

# UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental



*Una Institución Adventista*

## **Efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda sobre suelos agrícolas erosionados y su rendimiento en el cultivo de *Raphanus Sativus* (rabanito), en Carapongo-Lurigáncho**

Tesis para obtener el Título Profesional de Ingeniero Ambiental

### **Autor:**

Jhon Gustavo Alania Aquino

Estefani Pamela Inga Gutarra

### **Asesor**

Ph.D. Alex Ruben Huaman De La Cruz

**Lima, 10 de junio de 2022**

## DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DE TESIS

Alex Rubén Huaman De La Cruz, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que la presente investigación titulada: **“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”** constituye la memoria que presenta los Bachilleres Estefani Pamela Inga Gutarra y Jhon Gustavo Alania Aquino para obtener el título de Profesional de Ingeniero Ambiental, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente declaración en la ciudad de Lima, a los 05 días del mes de julio del año 2022.



---

PhD. Alex Rubén Huaman De La Cruz

## ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 10 días día(s) del mes de Junio del año 2022 siendo las 08:30 horas, se reunieron en modalidad virtual u online sincrónica, bajo la dirección del Señor Presidente del Jurado: **Mg. Jackson Edgardo Perez Carpio**, el secretario: **Ing. Orlando Alan Poma Porras**, y los demás miembros: **Mg. Joel Hugo Fernández Rojas** y la **Mg. Milda Amparo Cruz Huaranga**, y el asesor, **Dr. Alex Rubén Huamán De la Cruz**, con el propósito de administrar el acto académico de sustentación de la tesis titulada: "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"

de el(los)/a(las) bachiller(es): a) **ESTEFANI PAMELA INGA GUTARRA**

..... b) **JHON GUSTAVO ALANIA AQUINO**.....

conducente a la obtención del título profesional de **INGENIERO AMBIENTAL**

(Nombre del Título profesional)

con mención en.....

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al (los)/a(la)(las) candidato(a)s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el(los)/a(las) candidato(a)s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato (a): ..... **ESTEFANI PAMELA INGA GUTARRA** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A -	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

Candidato (b): ..... **JHON GUSTAVO ALANIA AQUINO** .....

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	18	A -	MUY BUENO	SOBRESALIENTE

(\*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del Jurado invitó al(los)/a(la)(las) candidato(a)s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

\_\_\_\_\_  
Presidente  
Mg. Jackson Edgardo  
Pérez Carpio



\_\_\_\_\_  
Secretario  
Ing. Orlando Alan  
Poma Porras

\_\_\_\_\_  
Asesor  
Dr. Alex Rubén  
Huamán De la Cruz

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Joel Hugo  
Fernández Rojas

\_\_\_\_\_  
Miembro  
Mg. Milda Amparo  
Cruz Huaranga

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (a)  
Estefani Pamela

\_\_\_\_\_  
Candidato/a (b)  
Jhon Gustavo

## **Dedicatoria**

*A Dios, por su compañía y cuidado en cada etapa del proyecto. A mis padres Guillermo Alania y Ayda Aquino por su afecto y ser mi motivo para seguir adelante, y a mis compañeros por todas las anécdotas compartidas.*

Jhon Gustavo Alania Aquino

*A mi querido Dios por cuidarme, protegerme y guiarme en cada paso de la vida. A mis amados padres, Cerapio y Yeni, por su sustento, sacrificio y motivación en cada paso de la vida. A mis hermanos Beto, Carlos, Gianina por el cariño y apoyo, a mi abuelita Victoria por ser mi inspiración a seguir adelante y a Gruver por su apoyo y motivación de perseverancia cada día. Finalmente a mis amigos por asesorarme y apoyarme con sus experiencias. Esto es posible gracias a ustedes*

Estefani Pamela Inga Gutarra

## **Agradecimientos**

Gratitud a nuestro Dios por su protección y dirección en el presente proyecto, por permitir culminar este trabajo y lograr esta meta.

Agradecemos a nuestros padres, por su cariño, apoyo y confianza ante las adversidades y soporte económico, a nuestros hermanos, por brindarnos palabras de ánimo y consejos de perseverancia.

Para nuestros asesores, el PhD. Alex Huaman y Lic. Gina Tito, porque bajo su orientación, supervisión, tiempo y paciencia guiaron nuestras ideas y las convirtieron en realidad mediante este proyecto de suma importancia para nuestro crecimiento profesional. A los dictaminadores por sus correcciones nos llevaron a perfeccionar en el tema.

Igualmente, expresamos agradecimiento a las personas que nos brindaron su asistencia y autorización a la PTAR de Santa Clara especialmente a los responsables Ing. Maria Vargas e Ing. Marco Pinchi, y por su aporte económico a Victor Saldaña.

Finalmente, agradecidos a todos nuestros docentes, personal universitario y amigos por acompañarnos en este deseo de conseguir un logro más profesionalmente. Gracias a todos que contribuyeron y confiaron en la culminación de la tesis. Gracias de nuevo.

## Índice General

Dedicatoria .....	4
Agradecimientos.....	5
Simbología .....	11
Resumen.....	12
Abstract.....	13
CAPÍTULO I .....	14
INTRODUCCIÓN .....	14
1.1. Planteamiento del problema .....	14
1.2. Justificación .....	16
1.2.1. Justificación tecnológica .....	17
1.2.2. Justificación social, económica y cultural.....	17
1.2.3. Justificación académica .....	18
1.2.4. Justificación teórica .....	18
1.3. Presuposición filosófica.....	18
1.4. Objetivos .....	19
1.4.1. Objetivo general.....	19
1.4.2. Objetivos específicos .....	19
CAPÍTULO II .....	21
REVISIÓN DE LA LITERATURA.....	21
2.1. Antecedentes de la investigación.....	21
2.2. Planta de Tratamiento de Agua Residual “SEDAPAL” .....	24
2.3. Procesos de Tratamiento de agua .....	24
2.4. Generación de Lodos.....	25
2.5. Procesos que generación de lodos.....	25
2.6. Lodos residuales.....	26
2.7. Composición .....	26
2.7.1. Características generales. ....	27
2.7.2. Tipos de lodos residual .....	28
2.7.3. Tratamiento de lodos .....	29
2.7.4. Secado térmico de Lodos .....	31
2.7.5. Compostaje de Lodos.....	31

2.7.6. Biosólidos .....	34
2.7.7. Composición de biosólidos .....	35
2.8. Disposición final .....	35
2.9. Aplicación de los biosólidos .....	35
2.9.1. Lodos residuales como fertilizantes .....	36
2.10. Características agronómicas de los Lodos .....	37
2.11. Acción sobre el suelo agrícola. ....	40
2.12. Riesgos derivados de lodos en el empleo agrícola.....	41
2.13. Marco legal nacional .....	47
2.13.1. Objetivos del Milenio .....	47
2.13.2. Acuerdo Nacional: El Perú hacia el 2021 .....	47
2.13.3. Plan Nacional de Acción Ambiental: 2011 -2021 .....	48
2.13.4. Ley Integral de Residuos Solidos .....	49
2.14. Marco legal internacional .....	51
2.14.1. La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2008,.....	51
2.14.2. Normativa Peruana DS. N°015-2017 .....	51
CAPÍTULO III .....	54
MATERIALES Y MÉTODO.....	54
3.1. Lugar de ejecución.....	54
3.2. Materiales de la investigación .....	55
3.3. Método experimental .....	56
3.4. Descripción del procedimiento .....	57
3.4.1. Delimitación, Muestreo y análisis pre de lodos y suelo.....	57
3.4.2. Muestreo.....	57
3.4.3. Elaboración de maceteros y recolección, preparación e incorporación de unidades experimentales .....	60
3.4.4. Recolección de datos.....	64
3.4.5. Análisis finales de los parámetros fisicoquímicos y biológicos .....	65
3.4.6. Calidad de las plantas.....	67
3.4.7. Procesamiento de datos .....	68
3.5. Variables de estudio .....	69
3.5.1. Variable independiente .....	69

3.5.2. Variables dependientes .....	69
3.6. Operacionalización de variables .....	69
Fuente: Propia.....	70
3.7. Tipo de investigación .....	70
3.8. Método de investigación .....	70
3.9. Diseño de investigación .....	71
3.10. Análisis Estadístico .....	72
CAPÍTULO IV .....	73
RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	73
4.1. Caracterización inicial de Suelo y lodos –PRE TRATAMIENTO.....	73
4.1.1. Caracterización de suelos iniciales.....	73
4.1.2. Caracterización de lodos residuales .....	73
4.1.3. Caracterización de compost .....	75
4.2. Efecto del uso de lodo compostado y lodo seco sobre las propiedades físicoquímicas en suelos agrícolas y rendimiento del Cultivo .....	76
4.2.1. Rendimiento del cultivo <i>Raphanus Sativus</i> a diferentes dosis de lodo compostado y lodo seco.....	76
4.2.2. Numero de hojas de <i>Raphanus Sativus</i> en suelo cultivado con Lodo <i>compostado</i> .....	77
4.2.3. Longitud del cultivo de <i>Raphanus Sativus</i> en suelos con lodo compostado.....	80
4.2.4. Peso de rábano (fruto) y hojas.....	82
4.3. Higienización del cultivo de <i>Raphanus Sativus</i> .....	85
CAPÍTULO V .....	86
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	86
5.1. Conclusiones .....	86
5.2. Recomendaciones .....	87
REFERENCIAS.....	88

## Índice de Tablas

Tabla 1 Clasificación de lodos.....	28
Tabla 2. Lista de tratamientos de lodos.....	30
Tabla 3. Organismos presentes en los fangos y posibles enfermedades .....	44
Tabla 4. Toxicidad de los metales pesados para formas de vida.....	46
Tabla 5. Acuerdo Nacional: Metas de cobertura .....	47
Tabla 6.PNAA: Metas de cobertura.....	48
Tabla 7.Parámetro límites en Normativa Peruana.....	53
Tabla 8.Indicadores de cumplimiento .....	53
Tabla 9. Materiales y herramientas para las fases de ejecución del proyecto.	55
Tabla 10. Descripción de mezclas y dosis total por cada tratamiento.....	63
Tabla 11. Niveles de la conductividad eléctrica del suelo .....	66
Tabla 12. Rangos del pH del suelo. ....	66
Tabla 13.Medición de variables en estudio. ....	70
Tabla 14. Características químicas de suelos Pre-Tratamiento .....	73
Tabla 15. Características químicas del lodo residual de PTAR-Santa Clara....	74
Tabla 16. Caracterización de higienización de parámetros de biosólidos .....	74
Tabla 17. Clasificación de compost de lodos .....	75
Tabla 18. Caracterizas microbiológicas en Raphanus Sativus.....	85

## Índice de Figuras

Figura 1. Esquema de tratamientos planta de Tratamiento Santa Clara.....	24
Figura 2.. Ubicación Geográfica de las zonas de investigación. Fuente: Google Earth,2019.....	54
Figura 3. Flujograma de trabajo de investigación.....	56
Figura 4. Comparacion de germinacion por tratamientos.....	76
Figura 5. Numero de hojas en plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con tierra. ....	77
Figura 6.Numero de hojas en plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con arena. ....	78
Figura 7. Numero de hojas en plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con tierra y arena. ....	79
Figura 8. Longitud total del rabano rojo, raphanis sativus L., despues de la cosecha en las distintas mezclas de biosolido compostado y tierra. Los tratamientos con diferentes letras , representan diferencias significativas.....	80
Figura 9. . Longitud total del rabano rojo, raphanus sativus L., después de la cosecha en las distintas mezclas de biosólido compostado y arena. Los tratamientos con diferentes letras, representan diferencias significativas.....	81
Figura 10. Comparacion de Alturas del cultivo de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con tierra y arena. ....	82
Figura 11.Pesos de las plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con tierra agricola.....	83
Figura 12. Pesos de las plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con arena. ....	84

## Simbología

<b>ANA</b>	Autoridad Nacional del Agua
<b>MINAM</b>	Ministerio del Ambiente
<b>DIGESA</b>	Dirección General de Salud Ambienta
<b>EPS</b>	Entidades Prestadoras de Servicio
<b>LASPAF</b>	Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes
<b>MINSA</b>	Ministerio Nacional de Salud
<b>pH</b>	Potencial de Hidrogeno
<b>PTAR</b>	Planta de Tratamiento de Agua Residual
<b>SEDAPAL</b>	Servicio de Agua Potable y Alcantarillado de Lima
<b>SEMARNAT</b>	Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales
<b>UNALM</b>	Universidad Nacional Agraria La Molina
<b>USEPA</b>	United States Environmental Protection Agency
<b>us/cm</b>	Microsiemes un micrómetro

## Resumen

. El objetivo de la investigación es evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda sobre suelos agrícolas erosionados y su rendimiento en el cultivo de *Raphanus Sativus* (rabanito), en el distrito de Carapongo-Lurigancho-Perú. Se desarrolló el diseño estadístico completamente al azar con arreglo factorial de 2x4x2, contando con dos tipos de biosólidos (compostado y secado), aplicados en 4 dosis ( 20%, 40%, 60%, 80%) según el requerimiento de nitrógeno de rábano de 80 kh/ha, sobre 2 tipos de suelos erosionados. El método estadístico es Test de varianza ANOVA y TUKEY TEST para variables agronómicas del cultivo, y en cuanto a la calidad del suelo el análisis de T-Student entre los parámetros de calidad del suelo, sometidos en el Software R 3.6,.En los resultados se caracterizó como un lodo una calidad buena el uso sin restricciones, no se evidencio diferencias significativas para el crecimiento de las hojas y la longitud del cultivo, sin embargo se observó que el exceso y carencia de lodos sobre el suelo influyen negativamente en el desarrollo, el rábano no presento contaminación microbiológica siendo apto para el consumo. En conclusión el lodo compostado puede ser aprovechada en concentraciones intermedias (40% y 60%) como enmienda orgánica, proporcionando concentraciones optimas de fosforo y zinc al cultivo.

