suministrados por la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) Ibarra y presentados en la Tabla 12, revelan que el análisis del lodo base seca y se observa el método analizado cumple con los estándares establecidos.

**Tabla 12**

*Resultados de los análisis de lodo base seca*

| Parámetros Analizados | Metodología de Referencia | Método Interno ALS | Unidad | Límite máximo permisible | Criterio de resultado |
|---|---|---|---|---|---|
| **Arsénico** | EPA 3005 A, Rev. 01,1992 EPA 6010B, December 1996 Standard Methodos Ed. 23 2017, 3120 B EPA 7471 B, Rev. 02, 2007 | PA-118.00 | mg/kg | 75 | Cumple |
| **Cadmio** | | PA-118.00 | mg/kg | 85 | Cumple |
| **Cromo** | | PA-118.00 | mg/kg | No aplica | No aplica |
| **Plomo** | | PA-118.00 | mg/kg | 840 | Cumple |
| **Mercurio** | EPA 7471 B, Rev, 02, 2007 | PA-57.00 | mg/kg | 57 | Cumple |
| **Coliformes Fecales** | Estándar Methodos 23 Edition, 2017, 9221 B, 9221 E y 9221 F bacteriological Analytical Manual 7th Edition, 2015, Appendix 2 | PA-97.00 | NMP/g | - | Cumple |
| **Nitrógeno** | Standard Methods Ed. 23 2017, 4500-Norg-C2.c Standard Methods 23, 2017, 4500-NH3-C | PA-129.00 | mg/kg | No aplica | No aplica |
| **Fósforo** | Estándar Methods Ed.23, 2017, 4500-p B y 4500 -PC | PA-49,00 | mg/kg | No aplica | No aplica |
| **Materia Orgánica** | Primo Yufera, Química Agrícola I. Método Walkley Black, 1934 | PA-35,00 | % | No aplica | No aplica |
| **Potencial Hidrógeno** | EPA 9045 D, Rev. 04, 2004 | PA-05,00 | U pH | No aplica | No aplica |
| **Conductividad eléctrica** | EPA 9050 A, Rev 1, 1996 | PA-08,00 | uS/cm | No aplica | No aplica |

Fuente: (ALS Ecuador, 2022)

**Análisis**

Las concentraciones de Arsénico y Cadmio, evaluadas mediante EPA 3005 A y EPA 7471 B, respectivamente, cumplen con límites de 75 mg/kg y 85 mg/kg. El Cromo no tiene límite aplicable, y el Plomo, evaluado por EPA 7471 B, se encuentra dentro del límite de 840 mg/kg. El Mercurio, analizado según EPA 7471 B, cumple con el límite de 57 mg/kg. Los Coliformes Fecales cumplen con el estándar de PA-97.00 NMP/g. Parámetros como Nitrógeno, Fósforo, Materia Orgánica, Potencial Hidrógeno y Conductividad Eléctrica no tienen límites

aplicables, pero cumplen con los criterios establecidos. Estos resultados respaldados por metodologías reconocidas confirman la calidad del lodo base seca.

### 5.3. Resultados Lodo residual y tierra

#### 5.3.1. Análisis físico químicos

Los resultados del pH, conductividad eléctrica y contenido de materia orgánica se muestran en la Tabla 13. Es importante mencionar que la medición del pH se realizó de acuerdo con los parámetros definidos por la normativa NOM-004 SERMANAT – 2002.

**Tabla 13**

*Resultados de análisis fisicoquímico*

| Tratamientos | Valor pH | Conductividad eléctrica (µS /cm) | Materia orgánica (%) |
|---|---|---|---|
| **T0** | 7.147 | 331 | 10,08% |
| T1 | 6.714 | 482 | 10,25% |
| T2 | 6.661 | 638 | 9,07% |
| T3 | 6.377 | 742 | 10,47% |

*Fuente:* Elaboración propia

**Análisis**

En términos de pH, el lodo mezclado con la tierra en cada caso se encuentra dentro de los parámetros aceptables, considerados ligeramente acido, lo que sugiere un manejo adecuado de este aspecto específico en el tratamiento de lodos. Sin embargo, es importante considerar otros parámetros y características del lodo para una evaluación completa de su tratamiento y gestión ambiental.

Para la conductividad eléctrica, al analizar los resultados de los tratamientos, podemos observar que la conductividad eléctrica más alta se encuentra en el tratamiento T3, con un valor de 742 µS/cm, de acuerdo con la normativa NOM-021-RECNAT-2000, se encuentra en un suelo alcalino. Además, a medida que avanzamos de T0 a T3, hay un aumento progresivo en la conductividad eléctrica, lo que sugiere que el T3 exhibe el nivel más alto entre los tratamientos considerados

Los resultados de la materia orgánica revelan variaciones significativas entre los tratamientos. De acuerdo a la normativa NOM-021-RECNAT-2005, T3 exhibe la concentración con más alta carga orgánica 10, 47% gramos, mostrando un aumento notable en comparación con T0. Por otro lado, T2 presenta la concentración más baja con 9,0 % en relación a los demás tratamientos que llegan a 10, reflejando una disminución significativa. Estas observaciones resaltan la importancia de comprender las diferencias en las concentraciones entre los tratamientos, proporcionando información valiosa para la interpretación y optimización de los procesos relacionados con dicho componente en estudio.

### 5.3.2. Nutrientes

La Tabla 14 desglosa los resultados derivados de la aplicación de diversos tratamientos en la mezcla de tierra con lodo residual, centrándose en las concentraciones de amoníaco, fósforo y potasio.

**Tabla 14.**

*Análisis de nutrientes*

| Tratamientos | Amonio (ppm) | Fosfato (ppm) | Equivalente a ($P_2O_5$ mg/kg) | Potasio (ppm) | Equivalente a ($K_2O$ mg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| **T0** | 0.71 | 1.467 | 3.35 | 18.9 | 22.77 |
| **T1** | 1.91 | 1.884 | 4.31 | 19.6 | 23.62 |
| **T2** | 2.01 | 2.074 | 4.75 | 19.7 | 23.74 |
| **T3** | 2.07 | 2.822 | 6.46 | 20. 9 | 25.18 |

*Fuente:* Elaboración propia

**Análisis**

Los resultados revelan que el tratamiento T3 presenta concentraciones superiores en amonio, fosfato y potasio, con valores de 2,07, 2,822 y 20,9, respectivamente, destacándose como una opción potencialmente más beneficiosa. De acuerdo con la NOM-004-SEMARNAT-2002 se encuentras en un rango elevado.

La elevada concentración de amonio en T3 sugiere una mayor disponibilidad de nitrógeno. Asimismo, la abundancia de fósforo y potasio en este tratamiento puede contribuir

significativamente al fortalecimiento de las raíces y al estímulo de procesos cruciales como la floración y la fructificación. Estos hallazgos sugieren un efecto directo de la proporción de lodo residual enriqueciendo la mezcla con estos nutrientes.

Al calcular las cantidades equivalentes de las formas iónicas de Fósforo y Potasio convertidas a $P_2O_5$ y $K_2O$, vemos que también hay un incremento progresivo en la accesibilidad de estos nutrientes para las plantas. Por ejemplo, el equivalente a $P_2O_5$ aumenta de 3.35 mg/kg en T0 a 6.46 mg/kg en T3, mientras que el equivalente a $K_2O$ aumenta de 22.77 mg/kg en T0 a 25.18 mg/kg en T3.

### 5.3.3. Metales pesados

Los resultados del estudio de metales pesados se encuentran detallados en la Tabla 15, donde se exponen las concentraciones obtenidas para plomo, mercurio, cromo, cadmio y arsénico en los diferentes tratamientos.

**Tabla 15.**

*Resultados de metales pesados*

| Tratamientos | Plomo (µg/kg) | Mercurio (µg/kg) | Cromo (µg/kg) | Cadmio (µg/kg) | Arsénico (µg/kg) |
|---|---|---|---|---|---|
| **T0** | 8,725 | 0.9655 | ND | 0,125 | 0,445 |
| T1 | 7,785 | 1.0085 | ND | 0,175 | 0,538 |
| T2 | 8,325 | 1.3365 | ND | 0,155 | 0,592 |
| T3 | 8,19 | 1.665 | ND | 0,24 | 0,704 |

*Fuente: Elaboración propia*

**Análisis**

En el análisis de los resultados, se observa que, en el caso del plomo, el Tratamiento T1 muestra la menor concentración con 7,79 µg/kg, lo que sugiere una reducción en comparación con los otros tratamientos (T0, T2 y T3). De acuerdo a la normativa NOM-004-SEMARNAT-2002, no sobrepasan los límites máximos permisibles. En cuanto al mercurio, el Tratamiento T0 presenta la menor concentración con 0,965 µg/kg, indicando una disminución significativa en comparación con los demás tratamientos, seguido del T3 con 1,66 µg/kg. Para el cromo, todos los tratamientos muestran "ND" (no detectable), lo que sugiere que no hubo variaciones

notables entre ellos. En el caso del cadmio, el Tratamiento T0 exhibe la concentración más baja con 0,125 µg/kg seguido del T2 con 0,175. Finalmente, para el arsénico, el Tratamiento T0 también demuestra la menor concentración con 0,445 µg/kg. En resumen, considerando los resultados individuales para cada metal pesado, el Tratamiento T0 y T2 emergen como los más efectivo al presentar las concentraciones más bajas.

### 5.3.4. Análisis microbiológico

**Tabla 16.**

*Resultados microbiológicos*

| **Tratamientos** | ***E. coli* (UFC)** | **Coliformes totales** |
|---|---|---|
| **T0** | 246 | ND |
| T1 | 225 | ND |
| T2 | 8 | ND |
| T3 | 174 | ND |

*Fuente: Elaboración propia*

**Análisis**

En cuanto a los resultados microbiológicos presentados en la tabla correspondiente, se observa una variación significativa en las concentraciones de microorganismos evaluados en los diferentes tratamientos. De acuerdo a la NMX-AA-180-SCFI-2018 el valor de *E. coli* debe ser ≤ 1000 NMP por g en base seca, estando dentro de los limites permisibles. El tratamiento T2 destaca por su eficacia al exhibir la concentración más baja de *E. coli* con solo 8 UFC, y el T3 presenta 174 UFC, indicando una notable reducción en comparación con los tratamientos T0, T1, Sin embargo, se observa que los coliformes totales en todos los tratamientos muestran valores no cuantificables sugiriendo que las concentraciones se encuentran por debajo del límite de detección del método empleado. Estos resultados microbiológicos apuntan a la eficacia del tratamiento T2 en la disminución específica de *E. coli*, mientras que la presencia de coliformes totales parece estar generalmente controlada en todos los tratamientos, aunque en niveles que no se pueden cuantificar mediante el método utilizado.

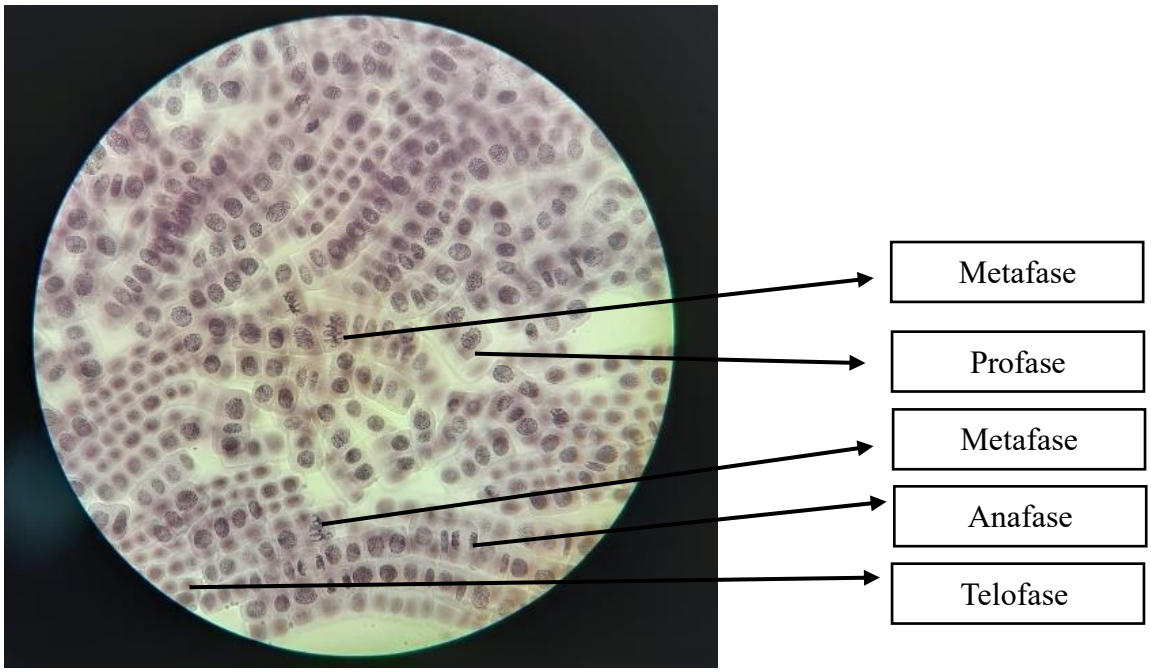
### 5.3.5. Análisis toxicológico

En el estudio realizado, se realizó un análisis toxicológico utilizando la raíz de *Allium cepa* (cebolla blanca) como agente de prueba para evaluar la toxicidad. Según Beltran & Paz (2016) Los bulbos de cebolla, caracterizados por su rápido crecimiento radicular, mantienen una constante tasa cíclica de reproducción celular, con células meristemáticas que exhiben cromosomas de considerable tamaño. La exposición a sustancias tóxicas, tanto de origen orgánico como inorgánico, reveló alteraciones que interfieren con el desarrollo normal de las raíces.

En un enfoque más detallado, se examinaron las fases de la división celular de la mitosis en lodos residuales. Este análisis fue realizado variando las concentraciones de las sustancias utilizadas (Figura 9-12). Esta ampliación permitió observar de manera más precisa los efectos de las diferentes concentraciones en las etapas específicas de la mitosis, proporcionando una comprensión más detallada de las respuestas celulares ante las condiciones variables.