**Palabras claves:** biosólido, aprovechamiento agrícola, enmienda orgánica, rábano, lodo compostado

## Abstract

The objective of the research is to evaluate the effect of the application of biosolids as an amendment on eroded agricultural soils and its yield in the cultivation of *Raphanus Sativus* (little radish), in the district of Carapongo-Lurigancho-Perú. A completely random statistical design was developed with a 2x4x2 factorial arrangement, with two types of biosolids (composted and dried), applied in 4 doses (20%, 40%, 60%, 80%) according to the radish nitrogen requirement. of 80 kg/ha, on 2 types of eroded soils. The statistical method is ANOVA variance test and TUKEY TEST for agronomic variables of the crop, and in terms of soil quality, the t-Student analysis between soil quality parameters, submitted in Software R 3.6,. In the results It was characterized as a good quality sludge, the use without restrictions, no significant differences were evidenced for the growth of the leaves and the length of the crop, however it was observed that the excess and lack of sludge on the soil negatively influence the development, the radish did not present microbiological contamination being suitable for consumption. In conclusion, the composted sludge can be used in intermediate concentrations (40% and 60%) as an organic amendment, providing optimal concentrations of phosphorus and zinc to the crop.

**Key words:** biosolid, agricultural use, organic amendment, radish, composted sludge

# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

### 1.1. Planteamiento del problema

La depuración de agua servida se va incrementando, debido al aumento de uso de agua por la población. Sin embargo, el método de purificación de las aguas grises generan cantidades altas de lodo o biosólido (Castillo et al., 2020). Este producto contiene microorganismos patógenos, metales pesados, compuestos orgánicos y entre otros, por lo cual su disposición directa sin ningún tratamiento se constituye en un riesgo para la salud humana, ecosistemas del suelo y agua (Silva-leal & Bedoya, 2013).

Por otro parte, la planta depuradora en Santa Clara genera una alta producción de lodo, valorando anualmente un aproximado de 9408 toneladas. La aplicación de un tratamiento para la disposición de este residuo en rellenos sanitarios se hace cada vez más urgente y costosa.

Ante esta problemática, se ha observado en la mayoría de países se opta por la disposición final del lodo en la reutilización y aplicación sobre suelos (Sastre et al., 2015), obteniendo resultados positivos en la remediación de las deficiencias de nutrientes, proporcionando nitrógeno, fosforo, micronutrientes y materia orgánica en el suelo (Saffari et al., 2020). Ello se debe a potencial fuente de materia orgánica oxidable (MO) (Farooque et al., 2011) y nutrientes esenciales para las plantas (Moura Chagas et al., 2021), sin embargo por la presencia de patógenos se debe someter previamente a procesos de estabilización e higienización para reducir los riesgos.

Asimismo, cabe señalar que en el Perú se presenta un 54% de suelos degradados por erosión, desertificación y salinización (Minagri, 2016), encontrándose en la Costa Peruana 110 millones de hectáreas con erosión ligera a moderada. El déficit de nutrientes de estos suelos se refleja en la baja producción de cultivos. Los suelos de Carapongo forman parte de esta problemática, ya que se tienen suelos afectados por la erosión hídrica y erosión inducida por el ser humano. Ante ello, los agricultores tienden a buscar soluciones en la aplicación excesiva de fertilizantes químicos entre otros medios, para la recuperación de los suelos.

En la agricultura se tiene muchas herramientas para el manejo de enmiendas orgánicas, sin embargo, en el Perú existe poca información acerca del tratamiento y aplicación de lodos como enmienda orgánica de óptima calidad. A pesar de tener una normativa que promueve la reutilización de los biosólidos en la agricultura como mejorador de suelos y dejar de ser considerados como residuos peligrosos.

Por todo lo mencionado, el objetivo del este estudio fue evaluar el efecto del lodo residual estabilizado en suelos agrícolas erosionados y en el desarrollo del cultivo rabanito (*Raphanus Sativus*).

#### **Formulación de la pregunta de investigación:**

- ¿Cuál es el efecto del biosólido aplicado como enmienda orgánica sobre suelos agrícolas erosionados y su rendimiento en el cultivo *Raphanus Sativus*, Carapongo-Lurigancho

## **1.2. Justificación**

En la localidad de Carapongo, se evidencia la pérdida de áreas de cultivo como resultado del desborde del río y el uso excesivo de fertilizantes, ocasionando la erosión o degradación de estos suelos, por consiguiente, ocasionan la reducción de la fertilidad, productividad y rendimiento de la tierra, reflejado en el entorpecimiento del crecimiento de especies vegetales. Por lo tanto, la incorporación de los lodos residuales como enmienda orgánica (lodo compostado y lodo seco) aportara en los suelos material orgánico y nutrimentos que mejoraran las características y calidad del suelo.

Además, los motivos por los que se plantea el reuso agrícola de lodos de PTAR (previo tratamiento) son el elevado volumen de generación y la existencia de normativa que contribuye a la distribución final para reuso agrícola. Aunque, a la fecha se sigue disponiendo hacia los rellenos sanitarios y la aceptación de los agricultores es baja, debido a que se sigue con la posición de que los lodos presentan contaminantes hacia la salud. Otra razón es el elevado costo de los fertilizantes y sustancias químicas que cada día van siendo aplicados con mayor frecuencia para acelerar la producción de los suelos y cultivos, trayendo consigo la alteración de las propiedades del suelo, debilitando sus defensas de recuperación y contaminándolos con residuos químicos.

De resultar eficiente la propuesta de mejorar la productividad de los suelos erosionados con la aplicación del lodo residual, se lograría mayores ingresos económicos como la reducción de la adquisición de fertilizantes químicos y la emisión de gases que aceleran el calentamiento global. Lo cual podemos ver cuán

urgente es la propuesta de nuevas técnicas para la recuperación de suelos erosionados.

Por ello, esta investigación con los resultados que se obtengan contribuirán significativamente en el perfil de la investigación ambiental, sirviendo como antecedente en proyectos siguientes la propuesta de reusó de lodos como una técnica de recuperación de suelos erosionados con un enfoque en la economía circular, proporcionando a este subproducto un valor agrícola, ambiental, económicamente viable y aceptada por la sociedad.

### **1.2.1. Justificación tecnológica**

La presente tesis nos permitirá determinar el impacto de aplicar el lodo sobre la hortaliza del rabanito y suelos agrícolas erosionados, asimismo permitirá presentarla como una propuesta en la recuperación de suelos, convirtiéndose en un gran aporte para la agricultura, logrando suministrar lo adecuado para mejora del cultivo y el suelo.

### **1.2.2. Justificación social, económica y cultural**

El empleo del lodo residual como producto de origen orgánico y económicamente viable para la mejora de los suelos, permitirá reducir el gasto en productos químicos y sintéticos, logrando así mejorar la condición ambiental y económica de la sociedad. Los suelos contarán con materia orgánica que favorecerá en los diferentes procesos biológicos reflejándose en el incremento del rendimiento de cultivos. Asimismo, Castillo Sanchez et al.,(2020) menciona que en la actualidad la agricultura está enfocada en lograr la sostenibilidad mediante la utilización de productos orgánicos.

### **1.2.3. Justificación académica**

La reutilización de lodos residuales en suelos comprobara muchas alternativas de recuperación mediante el uso adecuado de fuentes de materia orgánica, viables para diferentes cultivos comestibles y no comestibles, como ya se ha estado mostrando en diferentes trabajos de investigación, esta tesis busca evaluar el efecto de la aplicación del lodo sobre el suelo, pasando por el proceso de secado y compostaje, como se indica en la normativa para su uso.

### **1.2.4. Justificación teórica**

Este estudio aportara a la indagación sobre el efecto del uso de lodo en la agricultura como propuesta de enmienda orgánica para la recuperación de suelos erosionados, verificando los efectos beneficiosos del uso de biosólidos, demostrados por muchos autores que no solo logran mejorar las propiedades químicas, sino también se ven modificadas las características físicas y biológicas del suelo (Rodríguez, 2016).

## **1.3. Presuposición filosófica**

La creación de Dios fue tan perfecta que creo la tierra con las condiciones que pueda ver vida en ella, y así ser cultivada para poder obtener alimentos para la existencia. Esta capa superficial de soporte y suministro de nutrientes que durante décadas brinda cultivos al hombre, está siendo afectada por las consecuencias de las acciones del ser humano.

El suelo puede suministrar lo requerido para las carencias de cada persona, pero no para la ambición del hombre. Estas acciones nos están llevando a la pérdida de suelos fértiles y creando enfermedades sobre los cultivos. Por cual se

debe comprender que en la reflexión, el individuo encuentra su verdadero camino para el cambio.

Razonando se han dejado de lado todas las suposiciones de una existencia insensible, la mente refulge como la salvación y el encuentro de nuevos tiempos, de nuevas fronteras, de nuevos mundos. No hay límites, más que los impuestos por la naturaleza; precisa y lamentablemente, son los que se han marginado. Hay todavía tiempo para dirigir un cambio de accionar, de interactuar con el mundo, pero sobre todas las cosas de pensar y cambiar por el cuidado de la tierra.

#### **1.4. Objetivos**

##### **1.4.1. Objetivo general**

Evaluar el efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda sobre suelos agrícolas erosionados y su rendimiento en el cultivo de *Raphanus Sativus* (rábano), en Carapongo-Luriganchó.

##### **1.4.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar los lodos obtenidos de la planta de Tratamiento de agua residual.
- Determinar el efecto de la aplicación de biosólidos secos en diferentes dosis sobre suelos agrícolas en la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y rendimiento del cultivo.

- Determinar el efecto de la aplicación de biosólidos compostados en diferentes dosis sobre suelos agrícolas en la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y rendimiento del cultivo *Raphanus Sativus*.
- Determinar la dosis optima de biosólidos para el rendimiento del cultivo y calidad de suelo.
- Determinar el potencial de higienización de cultivo *Rabanus Sativus* (rábano) para el consumo humano.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LA LITERATURA**

#### **2.1. Antecedentes de la investigación**

Utria et al., (2008) evaluaron el efecto de la utilización agrícola de biosólidos de aguas residuales generadas en la Planta de Tratamiento de “Quibú”, esta trabajo fue desarrollada en el Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas (INCA). Este lodo recolectado en la transformación anaeróbica, fueron aplicadas sobre un suelo ferralítico rojo compactado, obteniendo como resultados el aumento de porcentaje de la materia orgánica, fósforo, calcio y de bacterias, hongos y actinomicetos, la presencia mínima de patógenos. Además, se evidencio una progresión en la producción de tomate, sin afectar la calidad del fruto, finalmente el empleo del biosólidos fue factible para fines agrícolas.

Sandoval Castro et al., (2013) evaluaron el incremento en los rendimiento del cultivo de maíz en un rango de 25% a 400% aplicando biosólidos, obteniendo como resultado los cambios físicos de la planta entre ellos el aumento de la altura, el tallo más grueso, hojas y mazorca más grande. De esta manera, los biosólidos son fuentes ricas de nutrientes promoviendo el desempeño óptimo del cultivo de maíz de justificando su uso en suelos agrícolas.

Farooque et al., (2011) investigaron el riesgo del uso de biosólidos N-Viro en la calidad del suelo en la producción de arándano con cuatro tratamientos experimentales (i) NI: irrigación N-Viro, (ii) NR: N-Viro de secano, (iii) FI: fertilizante inorgánico de riego, y (iv) FR: fertilizante inorgánico de secano (control), se replicaron 4 veces bajo diseño DBCA, se obtuvo influencias significativas de riego, fertilizantes y su interacción, en las propiedades de calidad

del agua y del suelo, no se observó existencia de *E. coli* o salmonela, reflejando la ausencia de estas bacterias en los biosólidos. Se concluye que el rendimiento comparable de los biosólidos N-Viro y los precios crecientes de los fertilizantes inorgánicos obligarían a los agricultores a utilizar biosólidos N-Viro disponible económicamente junto con el riego suplementario, no presentaron modificaciones en las propiedades del suelo, el agua y el desarrollo de arándanos silvestres durante el experimento.

Silva-leal & Bedoya (2013), suministraron lodos de tres diferentes tratamientos para evaluar la viabilidad del uso sobre la hortaliza de rábano (*Raphanus sativa*), sembrado en suelo *Vertic endoaquepts*. Se emplearon lodos deshidratados-BD, desecado a una temperatura de (60°C por 12.58 h)-BST y alcalinizado (cal viva 9% peso seco)-BA, distribuidos en cuatro dosis. Se analizaron los parámetros físicos (número de hojas, producción de biomasa y peso final del fruto) y microbiológicos (presencia de coliformes fecales, *Escherichia coli*, y huevos de helmintos). Se evidenció que los cultivos (rábano) sembrados con biosólidos mejoraron su peso entre 17% y 150% en relación con el tratamiento control; asimismo no existieron diferencias ( $P > 0.05$ ) entre los pesos del rábano de los tratamientos. Por otra parte, la presencia de coliformes fecales y de *E. coli* no se modificaron, en cambio aumentó el contenido de huevos de helmintos, por ende, representa un riesgo para salud. Se deben introducir métodos de eliminación de patógenos antes de aplicar al cultivo.

En México, un estudio realizado por Hernández et al., (2005) analizó el uso de lodos provenientes de la Planta de Durango, en mezclas con fertilizante químico y estiércol de bovino sobre suelos, para evaluar el rendimiento de sorgo forrajero (*Sorghum vulgare Pers*), se determinó que la concentración de metales se hallan dentro del estándar especificado en la Normativa Mexicana (NOM 004-SEMARNAT-2002), y no muestran riesgos de toxicidad para los cultivos. Entre sus conclusiones mencionan implícitamente que la aplicación continua y prolongada de biosólidos al suelo de cultivo podría cambiar los resultados obtenidos a largo plazo, es decir que es necesario más estudios para determinar que la frecuencia adecuada para la aplicación de biosólidos para suelos de cultivos ya que al hacer evaluaciones con una primera siembra no serían los mismos resultados de los parámetros analizados en continuas siembras

Según el estudio de Francisco et al., (2011), sobre la evaluación de los ensayos preliminares a escala invernadero fertilizados con diferentes dosis de lodo provenientes de Planta depuradora de Puente Piedra, ubicado en Lima. Además, utilizaron dos técnicas, una con lodo seco y otra de lodo compostado. Se obtuvieron los resultados de los elementos Cr, Pb, As, Hg y Cd dentro de los valores estándares solicitados por la norma para la aplicación agrícola – USEPA 40 CFR, se concluye que aplicar el lodo seco es más efectivo a bajas concentraciones para producir bioabono y sostenible a largo plazo en beneficio de la sociedad y el ecosistema.

## 2.2. Planta de Tratamiento de Agua Residual “SEDAPAL”

Es una infraestructura que cuenta con varios sistemas y procesos para el tratamiento de aguas grises de una determinada población, para su posterior retorno al medio ambiente, lagos o arroyos, evitando la contaminación de estas fuentes. Entre los procesos se tienen tratamiento primario (eliminación física de sólidos flotables y sedimentables) y tratamiento secundario (eliminación biológica de sólidos disueltos), evidenciado en la figura 1.

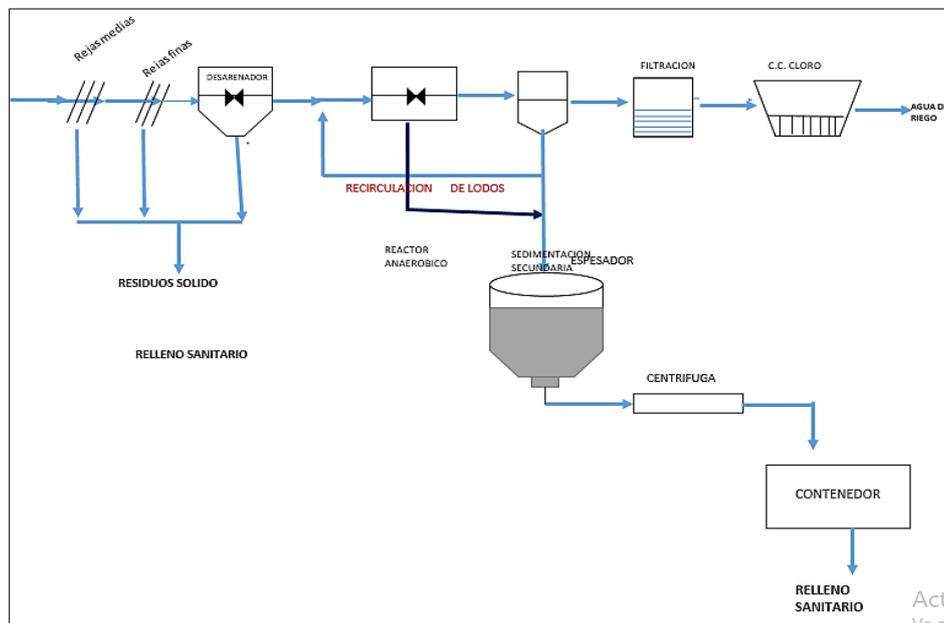


Figura 1. Esquema de tratamientos planta de Tratamiento Santa Clara

## 2.3. Procesos de Tratamiento de agua

Los diferentes mecanismos de tratamiento del agua residual están comprendidos por procesos biológicos y los físico-químicos (Torres et al., 2009).

- **Depuración biológica:** Se lleva a cabo en dos etapas la primera separa los sólidos mediante la sedimentación, se realiza únicamente mediante el proceso físico al que se considera tratamiento primario,

posteriormente pasamos a la decantación secundaria en la cual se trabaja con el lodo sedimentado, se realiza el proceso de metabolización de una porción de la materia orgánica para ser convertida en materia viva, formando así “lodos de decantación secundaria”. El lodo resultante contienen una gran cantidad de bacterias, por lo que una parte de ellos se reciclará para su posterior activación.

- **Depuración fisicoquímica:** Este proceso consiste en la aplicación de coagulante, para aumentar la actividad superficial de las partículas, atrayéndose entre sí y formando flóculos, lo que se llamarán como “lodos de coagulación”, para luego ser sedimentadas.

#### **2.4. Generación de Lodos**

La planta de tratamiento genera un alto volumen de lodos residuales desde la recepción del agua en la etapa del desarenador y durante el espesamiento de las partículas sólidas las cuales permite la sedimentación en el fondo del espesador para luego pasar por la centrifuga y ser recolectadas para su disposición. En el caso que se quiera dar un uso, este residuo deberá de ser manifestado como residuo no peligroso(M. Garcia, 2011).

#### **2.5. Procesos que generación de lodos**

Los procesos de tratamientos de lodos producen diferentes cantidades y clases, según Marquez y Parra, (2009) se tiene la siguiente clasificación:

- **Lodos obtenidos en sedimentadores primarios:** Se obtiene en los tratamientos que consisten en remover los sólidos sedimentables, siendo acumulados la mayor cantidad en el clarificador primario.

- **Los lodos provenientes de los sedimentadores secundarios de un filtro percolador:** Es producto del proceso de remoción de materia orgánica parcialmente descompuesta, con aspecto más homogéneo que lodos primarios, de color café oscuro y de carácter floculante.
- **Lodo secundario aerobio:** Surgen en procesos secundarios, siendo la demanda de oxígeno disminuida por los microorganismos, la biomasa degrada al material suspendido o disuelto en el líquido, es ahí cuando los microorganismos desarrollan la biomasa en el tanque de aireación, estos se sedimentan en un clarificador final y un porcentaje determinado es recirculado como inóculo a la al sistema de aireación

## **2.6. Lodos residuales.**

El lodo residual (LR) es una mezcla de aguas negras y sólidos sedimentables con características acuosas y pastosas en el cual se concentran los diferentes solidos precipitados del agua residual, que puede ser de un tratamiento en un reactor biológico o proceso terciario (M. Garcia, 2011). Por su origen en el proceso en el cual se generan reciben el nombre de primarios o secundarios (Castillo et al., 2020) .

## **2.7. Composición**

La estructura del lodo es variable ya que depende del tipo de agua residual a tratar, asimismo por los tratamientos, insumos y procesos que se emplean para la depuración, por lo cual es considerado como un material semisólido, heterogéneo. Esa concentración puede contener una diversidad de materias suspendidas y disueltas, así como: materia orgánica, micronutrientes y

macronutrientes, al mismo tiempo otras contaminantes como los metales pesados, los patógenos, y contaminantes orgánicos (Gonzalez, 2015)

La composición de la materia orgánica del lodo, presentan cantidades mayores de Nitrógeno y una porción menor de Carbono-Nitrógeno que de los suelos, por ello, los lodos son buenas fuentes de Nitrógeno aprovechable para las plantas (Torrecillas et al., 2013) Los lodos presentan también relaciones elevadas de Hidrógeno-Carbono aludiendo un contenido alto de radicales alifáticos, de la misma forma el azufre, se encuentra en concentraciones importantes y las partes no purificadas se encuentran contaminantes con elementos tóxicos.

#### **2.7.1. Características generales.**

Las características del lodos está en relación a la concentración de nutrientes, metales pesados, patógenos y compuestos perjudiciales presentes, siendo esto un indicio para su manejo adecuado (Uggetti et al., 2012). En la Tabla 1, se observa el porcentaje de cada uno componentes de los tres tipos de lodos.

Tabla 1 *Clasificación de lodos*

<b>Características</b>	<b>Lodo primario fresco</b>	<b>Lodo digerido primario</b>	<b>Lodo digerido secundario</b>
Peso de M.S. por habitante y día (g M.S./hab.día)	30-36	18-29	31-40
Cantidad de agua (%)	92-96	97.5-98	94-97
Contenido orgánico (% de M.S.)	70-80	80-90	55-65
Grasas (% de M.S.)	12-16	3-5	4-12
Proteínas (% de M.S.)	4-14	20-30	10-20
Carbohidratos (% de M.S.)	8-10	6-8	5-8
pH 5.6-6.5	6.5-7.5	6.8-7.6	
Fosforo (% de M.S.)	0.5-1.5	1.5-2.5	0.5-1.5
Nitrógeno (% de M.S.)	2-5	1-6	3-7
Bacterias patógenas (NMP/100 ml)	103 -105	100-1000	10-100
Organismos parásitos (NMP/100 ml)	8-12	1-3	1-3
Metales pesados (Zn, Pb, Cu % de M.S.)	8-12	0.2-2	0.2-2

### **2.7.2. Tipos de lodos residual**

La clasificación del lodo está en función al tratamiento y grado de estabilización que se sometan a los lodos, siendo distinguidos en dos tipos, tales como:

- **Lodo fresco:** Se consideran al lodo sin ningún tratamiento de fermentación y estabilización, una de sus características es presentar un olor muy desagradable y una elevada tasa de gérmenes patógenos.
- **Lodo degradado:** Son aquellos lodos sometidos al proceso de transformación aerobia o anaerobia, logrando de esa manera que el olor sea menos desagradable y se puede reducir la cantidad de gérmenes patógenos.

Estos tipos de lodos residuales para poder ser empleados en la agricultura de manera directa, deberán de ser estabilizadas en los parámetros de higienización mediante la aplicación de varias horas de deshidratación o sistemas automáticos (destilador de bandas, centrifugado, secado calórico, etc.) (Marquez & Parra, 2009).

### **2.7.3. Tratamiento de lodos**

Este método es muy importante para poder reducir sustancias orgánicas presentes, el mal olor y un contenido alto en patógenos para su posterior utilización y disposición final (Faroque et al., 2011). Asimismo, permitirá reducirse su volumen a la mitad mediante la disminución del contenido de agua con métodos como el espesamiento, acondicionamiento, deshidratación y secado del lodo, siendo económicamente viables su tratamiento, transporte y almacenamiento (Marquez & Parra, 2009). Asimismo, existen diferentes tecnologías de tratamiento de lodos según menciona la tabla 2, para disminuir su impacto sobre la salud y el ambiente.

Tabla 2. Lista de tratamientos de lodos

<b>Técnicas</b>	<b>Métodos contemplados</b>	<b>Definición</b>	<b>Efectos</b>
Operaciones previas	Bombeo, trituración, desarenado, homogeneización	Disociación del agua y sólidos, mediante la gravedad, flotación o centrifugación.	Concentrar los sólidos mediante la remoción de agua
Coagulación	Gravedad, flotación, centrifugación, filtros de bandas	Estabilidad biológica mediante la conversión de la materia orgánica en CO <sub>2</sub> , agua y metano	Disminuye patógenos y materia biodegradable
Estabilización	Cal, tratamiento térmico, digestión anaerobia y aerobia	Estabilidad mediante la añadidura de materiales alcalinos (cal).	Reduce la acción biológica
Deshidratación	Filtración, centrifugado, secado	Separación fuerte del agua y los sólidos	Facilita el manejo de los lodos Higieniza los lodos y destruye organismos patógenos
Desinfección	Pasteurizado químico de duración larga	Estabilidad química	
Acondicionamiento	Químico, térmico	Proceso que logra consolidar los sólidos para beneficiar la deshidratación	Acelera la acumulación de sólidos
Secado térmico	En Hornos de incineración, evaporadores múltiples	El calor termina de eliminar los organismos patógenos y elimina la humedad residual	Desinfecta los lodos y destruye organismos patógenos
Compostaje	Biológico aerobio	Estabilización biológica aeróbica, termofílica en un montículo	Disminuye la actividad biológica

Los métodos más usados son procesos físicos como la coagulación, deshidratación. secado térmico y el método biológicos como la digestión anaerobia, la estabilización y el compostaje (Araque, 2006).