**Figura 9.**

*Análisis toxicológicos Allium cepa T0*

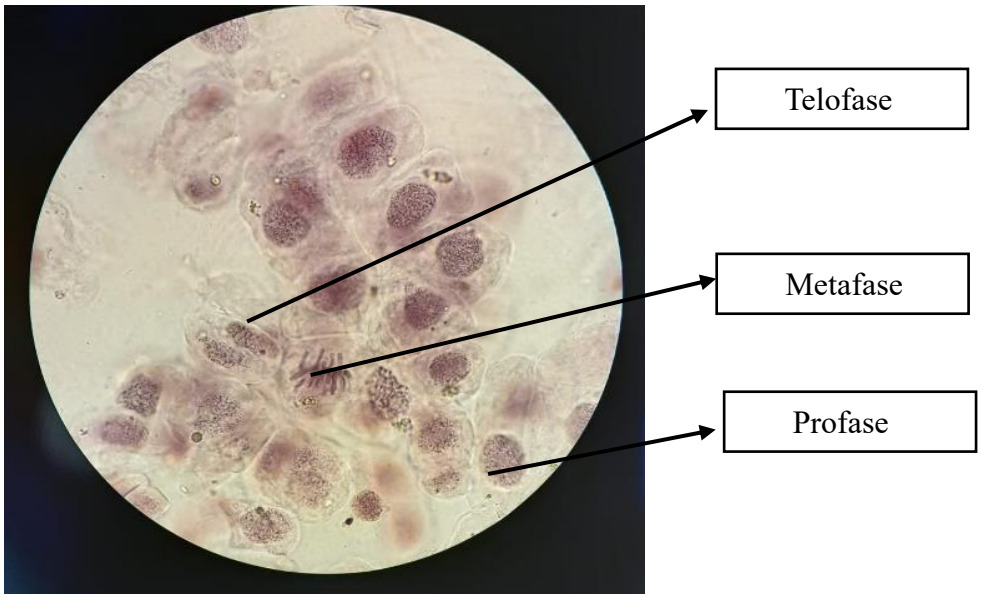


**Análisis**

En la observación inicial en el momento T0, donde solo se utiliza tierra sin la presencia de lodo, se logra distinguir claramente las diversas fases de la mitosis como metafase, profase, anafase, telofase, es una representación normal del proceso mitótico, no existe deformación en los pasos de la mitosis, se observa la cromatina condensada, los husos mitóticos. Este fenómeno se atribuye a la ausencia de cualquier contaminante en esta etapa, lo que permite una manifestación sin interferencias de los procesos normales de división celular.

**Figura 10.**

*Análisis toxicológicos Allium cepa T1*

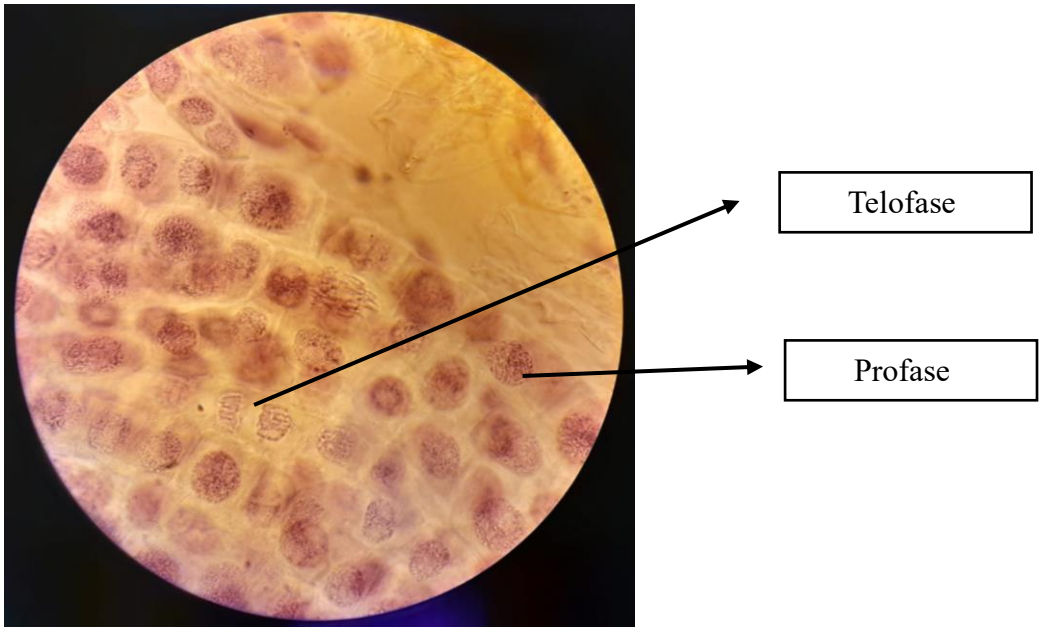



**Análisis**

Al analizar el experimento T1 con una composición de 5% (50g) de lodo y 950 g de tierra, se evidencia la observación de tan solo tres fases de la mitosis celular como telofase, metafase y profase, las células tienen formas irregulares, pero no existe deformaciones en el proceso mitótico. Este fenómeno indica que la presencia del 5% de lodo ha inducido cambios significativos en el proceso de división celular. La limitación en la manifestación de las fases mitóticas sugiere posibles efectos disruptivos o inhibidores que podrían estar vinculados a la influencia del lodo en las actividades celulares normales.

**Figura 11.**

*Análisis toxicológicos Allium cepa T2*

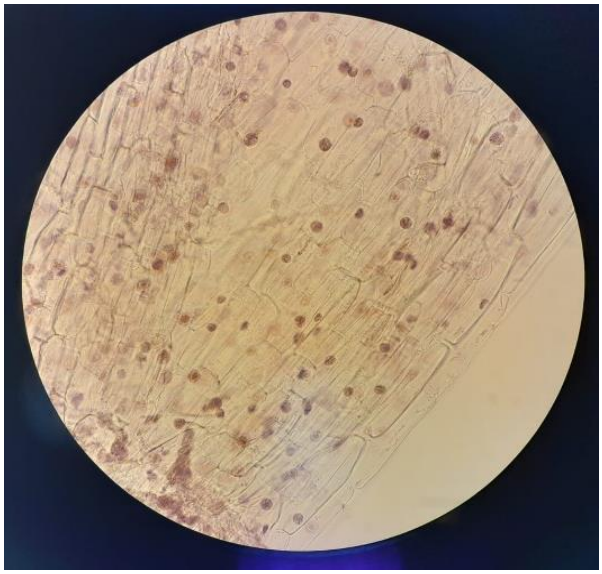



**Análisis**

En el experimento T2, realizado con una mezcla que contiene un 10%(100g) de lodo y 900 g de tierra, se destacó la presencia de un número reducido de fases mitóticas, limitándose principalmente la telofase y la profase. Este resultado sugiere una mayor interferencia en el proceso de división celular cuando se incrementa la proporción de lodo. Sin embargo, cabe mencionar que en la imagen no se puede evidenciar con claridad por lo que dificulta la identificación de posibles deformaciones o aberraciones en el proceso de mitosis.

**Figura 12.**

*Análisis toxicológicos Allium cepa T3*



**Análisis**

En el T3, caracterizado por la presencia de un 15%(150g) de lodo y 850 g de tierra, presenta células alargadas y fibrosas. Se destaca una disminución de la observación de fases mitóticas a diferencia de los otros tratamientos. Este resultado revela un impacto más pronunciado del aumento en la concentración de lodo, llegando al punto de que podría inhibir ligeramente el proceso de división celular. Sin embargo, hay cierta parte el proceso sin aberraciones cromosómicas, sin formación de micronúcleos ni otros fenómenos que hablen sobre el efecto negativo del lodo a esta concentración.