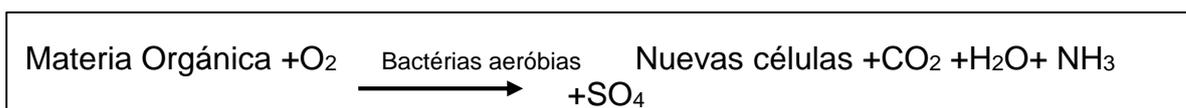
En la investigación de Araque (2006), se recomienda que al elegir el tratamiento más adecuado se debe considerar el impacto que se generara al medio ambiente , la cantidad, aspectos de los lodos y la disposición de recursos económicos y disposición de área útil.

#### 2.7.4. Secado térmico de Lodos

El tratamiento de secado trabaja en función al tiempo de exposición y la temperatura, para reducir la concentración de microorganismos perjudiciales, logrando un alto potencial de higienización (Silva-leal & Bedoya, 2013). La aplicación de una temperatura superior a 45 °C, se puede lograr la eliminación de esporas (*Clostridium perfringens*, *Bacillus* spp), sulfito-reductoras, microorganismos que presentan una alta resistencia y huevos de helmintos. La temperatura recomendada varía entre 50 y 75°C, con un tiempo que va desde 3 minutos a 13 días, estas variables se deben de tener en cuenta dependiendo del tipo de microorganismos que se busca eliminar (Silva-leal & Bedoya, 2013) (Lopez et al., 2010).

#### 2.7.5. Compostaje de Lodos

Según Morales, (2005) el compostaje es aquella descomposición aeróbica de la materia orgánica donde los microorganismos desarrollan el siguiente proceso químico:



### **2.7.5.1. Procesos de compostaje**

Jimenez et al., (2018) dividen el compostaje en tres fases de degradación:

- Fase Mesófila: Consiste en la activación inicial del proceso microbiológico con una temperatura de 35–40°C, logrando incrementar la diversidad microbiana para los procesos posteriores.
- Fase Termófila: Es la segunda fase del proceso de degradación, en la cual se da el aumento repentino de la temperatura mayor a 55 °C, donde se logra la máxima desinfección.
- Fase de enfriamiento y madurez: Es la fase donde se da el enfriamiento, hasta igualar a la temperatura ambiente y alcanzar la madurez del compostaje. El lodo residual se convierte en un producto estabilizado, convirtiéndose en una fuente rica en nutrientes y sustancias húmicas, siendo considerada como un abono orgánico (Fourti, 2013).

Durante todo el proceso se llega a alcanzar una temperatura de 50 a 70°C, contribuyendo a la eliminación de patógenos. Además, con la exposición a una temperatura mínima de 55°C durante una hora se destruye a *Salmonella typhi*, *Salmonella* spp y *Escherichia coli* y los huevos de *Ascaris lumbricoides* a 50°C. Asimismo se reduce la producción de malos olores y los productos en cuanto a nutrientes más significativos (Haug, 1993).

### **2.7.5.2. Factores**

Para un proceso aerobio dentro de las etapas básicas que consideran Morales (2005), se encuentra la aireación donde el lodo se mezcla con materiales como son la paja o aserrín para que ayude con la circulación de aire. Lo cual es imprescindible para la producción de microorganismos, encargados de descomponer la materia orgánica deben estar con suficiente oxígeno para mantener la temperatura y disminuir la humedad durante el proceso mediante el volteado.

Entre otros factores como pH que origina la generación de amoníaco, a un pH mayor a 8, favorece la conversión de amonio ( $\text{NH}_4^+$ ) a amoníaco ( $\text{NH}_3$ ), ya que la elevada temperatura con la que se trabaja permite su liberación, resultando con una pérdida del 24 al 33% del contenido originario de nitrógeno (Pagans et al., 2006). La presencia de la humedad, el amoníaco y metabolitos secundarios, provocados por hongos y actinomicetos permiten la eliminación y disminución de los organismos patógenos durante el compostaje de lodos residuales.

Existen tres tipos de compostaje de Pila estática aireada, sistemas mecánicos cerrados y método en hileras.

- Técnica de pila estática aireada: Es un sistema de red de tuberías con ventilación, sobre esta se coloca la parte orgánica a tratar. La altura proporcionada por pilas deben ser de 2 a 2.5 m aproximadamente y montada sobre la capa de compost para el eliminar los olores; adicional cada pila debe contar con un inyector de aire, controlado sistemáticamente.

- Compostaje Mecánico cerrado: Consiste cuando el oxígeno proporcionado al inicio se concentra dentro de la mezcla para que permita que los residuos sean fermentados por un periodo de tres a cuatro semanas, realizando solo un volteo para posteriormente dejar madurar por un periodo de cuatro semanas adicionales (Vicencio et al., 2011).
- Compostaje en hilera: Es un método tradicional, el tamaño de la hilera se diseña según la proporción de residuos, se aplica la aireación realizando el volteo con trascabo o pala frontal de la pila. Siendo el tiempo de producción de la composta afectado por factores tales como el tipo de residuo, volumen y frecuencia de volteos de la pila(Vicencio et al., 2011).

#### **2.7.6. Biosólidos**

Se considera biosólido al lodo que fue sometido algún tratamiento de estabilización para lograr reducir su peligrosidad, la capacidad de fermentación y atracción de vectores(Rodríguez, 2016). Los tratamientos que reciben pueden ser aeróbico y anaeróbico cuando se trata de digestión bacteriana y por el contenido de humedad, por su contenido líquido se emplea la deshidratación y el secado. La elección del tratamiento dependerá de la procedencia de las aguas residuales, de tipo doméstico o industrial. Según lo determinado por la normativa, NOM-004-SEMARNAT-2000 sobre el cuidado al ambiente, según las características conseguidas por el biosólido después de su consolidación pueden ser aptos para su aprovechamiento.

### **2.7.7. Composición de biosólidos**

La composición del biosólidos se caracteriza por un contenido alto de humedad, materias orgánicas y nutrientes tales como el nitrógeno y fósforo, entre otros componentes para las plantas. Así también se pueden encontrar compuestos químicos como el Plomo, Cromo y Cadmio, microorganismos patógenos y ciertos compuestos tóxicos (Pepper et al., 2006) (Denobili et al., 2008), esta constitución cambia a diario y estacionalmente, incluso dentro de una misma planta de tratamiento. En la Tabla 2, se muestran las rasgos típicos de los lodos (C. Garcia et al., 1999)

### **2.8. Disposición final**

Las tres opciones de destino final que se le da a los biosólidos es disponer hacia rellenos sanitarios, incinerarlos y emplearlos en la agricultura. Sin embargo las dos primeras opciones representan una amenaza significativa sobre el suelo, aire y aguas subterráneas, así mismo, un desaprovechamiento de nutrientes que podrían ser absorbidos por las plantas y bosques. En estos tiempos el uso de biosólidos en la agricultura son viables y rentables(C. Garcia et al., 1999).

### **2.9. Aplicación de los biosólidos**

Una vez estabilizados los lodos se pueden emplear como compost, abono, mejorador, remediador de suelos, reusó en procesos industriales y en la recuperación de energía eléctrica, mecánica y calorífica (incineración) (Mahamud et al., 1998). Sin embargo los métodos de incineración y rellenos sanitarios generan impactos negativos ya que si no se tiene cuidado al realizar dicha disposición alguno de los componentes indeseables en los lodos pueden dispersarse y contaminar el medio ambiente, ya se a la atmosfera cuando se trata de

incineración y a las napas freáticas en casa de los rellenos sanitarios (Vicencio et al., 2011).

### **2.9.1. Lodos residuales como fertilizantes**

Los biosólidos tienen alto valor nutricional para mejorar la productividad de los suelos y plantas (Potisek et al., 2010) con altas concentraciones en materia orgánica (60 a 70%) y nutrientes principales para el desarrollo de las plantas, como el nitrógeno, fósforo y potasio (K), magnesio (Mg), sulfuro (S) y micronutrientes (Macedo et al., 2014). Los lodos consiguen optimizar los aspectos físicos del suelo como la porosidad, la densidad aparente (Mohapatra et al., 2016), estructura y la retención de agua que se verán reflejadas en la producción de los cultivos (Farooque et al., 2011).

Por su alto contenido en material orgánico, se puede estimar al lodo a simple observación como excelentes abono, no obstante, aquellos provenientes de aguas negras, presentan limitaciones de uso (Torres et al., 2015). El contenido de Nitrógeno y Fósforo se pierden progresivamente con la reducción de contenido de agua hasta una concentración aproximada de 3%, razón por la cual, en la fase líquida, el lodo presenta mayor valor fertilizante (Uggetti et al., 2012). La capacidad de absorción de los lodos es otro inconveniente que genera la acumulación de metales pesados en los mismos (Vicencio et al., 2011).

Los lodos poseen un valor fertilizante más alto en la fase líquida. Otra restricción es la adsorción lo hace que almacenen metales pesados en ellos. Además se ha demostrado que algunos organismos sobreviven a la digestión anaeróbica, pero se puede contrarrestar con el acondicionamiento térmico el cual

es muy efectivo. Los lodos generados se convierten en una biomasa valiosa, por el elevado contenido de materia orgánico estable hace que tenga propiedades similares al humus (Burducea et al., 2016).

## 2.10. Características agronómicas de los Lodos

- **pH:** El nivel de pH oscila entre 5.5 y 12, por lo cual su aplicación como enmienda orgánica sobre el suelo, presenta un valor desde ácido a fuertemente ácido, puede tener reacción de amortiguación en el pH del suelo.
- **Conductividad eléctrica:** Demuestra el porcentaje de sales presentes en el lodo, los valores oscilan entre 2.000 y 12.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  (2-12  $\mu\text{S}/\text{m}$ ). Sin embargo, una gran parte de sembríos reaccionan apropiadamente a valores entre 100 y 1.00  $\mu\text{S}/\text{cm}$ , y otra parte de cultivos hasta 2.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$ . Se debe tener en cuenta que valores superiores de 4.000  $\mu\text{S}/\text{cm}$  es difícil el desarrollo de cultivos. Para lo cual es importante evaluar este parámetro para determinar la dosis óptima.
- **Carbono.** Este parámetro brinda información sobre la capacidad de generar compuestos orgánicos que tengan tendencia a biodegradable, mejorando la fertilidad. El valor del carbono total del suelo varía de entre 15% y 55%, mientras que el carbono oxidable se encuentran en el rango entre 10-25%. Los lodos presentan un 65% del carbono neto.
- **Nitrógeno:** Es un nutrimento primordial para el desarrollo de metabolismo y nutrición de los cultivos siendo un parámetro importante, en los lodos se estima valores que oscilan entre el 3.5 y 4.5 %.

- **C/N:** Este parámetro permite determinar la estabilidad del lodo, cuando la correlación C/N es aproximadamente de 10 significa lodo estabilizado que puede ser empleadas como abono orgánico nitrogenada, pero si se presenta una relación C/N de 15-20 puede producir dificultades de permanencia del nitrógeno en el suelo. Los lodos muestran una relación que oscila entre 4-16.
- **Fósforo:** Este parámetro forma parte de los macronutrientes esenciales, importante para la determinación de la dosis a ser aplicadas de un fertilizante. Los valores de fósforo asimilable que requieren los cultivos oscilan en un rango de 500 y 5.800 mg/kg de materia seca. Los lodos presentan valores con rangos que van de 2.500-3.000 mg/kg de material seco, equivalente cerca del 30% del fósforo total.
- **Potasio:** Los valores que se presentan de este nutriente se oscilan con datos máximos de 6.000 mg/kg y cerca de 1.500 mg/kg de materia seca. En cuanto al K total el rango oscila entre 1.000 y 10.000 mg/kg de material seco.
- **Calcio:** Es un macro elemento esencial, se estima que los lodos presentan el Ca digerible a un rango desde 100 a 30.000 mg/kg de materia seca y con valores de Ca total que oscilan entre 10.000- 120.000 mg/kg de materia seca

- **.Magnesio:** Los valores de Mg digerible que muestra el lodo son valores entre 500 y 4.000 mg/kg de materia seca. El valor de magnesio total fluctúan entre 2.000 y 13.000 mg/kg de materia seca.
- **Sodio asimilable:** Está directamente relacionado con la conductividad eléctrica con los lodos, teniendo datos fluctúan entre 1.000 y 1.500 mg/kg de materia seca.
- **Hierro:** Es un micronutriente esencial para el cultivo, optimizando la fertilidad del suelo, el contenido fluctúan entre 7 y 34 mg/kg de materia seca; con valores medios cerca de 15 mg/kg de materia seca. Sin embargo, los valores de hierro total van desde 5.000 a 70.000 mg/kg de materia seca.