## 5.4. Propuesta manejo de lodos residuales

### 5.4.1. Selección del tratamiento

Elección del tratamiento basándose en los resultados derivados de la caracterización de los lodos, el tratamiento 3 fue el mejor para satisfacer los valores requeridos para cada parámetro relevante. En este proyecto, se optó por emplear 15% de lodo residual y 850 g de tierra, los cuales proporcionan un significativo contenido de carbono como fuente de nutrición para los microorganismos responsables de la descomposición de la materia orgánica. Estos materiales son fácilmente accesibles en la PTAR Ibarra y no demandan una preparación extensa y los resultados de la planta cumplen con la normativa.

### 5.4.2. Factibilidad técnica

La viabilidad técnica de este proyecto de investigación es respaldada por la disponibilidad de los recursos requeridos para llevar a cabo su implementación, los cuales son suministrados por instituciones comprometidas con la prevención del impacto ambiental y la contaminación en nuestra región. Este respaldo constante de recursos permite abordar de manera efectiva los desafíos asociados con el tratamiento ambiental.

En particular, el tratamiento T3, que involucra el uso del 15% de lodo residual y 850 g de tierra, se revela como una opción prometedora. No solo demuestra su capacidad para propiciar el crecimiento de girasoles, sino que también presenta un potencial valioso en términos de sostenibilidad y mitigación ambiental. Este enfoque podría ser considerado como una alternativa significativa en la gestión de residuos, promoviendo simultáneamente la productividad agrícola y la reducción del impacto ambiental en nuestra región.

La elección del método implicó examinar las variables presentes en dicho proceso, con el objetivo de contribuir de manera efectiva a la sostenibilidad ambiental y económica. Esto involucró la evaluación de alternativas, analizando su rendimiento mediante diversos criterios de referencia, como se detalla en la tabla, que considera los factores relevantes para la selección del sistema de abono.

**Tabla 17.**

*Criterios para el manejo del plan de residuos solidos*

| Criterios | Justificación |
|---|---|
| **Costos y recursos** | La utilización del 15% de lodo residual junto con 850 g de tierra minimiza el presupuesto necesario para el proyecto. |
| **Mano de obra** | La proporción establecida permite una gestión eficiente de la mano de obra, optimizando el uso de recursos humanos. |
| **Tiempo empleado** | La combinación de lodo residual y tierra permite aprovechar recursos en un tiempo reducido, evitando la necesidad de instalaciones especializadas para el almacenaje. |
| **Eficiencia** | Estimar las cantidades necesarias de material inicial asegura una transformación eficiente en un producto de alta calidad. |

| | |
|---|---|
| **Disponibilidad de espacio** | El espacio suficiente cerca del lugar de recepción de materias primas minimiza costos de transporte y alquiler de terreno. |
| **Peligrosidad** | El manejo y control adecuado aseguran el cumplimiento de regulaciones sobre emisiones, olores, plagas y enfermedades, garantizando la seguridad ambiental. |
| **Facilidad de control** | La disposición de control de variables permite supervisar el avance del proceso y detectar posibles fallos en tiempos estimados. |
| **Facilidad de mantenimiento** | La factibilidad de asepsia en el lote de proceso y la limpieza de maquinaria aseguran la prevención de contaminación, facilitando el mantenimiento del equipo. |
| **Disponibilidad de materiales** | La facilidad de adquisición de materiales iniciales garantiza el cumplimiento de fechas de entrega del producto final, asegurando continuidad en la producción. |

Fuente: (Marín, 2019)

Según Piedra (2020) una opción accesible y económicamente factible implica la utilización de lodos residuales en actividades forestales y ornamentales. La composición fisicoquímica de estos lodos ofrece la oportunidad de aprovechar la presencia de macro y micronutrientes fundamentales para el crecimiento de las plantas. En el ámbito de las actividades ornamentales, la aplicación de lodos residuales ha demostrado ser beneficiosa para la generación de una extensa gama de plantas destinadas a esta práctica. La incorporación de estos lodos mejora las características físicas, químicas y las funciones biológicas del suelo, gracias al contenido de carbono orgánico presente en ellos. Utilizar lodos residuales como agentes de remediación del suelo, posibilita el reciclaje de nutrientes, reduciendo la dependencia de fertilizantes comerciales en las áreas de cultivo.

### 5.4.3. Análisis de mercurio, plomo y cadmio

Los resultados, suministrados por el Centro de Estudios aplicados en química de la PUCE Sede Quito (CESAQ), revelan que el análisis de las hojas de los girasoles que fueron sembrados con lodo residual y tierra cumplen con los estándares establecidos.

**Tabla 18.**

*Análisis metales pesados mercurio, cadmio y plomo*

| **Análisis Hg** | | | | |
|---|---|---|---|---|
| **Muestra** | **Lectura muestra (ng/L)** | **Resultado muestra (mg/L)** | **Rango lineal de trabajo (mg/L)** | **Resultados (µg/kg)** |
| T0 | 1,438 | <0,008 | 0,008-0,08 | 28.76 |
| T1 | 0,699 | <0,008 | | 13.98 |
| T2 | -4,809 | <0,008 | | -96.18 |
| T3 | 7,682 | <0,008 | | 153.64 |
| **Análisis Cd** | | | | |
| **Muestra** | **Lectura muestra (µg/L)** | **Resultado muestra (mg/L)** | **Rango lineal de trabajo (mg/L)** | **Resultados (µg/kg)** |
| T0 | -0,126 | < 0,0005 | 0,0005-0,004 | -2.52 |
| T1 | 0,169 | < 0,0005 | | 3.38 |
| T2 | -0,055 | < 0,0005 | | -1.1 |
| aT3 | 0,722 | < 0,0005 | | 14.44 |
| **Análisis Pb** | | | | |
| **Muestra** | **Lectura muestra (µg/L)** | **Resultado muestra (mg/L)** | **Rango lineal de trabajo (mg/L)** | **Resultados (µg/kg)** |
| T0 | 1,25 | < 0,005 | 0,005-0,04 | 25 |
| T1 | 2,391 | < 0,005 | | 47.82 |
| T2 | 3,097 | < 0,005 | | 61.94 |
| T3 | 3,221 | < 0,005 | | 64.42 |

**Fuente:** (CESAQ, 2024)

**Análisis**

Los análisis de mercurio (Hg), cadmio (Cd) y plomo (Pb) realizados en las muestras, revelan lecturas por debajo de los límites de detección establecidos para cada elemento, lo que sugiere niveles muy bajos o incluso indetectables en las muestras. Se obtuvo <0,008 mg/L de mercurio, < 0,0005 mg/L para cadmio y plomo. Según la normativa ambiental establecida en el Anexo 2 del libro VI del texto unificado de legislación secundaria del Ministerio del Ambiente, los niveles aceptables de mercurio son de 0,1 mg/kg, de cadmio 0,5 mg/kg, y de plomo 1 mg/kg.

Este hallazgo indica que las muestra dieron lecturas menores al rango lineal de trabajo (curva de calibración) por lo que se ha reportado menor al límite de cuantificación. No se puede asegurar que los componentes estén presentes en la muestra, ya que están en menores concentraciones al menor punto de la curva de calibración. Sin embargo, es crucial continuar vigilando y monitoreando estos elementos de forma regular, dado su potencial impacto tóxico en el medio ambiente y la salud humana. Este análisis subraya la importancia de mantener estrictos protocolos de control de calidad y gestión ambiental para prevenir la acumulación y la exposición a niveles peligrosos de metales pesados en diversos entornos.

### 5.4.4. Recomendaciones para el plan de manejo de lodos residuales

**Análisis de resultados y viabilidad**

- Evaluar los resultados analíticos de la PTAR para determinar la composición y características de los lodos.
- Comparar las características de los lodos con la normativa vigente sobre uso agrícola de lodos.
- Verificar la factibilidad técnica y económica de la propuesta, teniendo en cuenta los resultados del análisis.

**Acondicionamiento de los lodos**

- Implementar un proceso de estabilización y deshidratación para reducir la humedad y materia orgánica.
- Ajustar el pH, conductividad eléctrica y contenido de nutrientes de los lodos para cumplir con la normativa.

**Mezcla y elaboración del abono**

- Seleccionar un sustrato adecuado (compost, turba, arena) para mezclar con los lodos.
- Ajustar la proporción de mezcla para obtener un abono con 15% de lodos y características óptimas.

**Aplicación del abono en el cultivo de girasol**

- Definir la dosis, momento y forma de aplicación del abono considerando las necesidades del cultivo (dentro del rango investigado)

- Capacitar a los agricultores sobre las prácticas adecuadas de aplicación del abono.

**Monitoreo y evaluación del cultivo**

- Realizar un seguimiento del desarrollo y crecimiento del cultivo de girasol.
- Evaluar el impacto del abono en el rendimiento, calidad del suelo y otros indicadores relevantes.

## DISCUSIÓN

El propósito de esta investigación fue desarrollar una propuesta para la gestión de lodos residuales producidos en la planta de tratamiento PTAR Ibarra, este estudio es valioso al generar estrategias eficientes y sostenibles que cumplan con las normativas ambientales vigentes. Se abordaron aspectos clave como la composición de lodo residual mezclado con tierra para su posterior análisis fisicoquímico, nutrientes, metales pesados, microbiología y toxicología del proceso estudiado. A continuación, se discuten los principales hallazgos de este estudio.

Durante la fase de campo, al llevar a cabo la siembra de girasoles, se determinó que esta práctica constituye una opción viable y beneficiosa para la utilización del lodo residual. En la investigación de Martínez et al. (2020), evaluó el potencial de los biosólidos producidos en la PTAR Rafey, para su uso como fertilizantes agrícolas. Los resultados mostraron cambios significativos en el grosor del tallo, la altura y el tamaño de la mazorca del maíz después de 30 días los biosólidos, lo que representa que tienen características óptimas para este fin, mejorando el crecimiento y la producción de cultivos como el maíz. Así mismo, Apaza & Quirita (2020) evaluaron la eficacia del biosólido de la PTAR La Escalerilla en Perú, como abono para el cultivo de Mioporo. Para ello, se cultivaron en cuatro muestras de sustrato, con diferentes proporciones de tierra agrícola y biosólido. Los resultados mostraron que los plantones que se cultivaron en la muestra con 70% de tierra agrícola y 30% de biosólido, alcanzaron los mayores valores de la medida de la planta, cantidad de hojas y número de ramificaciones.

En cuanto a los resultados del análisis del lodo residual de la PTAR Ibarra, el estudio se centró en comprobar si la planta considerada absorbe de manera significativa y fuera de los rangos permisibles los metales tóxicos que se encuentran declarados en los protocolos de análisis, independientemente de que no se alcancen los máximos permisibles en este tipo de plantas de tratamiento, esto es, una investigación típicamente ambiental. En la preparación de los suelos para el experimento se usaron 5, 10, 15%. Los niveles de arsénico y cadmio en el

lodo base seco cumplen con los límites establecidos de 75 mg/kg y 85 mg/kg, respectivamente, así también los resultados de plomo mercurio son inferiores siendo menores a 0,0005 resultados microbiológicos estuvieron dentro de los parámetros permitidos por las normativas vigentes. Estos resultados comparados con los de Bastidas-Chávez et al. (2019), los lodos de tuvieron concentraciones de níquel y cromo muy por debajo de los límites establecidos por las normativas NOM-004-SMART-2002 y A.M. 097. Estos hallazgos sugieren que los lodos son seguros para su uso en prácticas agrícolas, cumpliendo con los estándares establecidos en las regulaciones aplicables.

En el ámbito de los análisis fisicoquímicos, se observó que el pH osciló en un rango de 6 a 7. Respecto a la conductividad eléctrica, se registró el valor más elevado en el tratamiento T3, alcanzando 743 µs/cm, mientras que el valor mínimo se observó en el grupo de control con una medida de 331 µs/cm. En relación con la materia orgánica, el tratamiento de control exhibió la cifra más alta, registrando 10,09 %, seguido por el tratamiento T2, que presentó un valor de 9,07 %. Los resultados obtenidos indican valores inferiores en cuanto al pH y la conductividad en comparación con el estudio de Narváez-Ortiz et al. (2013), en dicho estudio, se observó un pH con un valor superior de 8 y una conductividad de 208 µS/cm, contrastando con los datos actuales, por otro lado, la materia orgánica en la investigación de Apaza & Quirita (2020) fue de 36,11%.

En el análisis de nutrientes, se evidenció que el tratamiento T3 presentó valores significativamente más altos. El contenido de amonio alcanzó 2,07, el fósforo registró 2,82 ppm, y el potasio exhibió un valor destacado de 20,9 ppm. Sin embargo, es relevante comparar estos resultados con la investigación de Plasencia (2023), quien obtuvo valores aún mayores en nutrientes, con un contenido de fósforo de 5 y potasio de 32 ppm. Este contraste ofrece una perspectiva adicional sobre la variabilidad de los nutrientes en diferentes tratamientos o condiciones. A su vez, contrastando con los hallazgos de Apaza & Quirita (2020), donde se observaron niveles considerablemente más elevados, con un contenido de fósforo de 1038 ppm y potasio de 4800 ppm.

En los metales pesados se destacan las siguientes concentraciones T1 tuvo la menor cantidad de plomo con 7,78 µg/kg; T0 registró 0,96 µg/kg de mercurio, seguido por T3 con 1,66 µg/kg; en cadmio, T0 presentó la concentración más baja con 0,13 µg/kg, seguido de T2 con 0,16 µg/kg; y en arsénico, T0 mostró 0,44µg/kg, seguido por 0,53µg/kg. En comparación, la investigación de Bardales & Cruzado (2022) reportó valores más altos, con concentraciones

de plomo 400mg/kg, mercurio de 17 mg/kg cadmio 40 mg/kg y arsénico de 40mg/kg. Estas diferencias pueden deberse a diversas condiciones ambientales, prácticas agrícolas, o factores específicos de cada estudio y de cada Planta de Tratamiento

Los resultados microbiológicos determinaron la cantidad de *E. coli* presentes en la mezcla teniendo el T2 la menor concentración de 8 UFC, Los investigadores Ayala et al. (2022) y Chacaltana & Scaramutti (2022) por su parte al realizar estudios en mezclas de lodo para el uso en cultivos presentaron valores dentro del rango permitido de *Escherichia coli* < 100 NMP/ 1g ST.

Finalmente, los resultados toxicológicos indicaron que la combinación de lodo con tierra inhibe ligeramente la división celular. En la investigación de Luna (2020), al utilizar el mismo método, observó que las diluciones más bajas, específicamente del 5%, 10% y 15%, no mostraron anomalías cromosómicas (AC). En el caso de la dilución del 25%, se registraron pocas AC, mientras que la incidencia más significativa se observó en la dilución del 50%. Además, sugirió que la inclusión de la prueba de crecimiento de la raíz de cebolla debería ser considerada como parte integral del programa de evaluación de toxicidad del efluente, antes de autorizar su descarga en el medio acuático.