Por lo general, los lodos contienen muchos nutrientes que se digieren fácilmente, por lo que su uso en el suelo brinda concentraciones adecuadas para el manejo como enmienda orgánica. Sin embargo, se debe tener en cuenta la proporción adecuada de nutrientes para obtener una nutrición equilibrada del cultivo. Por ello, se debe aplicar la dosis considerando la situación nutricional del suelo, propiedades físicas para evitar la lixiviación por exceso de nutrimentos, ya que pueden producir efectos negativos tal como la infiltración hacia las aguas subterráneas.

### **2.11. Acción sobre el suelo agrícola.**

Los lodos presentan elementos fundamentales para el desarrollo de la planta, el fósforo y el nitrógeno son elementos que predominan como nutrientes (Saravia, 2017), sirviendo como fuente secundaria de fertilizantes aportando material orgánica para los suelos agrícolas (Wijesekara et al., 2016), disminución de la densidad aparente (Ramirez & Perez, 2006), aumentando la porosidad total (Cineira & Lavado, 2006), la estabilidad estructural de suelo (Ramirez et al., 2007) (Yucel et al., 2015) y las propiedades químicas del suelo (Angin & Yaganoglu, 2011), mejoran los micro y macro nutrientes de los suelos para mejorar el rendimiento de los cultivos (Torres et al., 2007).

Además, Cineira & Lavado (2006), menciona que los nutrientes y materia orgánica el lodo aporta al suelo una gran cantidad de micronutrientes, el arsénico, cadmio, plomo, mercurio y níquel pueden tener un efecto perjudicial, si la dosis es demasiado alta. Los principales componentes tóxicos que son aportados por los lodos son precisamente los metales pesados como: el cromo, níquel, cobre, zinc, arsénico, molibdeno, cadmio, mercurio y plomo.

En aquellos sitios, en que el empleo del lodo es prolongado, debe constituir análisis fisicoquímicos constantes para determinar la susceptibilidad del campo al incrementarse de los metales ya mencionados. Así también Mendoza (2004) afirma que el problema puede ser la existencia de organismos patógenos. Por lo frecuente, los lodos competentemente operados y tratados tienen un contenido mínimo en organismos patógenos (Francisco et al., 2011).

Cuando el lodo se aplica líquido debe limitarse el cultivo a vegetales, que no se consumen crudos o que no están en contacto con el suelo, y también debe excluirse la presencia de animales en pastos a los que se aplica lodo líquido. Los principales patógenos que se pueden encontrar en el lodo son bacterias como la *Salmonella*. Nematodos, ejemplo la *Áscaris lumbricoides*, enterovirus y parásitos como la *Tenia solium* (Gonzalez, 2015). Se debe tener en presente la reducción de *Escherichia C.* conseguida en el tratamiento, no es relacionable con la minimización de todos estos patógenos, por lo que no se puede asegurar una garantía completa de la ausencia e inexistencia de los mismos sin establecer unos análisis específicos (Vicencio et al., 2011)

## **2.12. Riesgos derivados de lodos en el empleo agrícola.**

Así como tiene beneficios sobre el suelo también existen factores limitantes en la aplicación sobre el suelo agrícola, siendo las siguientes:

- **Salinidad:** En este parámetro se tiene en cuenta la concentración de cationes ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ , etc.) y aniones ( $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ , etc.) solubles en el suelo que se va a aplicar, ya que puede verse modificada en suelos por presentar una capacidad de drenaje limitada, llegando a crear una reacción negativa en la formación de semillas, crecimiento del cultivo y cambios negativos en la estructura del suelo. Este indicador es adecuado para evaluar los efectos perjudiciales que se pueda generar sobre el suelo (Buchelli, 2014).

- **Contenido excesivo de nutrientes:** La suministración excesiva de lodos puede generar una elevada concentración de nutrientes como el nitrógeno y fosforo solubles sobre el suelo, porque componen aproximadamente la mitad del aporte total, ante lo cual estos son retenidas en el suelo y pueden inducir una contaminación de aguas subterráneas. La adición de este residuo en periodos en el cual la planta no demanda nutrientes y la estabilización inadecuada del lodo, pueden crear problemas serios en la alimentación del cultivo (Usman et al., 2012) en cuanto al nutriente del potasio no se obtiene efectos adversos puesto que su contenido en los lodos es bajo.
- **Sustancias orgánicas tóxicas:** Son aquellos compuestos potencialmente tóxicos existentes en pequeñas cantidades en los lodos, según la tabla 4., siendo encontrado con mayor frecuencia en los plaguicidas. Estos se metabolizan durante la depuración de las aguas siendo absorbidas en los lodos las más persistentes o recalcitrantes. Se les considera toxicas porque la mayoría son liposolubles y poco biodegradables que ante una acumulación en la cadena alimentaria podría causar efectos adversos en los que entran en contacto.

Asimismo, son liberadas hacia el medio ambiente debido a tres tipos de reacción las cuales son biodegradación, degradación química y fotoquímica, cada uno de ellos podría afectar en los procesos hidrolíticos y oxidativos, así también alterar la degradación de la estructura y componentes fijadores (arcillas y materia orgánica) en el suelo.

- **Microorganismos patógenos:** Conocer la variabilidad de la cantidad de microorganismos presentes, el tipo y la capacidad de supervivencia es importante, este factor es significativo tener cuenta desde el punto de vista agrícola para así poder prever posibles complicaciones que traería consigo el consumo de plantas comestibles que hayan sido cultivadas con lodos (Angin & Yaganoglu, 2011). Por lo que Robert y Winkler (1991) nos mencionan los importantes tipos de patógenos presentes en el lodo las cuales son:
- **Virus de diferentes tipos (Hepatitis, Adenovirus y Entero virus):** Se presentan en pequeñas proporciones, pero sin embargo pueden llegar a ser muy peligrosos. Asimismo, Bacterias pertenecientes a distintos géneros (*Salmonela*, *Shigela*, *Mycrobacterium*, *Vibrio*, *Pseudomonas*, *Klebsiella* y *Secherichia*), Protozoos, Hongos y Nematelmintos y platelmintos.

Además, se puede adquirir alto contenido de microorganismos patógenos en un lodo fresco según se indica en la Tabla 3, la cantidad varía de acuerdo a la efectividad del tratamiento de agua y la duración de su existencia dependerá de varios componentes como la humedad, temperatura, cantidad de materia orgánica, luz solar, y el tipo de suelo, debido a que la textura y el grado de saturación del suelo influyen en el desplazamiento de bacterias, virus y parásitos.

Tabla 3. Organismos presentes en los fangos y posibles enfermedades

Bacterias	Enfermedad
<i>Escherichia coli</i> (enteropatógena)	Gastroenteritis
<i>Legionella</i>	Neumonía
<i>Salmonella typhi</i>	Fiebre tifoidea
<i>Salmonella paratyphi</i>	Fiebre paratifoidea
<i>Shigella</i>	Shigelosis
<i>Vibrio cholerae</i>	Cólera
Otros <i>Vibrio</i>	Diarreas
<i>Entamoeba histolytica</i>	Ulceración colónica, disentería amébrica, absceso hepático
<i>Giardia lamblia</i>	Diarrea, mala absorción
<i>Enterovirus (poliovirus)</i>	Poliomelitis, meningitis, rinofaringitis y alteraciones digestivas
<i>Enterovirus (Echo virus)</i>	Meningitis, gastroenteritis, infecciones respiratorias y conjuntivitis
<i>Enterovirus (Coxsackie Virus A)</i>	Meningitis, manifestaciones respiratorias, oculares, digestivas y mucosas
<i>Enterovirus (Coxsackie Virus B)</i>	Meningitis, cardiopatías, manifestaciones cardiovasculares y cutáneas
<i>Enterovirus (Virus hepatitis A)</i>	Hepatitis
<i>Rotavirus</i>	Gastroenteritis
<i>Adenovirus</i>	Infecciones respiratorias, querato-conjuntivitis y gastroenteritis
<i>Ascaris lumbricoides</i>	Ascariasis (perturbación respiratoria, digestiva o abdominal)
<i>Ancylostoma duodenale</i>	Anquilostomiasis (anemia)
<i>Taenia spp.</i>	Teniasis

Fuente: (Pérez Murcia, M D., Moreno Caselles, J., 2008).

- **Contenido en metales pesados:** Este indicador incluye elementos cuya densidad es superior a 5 g/cm<sup>3</sup> en representación fundamental o su número atómico es mayor a 20. La clasificación se realiza en base a la función en los seres vivos que pueden ser:

- Los elementos requeridos para las funciones vitales o conocidos como micronutrientes son el Ni, Cr, V, Ti, Fe, Mn, Zn, Cu, Mo y Se, siendo necesarias en proporciones pequeñas para las funciones del organismo, pero si superan lo requerido pueden llegar a ser tóxicos.
- Los elementos de función biológica desconocida están el Cd, Hg, Pb, Sb y Bi, pueden resultar tóxicos, ya que tienen la facilidad de ser almacenados en los seres vivos.
- Los elementos no metálicos perjudiciales en las funciones vitales tenemos al bismuto, selenio, arsénico, bromo y yodo.

Esta cantidad dependerá del origen del agua, el tipo de vertidos que reciba durante el recorrido antes de ser tratadas en la estación. Uno de los riesgos que deriva de la presencia de metales pesados es que pueden ser muy móviles y asimilables por la planta provocando efectos tóxicos, según se observa en la Tabla 4, en el caso que la planta sea consumida puede generar una contaminación dentro de los eslabones de la cadena trófica.

En el caso que no se consumiera las plantas, estos metales volverían a parar en el suelo, siendo asimiladas relativamente, por lo que con el pasar del tiempo se presenciara una acumulación en los suelos que generaría un efecto nocivo. Asimismo, para que los metales pesados estén solubles y disponibles para la planta dependerá de muchos factores, siendo el más importante el pH del suelo, por esta razón se debe de tener suma importante al momento de su aplicación de los lodos en suelos agrícolas (Leite et al., 2019).

Tabla 4. Toxicidad de los metales pesados para formas de vida

<b>Metal</b>	<b>Fuente</b>	<b>Efectos en humanos</b>	<b>Efectos sobre las plantas.</b>	<b>Efectos sobre Microorganismos.</b>
Arsénico	Degradación atmosférica, minería, pesticidas, sedimentación de rocas, fundición	Peligro cerebral, trastornos cardiovasculares y respiratorios, conjuntivitis, dermatitis, cáncer de piel.	Peligro a la membrana celular, contención del crecimiento, prohíbe la extensión y propagación de las raíces, obstruye con los procesos metabólicos críticos, pérdida de infertilidad y producción de frutos, estrés oxidativo, trastornos fisiológicos.	Desactivación de enzimas.
Cadmio	Minería, pesticida, plástico, fertilizante,	Enfermedad ósea, tos, enfisema, cefalea, hipertensión, itai-itai, enfermedades renales,	Clorosis, bajo contenido de nutrientes de las plantas, contención del crecimiento, disminución de la brote de las semillas	Daña el ácido nucleico, desnaturaliza la proteína, inhibe la división celular y la transcripción, inhibe la mineralización de carbono y nitrógeno
Cobre	Pulido de cobre, minería, pintura, enchapado, operaciones de impresión.	Daño abdominal, anemia, diarrea, cefalea, daño hepático y renal, trastornos metabólicos, náuseas, vómitos	Clorosis, estrés oxidativo, crecimiento retardado.	Interrumpe la función celular, inhibe las actividades enzimáticas.
Zinc	Fabricación de latón, minería, refinería de petróleo, fontanería.	Ataxia, depresión, irritación gastrointestinal, hematuria, ictericia, impotencia, insuficiencia renal y hepática, letargo, degeneración macular, fiebre por humos metálicos, cáncer de próstata, convulsiones, vómitos	Afecta la fotosíntesis, inhibe la tasa de crecimiento, reduce el contenido de clorofila, la tasa de germinación y la biomasa vegetal	Muerte, disminución de la biomasa, inhibe el crecimiento.