El crecimiento celular y el efecto del lodo resalta la importancia de considerar la complejidad de este último y sus posibles impactos. Más allá de la presencia de metales, diversos componentes orgánicos como bacterias, virus y otros microorganismos pueden incidir en la división celular de maneras variadas (Uvillus, 2020). Es fundamental analizar con detalle el contenido de materia orgánica en el lodo para comprender su influencia en el crecimiento celular. Se ha observado que la materia orgánica puede tener efectos tanto beneficiosos como perjudiciales, dependiendo de su composición y concentración. Algunos compuestos orgánicos, como los ácidos húmicos y fúlvicos, pueden estimular el crecimiento celular al proporcionar nutrientes y cofactores esenciales. Otros, como los compuestos aromáticos policíclicos (PAHs), pueden ser tóxicos para las células y afectar su viabilidad (Rodríguez-Gonzales et al., 2022).

# CAPÍTULO VI

## CONCLUSIONES

- Los análisis físico-químicos del lodo residual base seco indican que cumple con los estándares establecidos para diversos parámetros, respaldando su calidad. los tratamientos aplicados a la mezcla de lodo residual y tierra exhiben características físico-químicas favorables para su implementación en siembra. El análisis del pH indica un manejo adecuado, con valores dentro de los parámetros aceptables (T0: 7.147, T1: 6.714, T2: 6.661, T3: 6.377). La conductividad eléctrica muestra un aumento progresivo de T0 a T3, destacando el suelo alcalino en T3.
- La mezcla de lodo residual y tierra en diferentes proporciones muestra una reducción significativa de *E. coli,* siendo más efectiva en el tratamiento T2 con un 10% de lodo. Los coliformes totales se mantienen controlados en todos los tratamientos. Estos resultados respaldan la viabilidad de utilizar la mezcla como un sustrato microbiológicamente controlado para la siembra.
- El análisis toxicológico mediante el uso de bulbos de *Allium Cepa* como agente de prueba revela una ligera disminución en las fases de la mitosis celular en presencia de lodos residuales. La observación detallada indica que el incremento en la concentración de lodo fuera de los límites empleados, presumiblemente puede inhibir el proceso de división celular. Este último efecto sugiere posibles consecuencias disruptivos o inhibidores asociados con la presencia de lodo. Estos resultados toxicológicos resaltan la importancia de gestionar cuidadosamente la aplicación de lodos residuales, considerando su impacto potencial en los procesos celulares y ambientales.
- La propuesta de manejo de lodos residuales se fundamenta en los resultados de la fase de campo, donde la siembra de girasoles demostró un desarrollo saludable, especialmente en el tratamiento T3 con un 15% de lodo. La fase de laboratorio destaca que este tratamiento cumple con los estándares de calidad y muestra concentraciones significativas de nutrientes beneficiosos para el crecimiento de las plantas. La selección del tratamiento T3, con un 15% de lodo y 850 g de tierra, se respalda por su viabilidad técnica, eficiencia en costos, y su potencial en la promoción de la sostenibilidad ambiental.

# CAPÍTULO VII

# RECOMENDACIONES

- Considerando la variabilidad en las concentraciones de materia orgánica, se recomienda ajustar la proporción de lodo residual y tierra en futuros tratamientos para optimizar la carga orgánica del suelo, asegurando un equilibrio apropiado para favorecer el crecimiento de las plantas.
- Considerando los resultados analizados, la mezcla de lodo residual y tierra presenta potencial como alternativa para la siembra de girasol. Los niveles adecuados de pH en todos los tratamientos sugieren un manejo adecuado en este aspecto específico del tratamiento de lodos. Además, el aumento progresivo en la conductividad eléctrica, particularmente en el tratamiento T3, podría indicar una mejora en la accesibilidad de nutrientes fundamentales para el desarrollo de las plantas.
- A pesar de que todos los tratamientos se mantienen dentro de los límites permitidos para metales pesados, se recomienda realizar un seguimiento continuo de estos contaminantes en futuros ciclos de siembra para garantizar la sostenibilidad a largo plazo y minimizar cualquier acumulación potencial en el suelo. Dado que el aumento de la conductividad eléctrica es un aviso para tener en consideración la posible salinización de los suelos, con aplicaciones incontroladas del lodo.
- Se recomienda realizar estudios agronómicos a una escala mayor, en el rango de lodos estudiado, para comprobar el comportamiento de la planta en todos sus estados fenológicos. Estudios a mayor escala proporcionarían una visión más completa de los efectos del lodo en la producción agrícola y permitirán evaluar de manera más precisa su impacto en el suelo, los cultivos y el medio ambiente circundante, con vistas a su generalización.

# CAPÍTULO VIII

# REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS


Aguilar-Benitez, I., & Blanco, P. A. (2018). Recuperación de metano y reducción de emisiones en PTAR Nuevo Laredo, Tamaulipas, México. *Tecnología y ciencias del agua*, *9*(2), 86-114. https://doi.org/10.24850/j-tyca-2018-02-04

Alania, J., & Inga, E. (2022). *Efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda sobre suelos agrícolas erosionados y su rendimiento en el cultivo de Raphanus Sativus (rabanito), en Carapongo-Lurigancho* [Tesis de pregrado, Universidad Peruana Unión]. http://hdl.handle.net/20.500.12840/5588

Aldana, A. J. A., & Pérez, R. A. P. (2017). *Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio: Planta de tratamiento de agua potable de El Espinal—Tolima*. Tesis de pregrado, Universidad de la Salle.

Ambulkar, A., & Nathanson, J. (2023). *Wastewater treatment*. Encyclopedia Britannica. https://www.britannica.com/technology/wastewater-treatment

Apaza, A. F., & Quirita, J. C. (2020). *Efectos del biosólido de la PTAR La Escalerilla como abono en el cultivo de plantones de Mioporo (Myoporum laetum)—Arequipa 2019* [Tesis de pregrado, Universidad Técnologica de Perú]. http://repositorio.utp.edu.pe/handle/20.500.12867/3801

Ayala, S. M., Milla Zacarías, D. M., & Montero Chávez, D. N. (2022). *Higienización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas de Manchay, y su uso como insumo de cultivo en el año 2021* [Tesis de pregrado,Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/12235

Azcárate, P., Baglioni, M., Brambilla, C., Brambilla, E., Fernández, R., Kloster, N., Noellemeyer, E., Ostinelli, M., & Pérez, M. (2017). *Métodos de análisis e*

*implementación de Calidad en el Laboratorio de Suelos* (EDICIONES INTA). https://ri.conicet.gov.ar/bitstream/handle/11336/68416/CONICET_Digital_Nro.dce6dd46-c299-430c-b97b-7b2efba859d4_A.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Baquero, L., & Murillo, C. (2019). *Evaluación de la producción de biogás mediante digestión anaerobia a partir de lodos residuales de la PTAR Villas del Nuevo Siglo, en la Mesa-Cundinamarca* [Tesis de pregrado, Universidad de America]. http://hdl.handle.net/20.500.11839/7613

Bardales, J., & Cruzado, D. (2022). *Propuesta de generación de biosólidos con aguas residuales provenientes de la mina de carbón Piñipata para su uso en la agricultura en la provincia de Hualgayoc* [Tesis de licenciatura, Universidad Privada del Norte]. https://hdl.handle.net/11537/30190