## 2.13. Marco legal nacional

Perú cuenta con una política que está orientada en suscribir nuevos acuerdos nacionales e internacionales, en normativas sobre el integrado manejo de los recursos hídricos, entre los que destacan:

### 2.13.1. Objetivos del Milenio

Esta declaración que fue aprobada el 2000, plantea en su meta 10, “Reducir el porcentaje de demanda de servicios básicos de saneamiento y agua potable de la población a la mitad, para el 2015”

### 2.13.2. Acuerdo Nacional: El Perú hacia el 2021

En este acuerdo según la tabla 5, el estado busca “Promover los diferentes tipos de inversión para ampliar el acceso a los servicios de saneamiento, recojo y disposición final de los residuos sólidos, eléctrico y telecomunicaciones, por parte de la población con vulnerabilidad y bajos recursos económicos de lugares urbanos y rurales”. Siendo la finalidad estratégica 4. “El acceso universal de la población a los servicios adecuados de agua y electricidad”:

Tabla 5. Acuerdo Nacional: Metas de cobertura

N°	Indicador	Formula del indicador	Fuente	Línea de base	Tendenc ia al 2021	Meta al 2021
1	Cobertura en agua potable	Población con acceso al agua potable/total de población * 1000	INEI- ENAH 2007	.60%	70.00%	85.00%
2	Cobertura en alcantarillado	Población con acceso al alcantarillado/total de población * 1000	INEI- ENAHO2007	53.30%		79.00%

### 2.13.3. Plan Nacional de Acción Ambiental: 2011 -2021

Este instrumento plantea como meta para el 2021: “Tratar al 100% las aguas residuales de procedencia domestico urbana, y promover que el 50% sean reusadas”, según se evidencia en tabla 6.

Tabla 6. *PNAA: Metas de cobertura*

<b>Acción estratégica</b>	<b>Meta al 2012</b>	<b>Meta al 2017</b>	<b>Meta al 2021</b>
Garantizar el tratamiento total y reusó de aguas urbanas y ampliar su alcance en áreas rurales	Las aguas residuales urbanas son tratadas al 30%; y el 15% de éstas son reusadas	El 50% de las aguas residuales son tratadas; y el 30% de aguas urbanas son reusadas	100% aguas residuales urbanas tratadas y el 50% de estos reutilizadas.
	Indicadores: La tasa de aguas residuales urbanas tratadas y reutilizar. La tasa de tratamiento de aguas residuales rurales y reutilizar.		
	Responsable	MVCS, SUNASS	
	Co – responsable	ANA, MINSA, EPS, Gobiernos subnacionales	

En el Plan del Bicentenario, el Perú hacia el 2021, se trata de nociones de gestión de residuos, la base de responsabilidad compartida y la economía circular, recuerda en la “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”, aprobada por Decreto Legislativo N° 1278, promueve el uso de los lodos tratados en los suelos. La valorización de los residuos sólidos, todo ello también, se orienta a la ejecución cumpliendo las recomendaciones brindadas por la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económico (OCDE).

#### 2.13.4. Ley Integral de Residuos Sólidos

La “Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos”, admitida en el Decreto Legislativo N.º 1278, promueve la valorización de los residuos sólidos, y regula la reutilización de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales D.S. N° 015-2017-VIVIENDA donde se presenta una estrategia de gestión de lodos.

Esta ley establece como objetivo de valorización como un constituyente a la gestión y manejo que debe prevalecer antes de su disposición final de los residuos. Estas implican actividades de reutilización, reciclaje, compostaje, valorización energética entre otras alternativas. Art. 37 de la ley.

- **Incineración:** Este proceso consiste en la combustión del lodo para reducir el 95% de su volumen, también consigue la destrucción de patógenos y compuestos orgánicos tóxicos, asimismo mediante las cenizas se permite captar metales pesados y recuperar energía mediante la generación de vapor.

Por otro lado una de las desventajas de una planta de estas características es el alto costo de instalación y sostenimiento para poner en marcha su funcionamiento, al mismo tiempo uno de los problemas es la dificultad que demanda el tratamiento de gases, partículas, aguas de lavado y cenizas necesarios, y cabe resaltar la oposición social (Hospido, 2005)

- **Depósito en Rellenos Sanitarios:** Este manejo consiste la disposición de los lodos en vertederos, siendo la última opción a considerar debido

al elevado costo de gestión y la disminución de la vida útil de un vertedero, sin embargo, se debe de tener en cuenta que actualmente las políticas europeas y legislaciones de los países buscan considerar este método como el último recurso.

- **Aplicación en suelos:** Se considera la primera iniciativa de la gestión, debido a su contenido alto de nutrientes y una fuente importante de materia orgánica (Singh & Agrawal, 2010), motivo por el cual permiten ser empleados como enmiendas orgánicas aportando en la mejora de los suelos (Perez, 2009) y fertilidad en agro ecosistemas degradados y en la producción de los cultivos (Ojeda et al., 2008). Uno de los beneficios es la sostenibilidad, fácil manejo y la demanda de un bajo costo en su puesta en marcha.

Asimismo, otro uso es como fuente de componentes primario para la elaboración de sustratos para cultivos, capacidad baja de aireación, son asfixiantes, porque son ricos en "N" y respectivamente pobre en "C", además contienen variables cantidades de metales pesados, de sustancias tóxicas orgánicas y diversos microorganismos patógenos. Por este, es necesario estabilizar los lodos para su emplear como abono de cultivo.

## **2.14. Marco legal internacional**

### **2.14.1. La Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2008,**

Esta norma constituye los niveles máximos permisibles y especificaciones de contaminantes para su uso y la disposición final del lodo. Además, especifica concentraciones aceptables de varios elementos en biosólidos, para uso en tierras agrícolas, incluido los pastos. En general, los biosólidos destinados uso forestal, recuperar tierras y uso agrícola deben efectuar las concentraciones especificadas de biosólidos tipo “buenos” y de clase C. Por ello, el uso de biosólidos se basa en el tipo, grado y presencia de humedad hasta el 85%.

En cuanto a las técnicas de manejo, en el uso de biosólidos en la agricultura, la USEPA (*United States Environmental Protection Agency*) recomienda la aplicación de biosólidos en el suelo a más de 10 m de distancia de una fuente de agua, asimismo, no se debe administrar biosólidos en lugares donde existan especie de plantas amenazadas o peligro de extinción; prohibición en sitios inundados, congelados o cubiertos de nieve a fin de evitar la contaminación del agua, no exceder la dosis de Nitrógeno que se puede aplicar al suelo y etiquetar los envases y contenedores de biosólidos (Vicencio et al., 2011).

### **2.14.2. Normativa Peruana DS. N°015-2017**

En el estado peruano los biosólidos se rigen bajo el Decreto Supremo que suscribe el Reglamento para el uso de los Lodos de la PTAR D.S. N° 015-2017-vivienda y el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos R.M. N° 093-2018-vivienda.

La norma indica la necesidad de caracterización en un laboratorio autorizado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales

(IDEAM), en donde establecen la concentración de algunos elementos en los lodos (químicos-metales y microbiológicos), así como especificar las actividades en donde pueden utilizar entre ellas tenemos zonas verdes, zonas adecuadas para cultivos o para mejorar suelos infértiles.

Además, se espera que los biosólidos cumplan con las especificaciones de la normativa, se podrá almacenar por un período máximo de 6 meses con previo control del manejo adecuado de emisiones de gases, lixiviados entre otros factores. En caso no cumplan con los valores máximos permisibles especificados en la norma, serán dispuestos juntamente con los residuos sólidos municipales a rellenos sanitarios, en plantas autorizadas y en actividades de valoración energética.

- **Clase A:** Son lodos vertidos sin restricciones sanitarias
- **Clase B:** Son aquellos que puedan ser empleados sobre el suelo, pero con limitaciones sanitarias según localización de los suelos y/o tipo de cultivo.

Según la normativa se debe cumplir los siguientes parámetros límites mencionados en la Tabla 7 y cumpliendo los indicadores de la Tabla 8, para el uso de biosólidos:

Tabla 7. *Parámetro límites en Normativa Peruana*

Parámetros	Estabilización de lodos	Toxicidad química		
A y B	Concentración de materia orgánica: Materia orgánica (SV) ≤ 60% de Materia seca (ST)	Mg/kg ST Materia Sec	Arsénico	40
			Cadmio	40
			Cromo	1200
			Cobre	1500
			Plomo	400
			Mercurio	17
			Níquel	400
			Zinc	2400

Tabla 8. *Indicadores de cumplimiento*

Tipo de Lodo	Indicador
A	Indicadores de contaminación fecal Escherichia coli < 1000 NMP/ 1g ST o Salmonella sp. < 1 NMP / 10g ST
	Indicador de Huevos de Helmintos Huevos viables de Helmintos < 1 / 4g ST o Prueba de utilización de tecnologías indicadas para la higienización
B	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento de los procesos previstos en el Anexo I, en su defecto, mediante alguna de las tecnologías indicadas para la higienización, en la Sección B del Anexo N° II.

# CAPÍTULO III

## MATERIALES Y MÉTODO

### 3.1. Lugar de ejecución

La investigación experimental se realizó en el cruce de la Av. Carapongo y Av. Tulipanes en la localidad de Carapongo, ubicado en el Distrito de Lurigancho, Departamento Lima. Las coordenadas geográficas UTM son 294296.15 m E y 8672098.89m S, a una altitud de 653 m.s.n.m, tal como se observa en la figura 2.

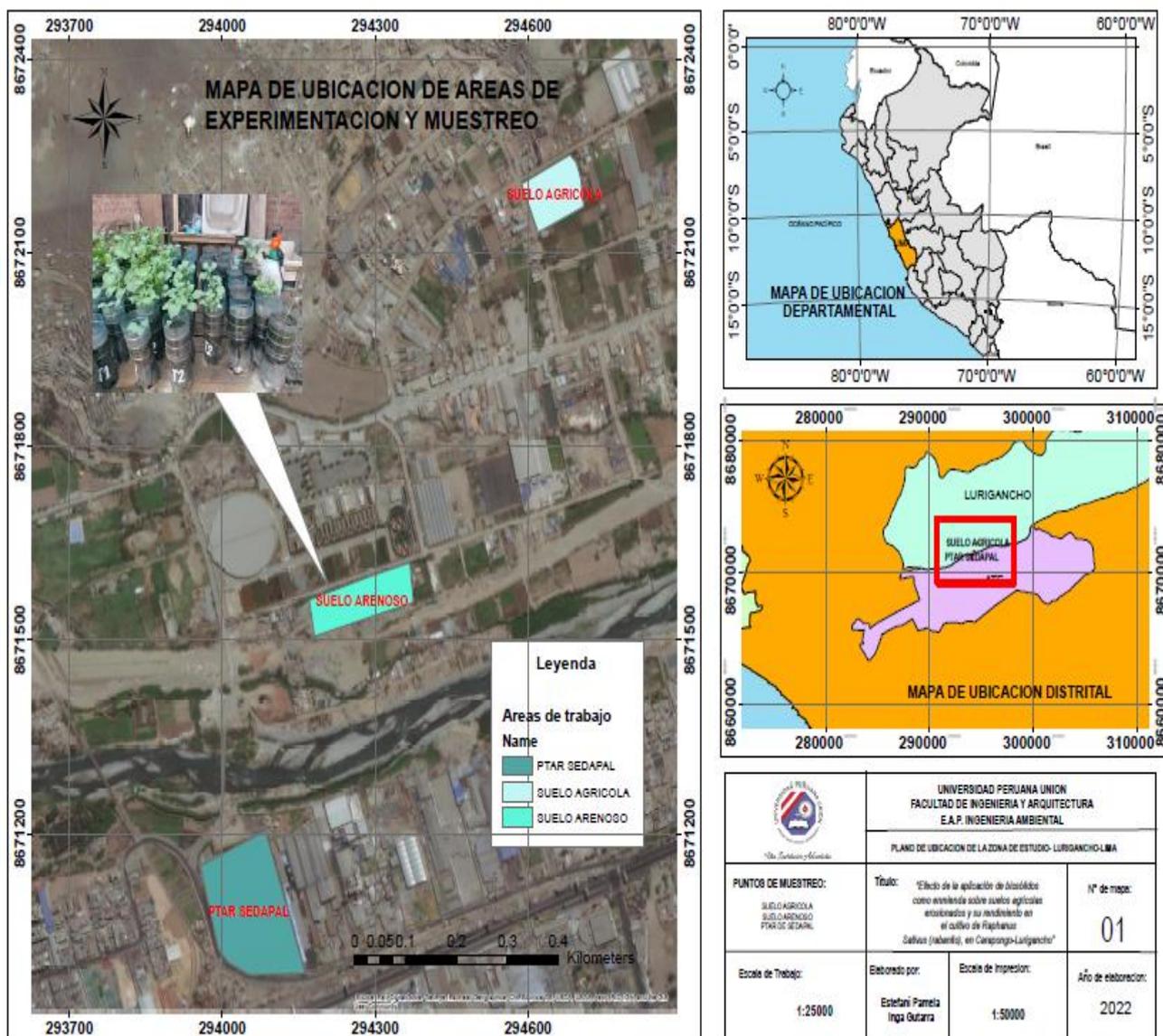


Figura 2.. Ubicación Geográfica de las zonas de investigación. Fuente: Google Earth,2019

### 3.2. Materiales de la investigación

Los materiales y herramientas utilizadas para la ejecución del proyecto serán en diferentes fases, tal como se indican en la Tabla 9.