Bastidas-Chávez, P. I., Chuquitarco-Moreno, P. A., & Moreno, P. (2019). Análisis químico y de peligrosidad de lodos del sistema de tratamiento de aguas residuales en la industria de palma. *FIGEMPA: Investigación y Desarrollo*, *8*(2), Article 2. https://doi.org/10.29166/revfig.v1i2.1726

Beltran, J. A., & Paz, J. D. (2016). *Evaluación ecotóxica de un reactor de lodos activados para el tratamiento de aguas residuales hospitalarias* [Tesis de pregrado, Universidad de Nariño]. https://sired.udenar.edu.co/7928/

Beltrán-Pineda, M. E., & Gómez-Rodríguez, A. M. (2016). Biorremediación de metales pesados cadmio (Cd), cromo (Cr) y mercurio (Hg), mecanismos bioquímicos e ingeniería genética: Una revisión. *Revista Facultad de Ciencias Básicas*, *12*(2), Article 2. https://doi.org/10.18359/rfcb.2027

Broche, N. (2020). *Caracterización físico-química y microbiológica de lodos residuales y propuesta de tratamiento con CBQ-Biorrem®*. Tesis de diplomado, Universidad Central «Marta Abreu» de las Villas.

Caballero, G. J. (2022). *Disposición final de los lodos de una planta depuradora de aguas residuales como fertilizante organico* [Tesisi de pregrado, Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión]. https://repositorio.unjfsc.edu.pe/handle/20.500.14067/5744

Calderón, M. (2018). *Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las plantas de tratamiento de aguas residuales de Sedapal* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Federico Villarreal]. https://repositorio.unfv.edu.pe/handle/20.500.13084/2708

Castro, D. M. (2022). *Efectos de tres diluciones de microorganismos eficientes en la calidad del compost utilizando lodos de la PTAR Cajabamba—2019* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Cajamarca]. http://hdl.handle.net/20.500.14074/5199

Chacaltana, F. S., & Scaramutti, S. C. (2022). *Efecto de lodos de una PTAR tratados por vermicompostaje en el cultivo de phaseolus lunatus* [Tesis de pregrado, Universidad Cesar Cevallos]. https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/110872

Cristancho, D. L., Gámez, W., & Guerra, J. A. (2019). Estimación de los gases efecto invernadero generados por las plantas de tratamiento de aguas residuales ubicadas en la cuenca del río Bogotá. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, *18*(34), 25-44. https://doi.org/10.22395/rium.v18n34a2

Delgado, K., & Riofrio, H. (2020). *Propuesta de tratamiento para los lodos generados en la PTAR Tereré de la ciudad Tena mediante la caracterización físico-química y microbiológica de los mismos* [Tesis de pregrado, Universidad Estatal de la Amazonia]. https://repositorio.uea.edu.ec/handle/123456789/820

Domínguez, V. (2021). *Eficiencia técnica y costo – eficiencia del vermicomposteo comparada con la estabilización aerobia y anaerobia de lodos residuales en México* [Tesis de

maestria, Universidad Autonoma Metropolitana Azcapotzalco]. http://zaloamati.azc.uam.mx//handle/11191/8744

EMAPA. (2017). *Planta de tratamiento de aguas residuales ibarra*.

Espinoza, J. J. (2022). *Innovación en la gestión de lodos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales de origen doméstico en Lima-Perú* [Tesis de maestria, Universidad Mayor de San Marcos]. https://hdl.handle.net/20.500.12672/18947

González, A., Pérez, U., López, X., Garcia, A., & Lopez-Mier, L. (2017). *EDAR de Ibarra, Ecuador*. FuturEnviro.

Gualoto, J. J. (2017). *Propuesta de Gestión de Lodos Residuales Municipales. Caso de Estudio: Planta de Tratamiento de Agua Residual de la Parroquia Rural de Nono* [bachelorThesis, Quito, 2017.]. http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17066

Luna, C. F. (2020). *Evaluación de la contaminación generada por el agua residual textil vertida al río Atoyac en Tlaxcala* [Tesis de maestría, Benemérita Universidad Autónoma de Puebla]. https://ecosistema.buap.mx/ecoBUAP/handle/ecobuap/3025

Marín, D. (2019). *Propuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR del municipio de Sopó Cundinamarca para la producción de un fertilizante órgano-mineral* [Tesis de pregrado, Fundación Universidad de América]. http://hdl.handle.net/20.500.11839/7393

Martínez, A. de J., Castillo Jáquez, J. del carmén, Rodríguez Núñez, V. A., & Orgaz Agüera, F. (2020). Aprovechamiento de los biosólidos procedentes de plantas de tratamiento de aguas urbanas en agricultura. Estudio de caso en República Dominicana. *DELOS: Desarrollo Local Sostenible*, *13*(37), 12.

Miranda, L. M. (2021). *Estudio del potencial degradativo de hongos lignocelulolíticos sobre corteza de pino y su efecto en la producción de Bocashi.* [Tesis de pregrado,

Escuela Superior Politécnica de Chimborazo]. http://dspace.espoch.edu.ec/handle/123456789/15828

Montes, M., & Menéndez, A. (2010). *El problema de la gestion de lodos en EDARs.pdf*. https://digital.csic.es/bitstream/10261/95474/1/El%20problema%20de%20la%20gestion%20de%20lodos%20en%20EDARs.pdf

Narváez-Ortiz, W. A., Benavides-Mendoza, A., Robledo-Torres, V., & Mendoza-Villarreal, R. (2013). Efectividad del lodo textil en la producción y composición química del fruto de tomate. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, *4*(1), 129-141.

Ortiz, S. (2021). *Estudio de la aplicación de los procesos fotocatalíticos para la remoción de metales pesados presentes en aguas residuales industriales* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abieta y a Distancia]. http://repository.unad.edu.co/handle/10596/42632

Pérez, E., & Alvarado, D. (2018). Cuantificación por absorción atómica de Cu, Fe y Zn en alcohol destilado y agua. *UNED Research Journal*, *10*(2), Article 2. https://doi.org/10.22458/urj.v10i2.1998

Pérez, I. A., & Mejía, Y. F. (2021). *Alternativa de tratamiento de aguas residuales para hoteles campestres en el departamento de Santander* [Tesis de pregrado, Universidad Libre]. http://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/23939

Piedra, Á. I. (2020). *Propuesta para el manejo de lodos residuales de la planta de tratamiento de la empresa Fabrinorte, cantón Otavalo* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica del Norte]. http://repositorio.utn.edu.ec/handle/123456789/10593

Pineda-Buitrago, L. L. (2017). *Diagnóstico de la planta de tratamiento de agua residual (PTAR) de Tunja—Boyacá* [Tesis de pregrado, Universidad Catolica de Colombia]. http://hdl.handle.net/10983/14554

Plasencia, G. A. (2023). *Propuesta para el reaprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en la producción de un sustrato para beneficio de la flora del distrito de Nuevo Chimbote* [Tesis de pregrado, Universidad Privada del Norte]. https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/34270

Rodríguez, Y. (2016). *Estudio preliminar de lotes con diferente historial de incorporación de biosólidos provenientes de la PTAR El Salitre en la escombrera El Corzo, Bogotá* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional]. https://redcol.minciencias.gov.co/vufind/Record/UNACIONAL_9ee7c7c3f01a6ef25d4b25b43c043711