Tabla 9. *Materiales y herramientas para las fases de ejecución del proyecto.*

<b>Gabinete</b>	<b>Implementación de diseño experimental</b>	<b>Recopilación de muestras</b>
Cuaderno de apuntes	Etiquetas de identificación	Bolsas de plástico
Dispositivo USB	Formato de campo	Cámara fotográfica
Registro de campos	Lapicero Cuaderno	Hidrómetro
Memoria de cámara	Maceteros	Pala
Hojas bond	Botellas	Muestra de lodo compostado
Bolsas de plástico	Arena	Muestra de suelo agrícola
Excel	Lodo compostado	Tamizador
Google Earth	Lodo seco	Baldes
Software Statistics	Suelo agrícola	Bolsas ziploc
Guantes quirúrgicos	Pala	Guantes quirúrgicos
Espátula	Pico	Espátula
Etiquetas	Tamizador	Etiquetas
Balanza	Balanza	Balanza
<b>Equipos de protección personal</b>		
Guantes de látex		
Ropa tyvek		
Mascarilla		
Zapatos cerrados		
Botas de seguridad		
Tocas		

- **Lodo compostado:** Este insumo se obtuvo como producto del composteo de lodo, durante una etapa de 8 meses, mediante la aplicación de microorganismos eficientes, y la mezcla con poda y residuos orgánicos del distrito.
- **Lodo seco:** Se recolectaron de la Planta de Tratamiento de Santa Clara extraída de la última etapa para la disposición final.

### 3.3. Método experimental

En el siguiente diagrama figura 3. Se observa el procedimiento descrito de cada uno de los pasos que se ejecutaron para la evaluar el efecto de la empleo de biosólidos sobre suelos y cultivos.

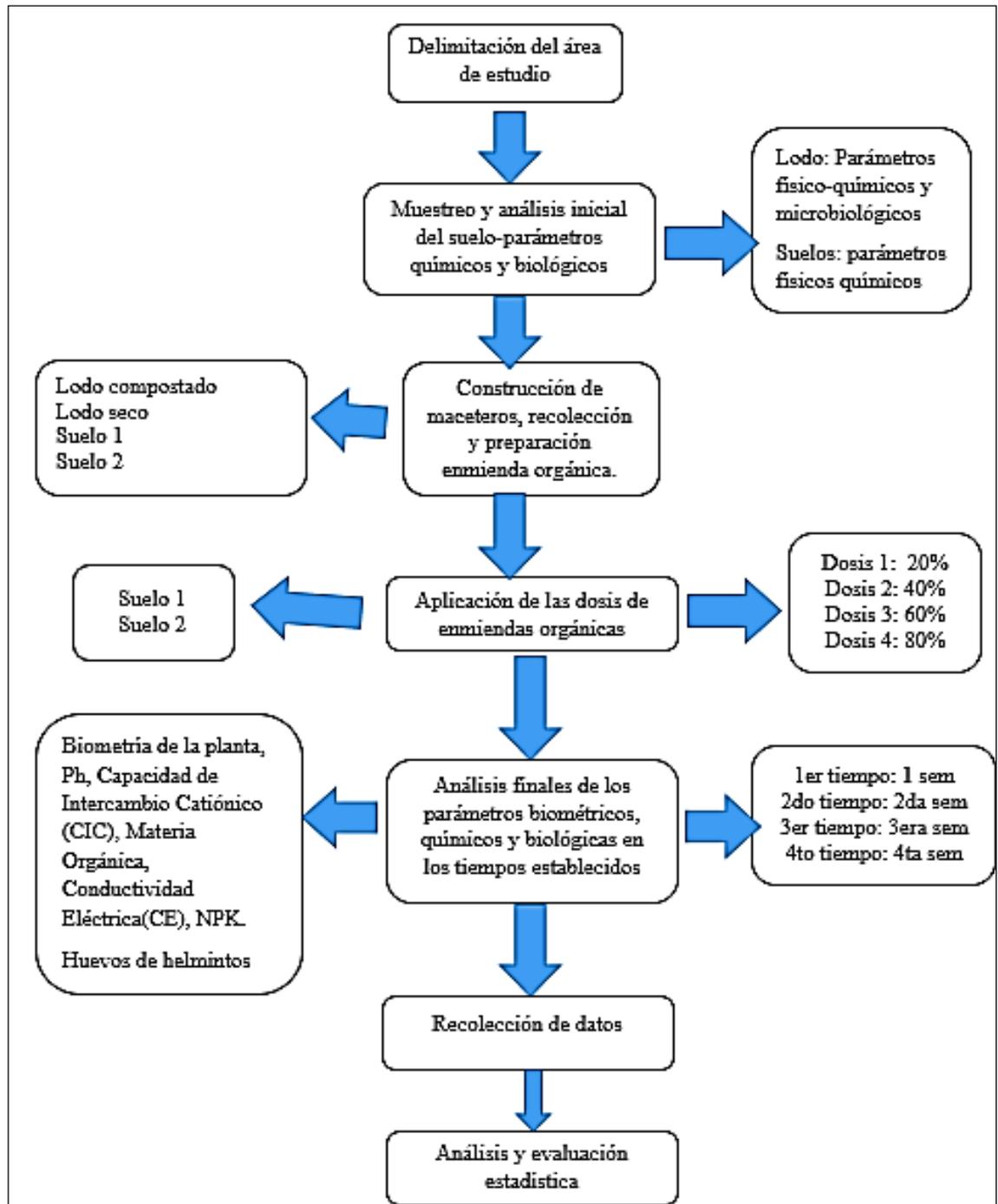


Figura 3. Flujograma de trabajo de investigación

### **3.4. Descripción del procedimiento**

#### **3.4.1. Delimitación, Muestreo y análisis pre de lodos y suelo**

##### **3.4.1.1. Delimitación del área de muestreo**

El muestreo del área fue seleccionada de diferentes suelos agrícolas afectadas por la erosión, ya que estas presentan las problemáticas mencionada, cada suelo ubicadas en el distrito de Carapongo-Lima.

#### **3.4.2. Muestreo**

El muestreo desarrollado fue de tipo no probabilístico, ya que “la elección de una unidad representativa de la población que va formar parte de la muestra es elegida según criterio del investigador” (Kinneer & Taylor, 1998), por lo cual en este estudio se usó el muestreo no probabilístico porque que se ejecutó en 2 tipos de suelos que cumplen con las características y problemáticas a estudiar.

El procedimiento de muestreo fue por conveniencia, “la unidad se auto escoge o se eligió según disponibilidad” (Kinneer & Taylor, 1998), como se menciona se elige con base a la utilidad del que lo investiga y a la accesibilidad y proximidad de la muestra que acepten ser incluidos para su experimentación.

En la presente investigación se desarrolló el muestreo no probabilístico, según interés. Se eligió este tipo de muestreo por la accesibilidad y facilidad de los suelos y lodos por parte de los propietarios.

#### **3.4.2.1. Muestreo de lodos.**

En el estado peruano los biosólidos (lodos) se rigen bajo la normativa que suscribe el Reglamento para el uso de los Lodos generados en las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales D.S. N° 015-2017-vivienda y el Protocolo de Monitoreo de Biosólidos R.M. N° 093-2018-vivienda.

La norma indica la necesidad de caracterizar el lodo en un laboratorio certificado ante el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (IDEAM), teniendo como objetivo determinar los valores límites aceptables de ciertos elementos (químicos-metales y microbiológicos), asimismo definir las actividades para su posterior disposición tales como: en zonas verdes, en tierras aptas para la agricultura o para la remediación de suelos degradados.

En el caso que no se cumpliera con los estándares señalados, se deberá de disponer juntamente con los residuos sólidos municipales para cobertura de rellenos sanitarios, rellenos de seguridad o en lugares para transformación en energía.

Para ello se recogió dos muestras en bolsas herméticas *ziploc* de 1 kilogramo, una para los análisis de químico-metales pesados y la otra para análisis microbiológicos en un laboratorio acreditado y siguiendo el procedimiento determinado por ellos, luego se compararon con los valores de la norma, se caracterizó y determino a que clase pertenecen y se reusara según la norma lo menciona.

- **Clase A:** Estos lodos se pueden aplicar hacia el suelo sin limitación sanitaria.

- **Clase B:** Se puede emplear sobre el suelo, pero con controles sanitarias según la ubicación de suelo y características del cultivo.

Para su aplicación se debe cumplir los requisitos mencionados en la Tabla 7 y cumpliendo los indicadores de la Tabla 8, para el uso de biosólidos (lodos):

#### **3.4.2.2. Muestreo del suelo**

Para el muestreo del suelo, se siguió las especificaciones técnicas acuerdo a la Guía para el muestreo de suelos (MINAM, 2014). El cual consistió en:

Se estableció 6 puntos de muestreo, de los cuales se mezcló para tomar las 6 submuestras en cuadrículas para obtener una muestra compuesta significativa. Luego con la ayuda de la pala se procedió a excavar a una profundidad de 30 a 60 centímetros, se extrajo las submuestras y se depositó en la manta para la mezcla. Finalmente, utilizando la técnica de cuarteo, se separó 1 kilogramo de muestra dividido en dos copias, para el análisis fisicoquímico: pH, CE, MO, NPK, CIC, RAS.

#### **3.4.2.3. Análisis de los parámetros del lodo, lodo compostado y suelo pretratamiento**

- **Análisis de lodo compostado:** Las muestras se analizaron en el laboratorio de la UNALM, para determinar la calidad de la composta, utilizando el método ICP-MS para determinar los elementos químicos y el método potenciométrico para determinar el pH. Los contenidos de carbono y materia orgánica se calcularon utilizando la fórmula de evaluación de fertilidad de suelos, por otra parte el contenido de nitrógeno se determina por el método Micro-Kjeldahl, para dar como respuesta el contenido de carbono/nitrógeno del suelo.

- **Análisis inicial de suelo:** Después de completar el muestreo del suelo, se tamizó en una malla para la reducción del tamaño de las partículas, luego se combinó en una sola mezcla compuesta, después de lo cual se usó 1kg. Para el análisis químico y de caracterización, se colocaron en bolsa ziploc, cada una rotulada con la información solicitada por el laboratorio. Luego se trasladó al laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF)- Universidad Agraria, para sus análisis correspondientes.

#### **3.4.3. Elaboración de maceteros y recolección, preparación e incorporación de unidades experimentales**

- **Construcción de maceteros:** Para la instalación de maceteros se adquirieron 64 botellas de plástico (capacidad de 3 y 4 litros), luego se cortaron en la parte superior de las botellas y se procedió a realizar orificios en la base, después se sembraron en cada macetero 3 muestras del cultivo indicador, se eligió la opción de las botellas transparentes ya que nos facilitarían con el seguimiento en el desarrollo del crecimiento de la planta.
- **Preparación de lodo compostado y lodo seco:** El material de experimentación fue obtenido de la Planta Depuradora de Santa Clara de Sedapal, para luego seguir con la preparación de lodo compostado y lodo seco con los siguientes pasos que se describirán:

Para la preparación del lodo compostado, se recolectaron 96 kilogramos en 6 baldes de 19 litros de capacidad, el lodo se recolectó de los contenedores después del centrifugado, y luego de haberse

analizado y caracterizado, manteniendo parámetros límites mencionados en la Tabla 3 y cumpliendo los indicadores de la Tabla 4., para el uso de biosólidos (lodos). Luego se mezclaron con residuos de poda recolectados de la Universidad Peruana Unión (UPeU) y del distrito de San Antonio Carapongo colindante a las áreas agrícolas, la cual se emplearon como estructurante del lodo, para su degradación por un periodo de 8 meses, se llevó el monitoreo constante de aireación y humedad durante el periodo de compostaje.

Para el lodo seco, se obtuvo 96 litros de lodo centrifugado del contenedor de la Ptar de santa clara, recolectados en baldes de capacidad de 19 litros, luego fueron secados por un periodo de 1 semana antes de su aplicación.

Con respecto al suelo, se obtuvo de dos parcelas, la primera de un suelo agrícola cercano al área de ejecución y la segunda fue de una propiedad que fue afectado por el desborde del río Rímac, recolectando 80 kg de cada suelo en sacos.

- Preparación y aplicación de biosólidos: Para la incorporación de los lodos(enmiendas) en cada tratamiento, se establecieron los siguientes pasos:

Se aplicaron cuatro dosis de cada tratamiento de lodos compostado y lodo seco (T1, T2, T3, T4), cada una con 4 repeticiones, formando total 64 maceteros, asimismo se prepararon un macetero solo con

lodo compostado y lodo seco (T5), y considerando el tratamiento de control (T6).

Por lo cual se emplearon 64 botellas de plásticos de (3 o 4 litros de capacidad) para los 16 tratamientos y 3 repeticiones y una muestra en blanco, en la etapa de experimentación, procediendo así con la plantación de 3 rábanos por cada unidad experimental.