Rodríguez-Gonzales, A., Zárate-Villarroe, S. G., Bastida-Codina, A., Rodríguez-Gonzales, A., Zárate-Villarroe, S. G., & Bastida-Codina, A. (2022). Biodiversidad bacteriana presente en suelos contaminados con hidrocarburos para realizar biorremediación. *Revista de Ciencias Ambientales*, *56*(1), 178-208. https://doi.org/10.15359/rca.56/1.9

Sánchez, A. (2023). *Caracterización del contenido en nutrientes y metales pesados en lodos provenientes de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Ambato (PTAR).* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato]. https://repositorio.uta.edu.ec/jspui/handle/123456789/37957

Saravia, G. A. (2017). *Gestión y manejo de residuos sólidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Chilpina Sedapar S.A– Provincia de Arequipa – Departamento de Arequipa* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín]. http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/5333

UNESCO. (2019). *Informe Mundial de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos 2019: No dejar a nadie atrás*. UNESCO. https://www.acnur.org/5c93e4c34.pdf

US-EPA. (1996). *40 CFR Part 503—STANDARDS FOR THE USE OR DISPOSAL OF SEWAGE SLUDGE*. LII / Legal Information Institute. https://www.law.cornell.edu/cfr/text/40/part-503

Uvillus, E. D. (2020). *Elaboración de una guía de seguimiento y control ambiental de las plantas de tratamiento de agua residual del cantón mejía provincia de pichincha.* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi]. http://localhost/handle/27000/6673

Valenzuela, E. C. (2019). *Aplicación de lodos activados en un suelo contaminado con arsénico, cultivado con Avena sativa L., en el Distrito de Orcotuna, Concepción 2016* [Tesis de pregrado, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/5489

Wijesekara, H., Bolan, N. S., Kumarathilaka, P., Geekiyanage, N., Kunhikrishnan, A., Seshadri, B., Saint, C., Surapaneni, A., & Vithanage, M. (2016). Chapter 3—Biosolids Enhance Mine Site Rehabilitation and Revegetation∗. En M. N. V. Prasad & K. Shih (Eds.), *Environmental Materials and Waste* (pp. 45-71). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00003-2

Yan, S., Sellamuthu, B., Tyagi, R., & Surampalli, R. (2009). Wastewater Sludge Characteristics. En *Sustainable Sludge Management: Production of Value Added Products* (pp. 6-36 (31 pages)). https://doi.org/10.1061/9780784410516.ch02

# ANEXOS

***Anexos A.*** Fase de campo



***Fotografía 1:*** Toma de muestras del lodo residual de la PTAR Ibarra.



***Fotografía 2:*** Siembra de girasoles con lodo residual y tierra a diferentes dosis.

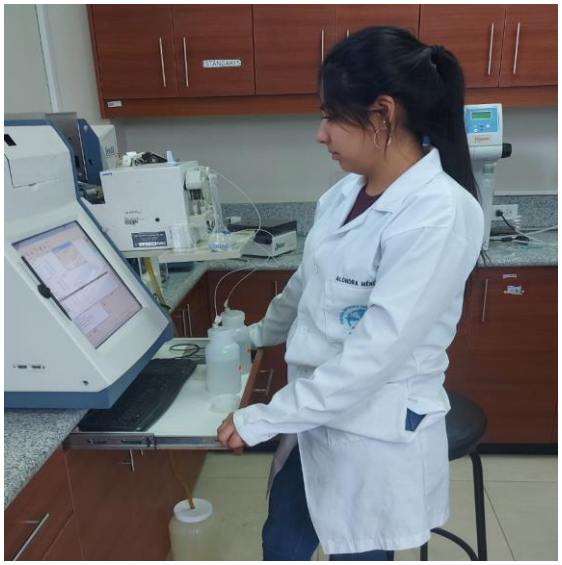


***Fotografía 3:*** Toma de muestras de las hojas de girasoles para el respectivo análisis.

***Anexos B.*** Fase de Laboratorio



***Fotografía 4:*** Análisis fisicoquímicos del lodo residual y tierra.



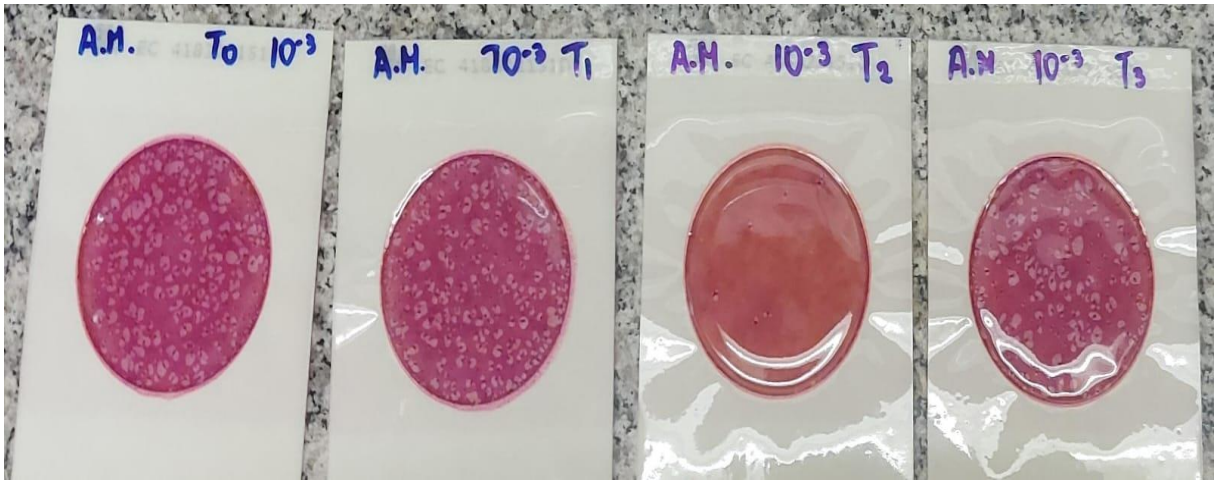
***Fotografía 5:*** Análisis de metales pesados del lodo residual y tierra con absorción atómica.



***Fotografía 6:*** Análisis toxicológico del lodo residual y tierra.



***Fotografía 7:*** Extracción de la muestra para respectivo análisis.




***Fotografía 7:*** Análisis microbiológico del lodo residual y tierra.

***Anexos C.*** Certificado de Cumplimiento PTAR

Ibarra, 15 de febrero del 2024

Ing. Milton Giovani Rivadeneira Paz

DIRECTOR PTAR IBARRA

**CERTIFICA:**

Que, la señorita ALONDRA ESTEFANÍA MÉNDEZ ZAMBRANO, con cédula de identidad N° 1724433931, estudiante de la carrera de Ingeniería Ambiental de la Pontificia Universidad Católica del Ecuador, ha realizado el trabajo de investigación: *"PROPUESTA DE MANEJO DE LODOS RESIDUALES GENERADOS EN LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE LA CIUDAD DE IBARRA"*, correspondiente a su titulación universitaria, en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) de la Empresa Pública de Agua Potable y Alcantarillado (EMAPA), el mismo que lo realizó de manera satisfactoria durante el período de los noventa días.

Es todo cuanto puedo certificar en honor a la verdad.

(f).....

Ing. Milton Giovani Rivadeneira Paz

C.C.: 1001223039