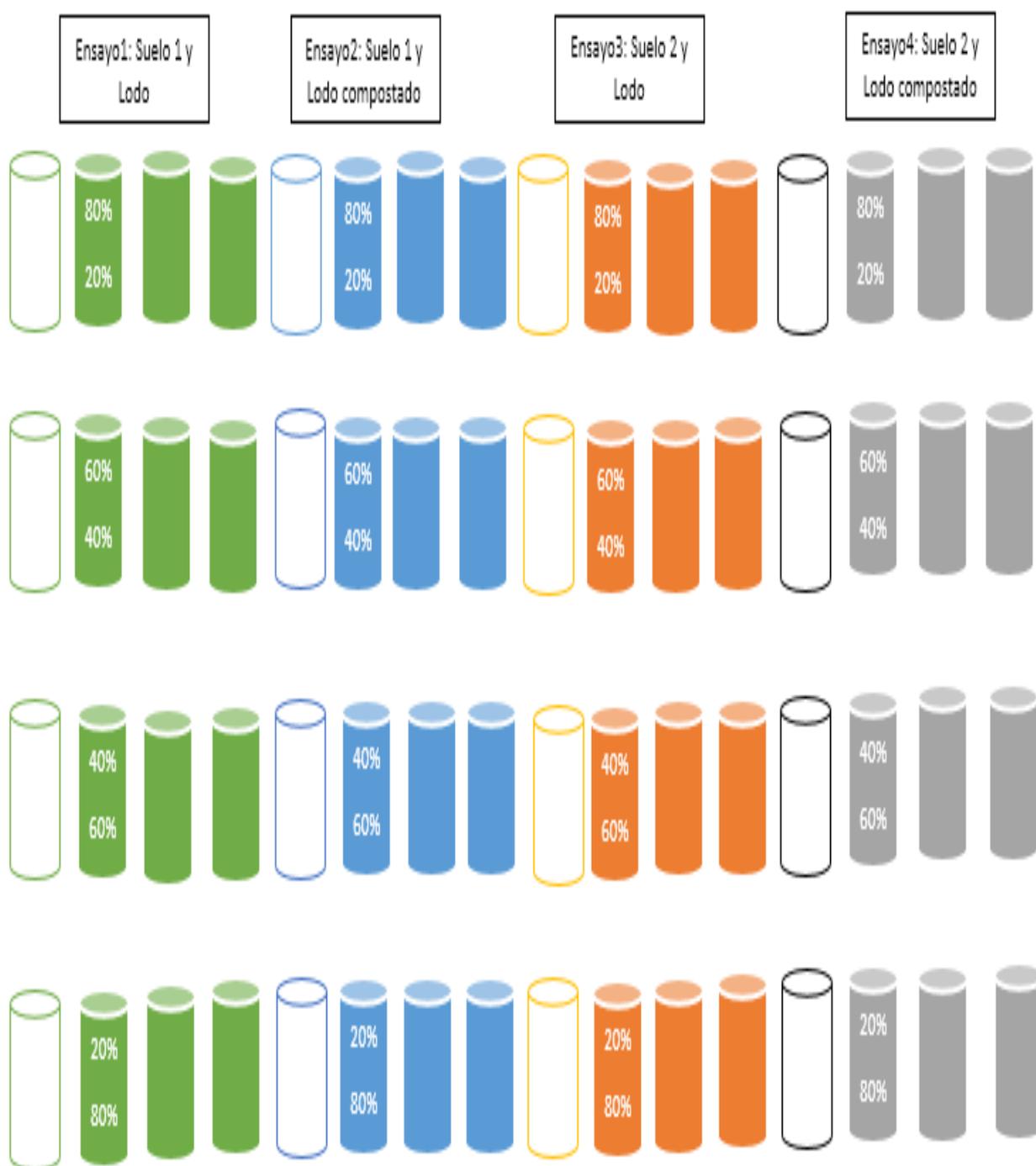
Las porciones de cada tratamiento serán pesadas en una balanza digital, luego mezcladas con la porción de suelo, como la Tabla 10.

El diseño de la unidad experimental se realizó en base a las exigencias de nitrógeno del rábano, equivalente a 80kg/ha (CHC, 2012), modificándose cada una de estas dosis según se requiera.

Con respecto a la frecuencia de riego se realizó cada 02 días entre el horario de las 4pm a 6pm durante cada semana, brindado a cada macetero 1 litro de agua.

**Tratamientos en estudio:** Los tratamientos a estudiar teniendo en cuenta la dosis de lodo, serán los siguientes: Se ensayarán 4 dosis de Lodos detallados de la siguiente manera: 20%,40%,60%,80%.

Tabla 10. Descripción de mezclas y dosis total por cada tratamiento



Ensayo N° 1, lodo seco en la mezcla con suelo agrícola 1.

Ensayo N° 2, lodo compostado en la mezcla con suelo agrícola 1.

Ensayo N° 3, lodo seco en la mezcla con suelo agrícola 2.

Ensayo N° 4, lodo compostado en la mezcla con suelo agrícola 2.

- El ensayo 1 y 3 constara de un lodo seco directamente extraído de la planta de tratamiento.
- En tanto, para el ensayo 2 y 4, se sometido a proceso de compostaje al lodo por un periodo de 9 meses aproximadamente, la cual se realizó como propuesta en Carapongo, la cual, al finalizar su periodo de maduración, se tomara una muestra para su análisis, en el laboratorio acreditado de la Universidad Agraria la Molina, para determinar sus valores en calidad de composta.
- Se tendrá en cuenta que se trabajó con una dosis del 100% equivalente a 2 kg de Lodo, siendo esta dosis aplicada de acuerdo al porcentaje determinado.

#### **3.4.4. Recolección de datos**

##### **3.4.4.1. Técnica de recolección de datos**

La técnica utilizada es de indagación experimental, según el análisis de Carrasco (2006) el elemento de estudio (variable dependiente) es resultado del efecto (variable independiente), el cual es intencionalmente manipulado por el observador, para lo cual las dos serán de estricto control, es decir, el investigador es el que diseña lo que indaga. Por lo tanto, será presentado en esta investigación científica, el observador tendrá el objetivo claro de la investigación, para obtener información de cualquier cambio que se pudo suscitar.

Durante toda la etapa del desarrollo del cultivo *Rabanus Sativus* se recopilaron los diferentes datos de los parámetros biométricos y al finalizar se

realizaron los estudios de las características de calidad de las ejemplares con mejores resultados en rendimiento del cultivo.

**Instrumentos de recolección de datos:** El recurso a utilizar fue una cámara fotográfica para evidenciar imágenes sólidas y confiables durante la evaluación del estudio, para ser detalladas posteriormente por el investigador.

**Instrumentos de observación:** Se utilizó un cuaderno de campo para el registro de diversas observaciones de fenómenos y eventos ocurridos durante de la prueba. Según Carrasco (2006) las herramientas de observación son claras y permiten a los investigadores recopilar y registrar datos en estudio.

#### **3.4.5. Análisis finales de los parámetros fisicoquímicos y biológicos**

De esta manera se procedieron a realizar los análisis finales de los parámetros fisicoquímicos de los maceteros con suelos de mejores rendimientos de cultivo, en el Laboratorio de Análisis, prosiguiendo las metodologías mencionadas a continuación:

- Conductividad Eléctrica (CE, ds/m): Se realizó mediante el método de pasta saturada en una proporción de suelo: agua 1:1 y extracto de pasta saturada., utilizando el Conductímetro portátil del manual HANNA HI9835.

Tabla 11. *Niveles de la conductividad eléctrica del suelo*

<b>Clase</b>	<b>dS/m (mmhos/cm)</b>
No salino	0 - 2
Muy ligeramente salino	2 - 4
Ligeramente salino	4 - 8
Moderadamente salino	8 - 16
Fuertemente salino	>16

- Ph del suelo: Se aplicó el método de potenciómetro, relación agua-suelo 1:1 y en la pasta saturada. Utilizando el PH-metro portátil del manual HANNA HI8424. Se introdujo el electrodo del potenciómetro en la solución, se lavó con agua destilada y se anotó el valor de la lectura estable para la posterior clasificación del suelo según los rangos definidos en la tabla 12:

Tabla 12. *Rangos del pH del suelo.*

<b>Clasificación del pH del suelo</b>	<b>Rangos</b>
Fuertemente ácido	<5.5
Moderadamente ácido	5.6 - 6.0
Ligeramente ácido	6.1 - 6.5
Neutro	6.6 - 7.3
Ligeramente alcalino	7.4 - 7.8
Moderadamente alcalino	7.9 - 8.4
Fuertemente alcalino	>8.5

- Materia Orgánica (%): Consistió en el procedimiento volumétrico de combustión húmeda según el método de Walkley y Black % M.O. = % C x 1,724. Seguidamente se realizó el mezclado y oxidación del carbono orgánica con dicromato de potasio.

- El nitrógeno total se utilizó el método Micro Kjeldahl.
- La concentración del fósforo mediante la técnica de Olsen Modificado, usando el extracto  $\text{NaHCO}_3$  0.5 M, pH = 8.5.
- El potasio disponible se determinó con el método de Extracto de Acetato de Amonio 1N, pH 7,0.
- La CIC se empleó el método de acetato de Amonio 1N, pH 7,0.
- Para cationes cambiabiles:  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Na}^+$  se realizaron siguiendo el proceso de espectrofotometría de absorción atómica.

#### **3.4.5.1. Procedimiento de análisis en laboratorio**

Las muestras de suelo fueron trituradas y zarandeadas con un tamiz N°10, para comenzar con los análisis fisicoquímicos de pH, conductividad eléctrica, textura y color con el método de medición recomendado por la *Agencia ambiental* (EPA).

#### **3.4.6. Calidad de las plantas**

Se realizó una caracterización visual y biométrica de cada especie por cada órgano parte aérea y radicular durante la germinación y el desarrollo de la planta con ayuda de fichas de seguimiento para monitorear el cultivo.

Al inicio se observó la germinación del cultivo y el tiempo, en la raíz o fruto el diámetro que lograron desarrollar, en las hojas se contabilizaron la cantidad y en el tallo se midieron el largo y ancho, finalmente se realizó el pesado del cultivo completo y solo el fruto. Posterior a ello se realiza el análisis de higienización de fruto para el consumo humano.

### **3.4.7. Procesamiento de datos**

Los resultados de lodos residuales fueron comparados según el D.S. N° 015-2017-Vivienda con el parámetro de los huevos de helmintos totales para la clasificación del biosólido A o B.

Los resultados obtenidos del lodo compostado (Compost): A nivel nacional no existen regulaciones que indiquen los parámetros físicos, químicos y biológicos de los compost sometidos a cualquier método, por lo cual la investigación se basó en leyes extranjeras.

Se evaluaron tres parámetros considerados en Normativa chilena INN 2439 del año 2004, en el cual detalla las características de un compost para uso agrícola. A su vez, se utilizó la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI- 2008, de igual forma se consideró los equivalentes parámetros. Se compararon los resultados con los dos estándares para establecer el tipo de compost obtenido. Los tres parámetros evaluados fueron (relación C/N, materia orgánica} y pH) para determinar la calidad del compost, los valores fueron:

- Relación C/N en Compost : Clase A: menor o igual a 25, Clases B: menor o igual a 30, Compost Inmaduro: Máximo 50.
- pH en Compost: todas las clase de 5-8.5
- Materia orgánica: El contenido para este parámetro para todas las clases de compost (compost clase A, clase B e inmaduro) el valor debe ser mayor o igual a 25% en base seca.

### **3.5. Variables de estudio**

#### **3.5.1. Variable independiente**

Se utilizaron como variable independientes dos tipos de lodos residuales (lodo compostado y lodo seco), siendo utilizadas en cada tratamiento para determinar el efecto que genera sobre el cultivo y el suelo.

#### **3.5.2. Variables dependientes**

Para poder conocer que los suelos agrícolas y suelo arenoso hayan sido tratado y por ende mejorado su producción en de los cultivos y su potencial agrícola, este dependerá de las características medibles, por tal motivo desempeñaran el rol de variable dependiente, evaluando los siguientes factores:

- Rendimiento del cultivo: Biometría de la planta, Biomasa de la planta
- Calidad del suelo: pH, Materia Orgánica, Conductividad Eléctrica (CE), NPK.
- Metales pesados, si sobrepasaran los valores límites permisibles detallados en la norma mencionada al inicio de la aplicación
- Patógenos: Huevos de helmintos en lodos y fruto.

### **3.6. Operacionalización de variables**

Las variables evaluadas deben de cumplir las dimensiones de acuerdo a sus indicadores planteados en la investigación y según los requerimientos mencionados en la tabla 13.

Tabla 13. *Medición de variables en estudio.*

<b>Variables</b>	<b>Dimensiones</b>	<b>Indicadores</b>	<b>Unidad de Medida</b>	<b>Escala de Medición</b>	<b>Instrumentos</b>
Rendimiento del Cultivo	Biometría	Altura	cm	Continua	Cinta métrica
		Cantidad de hojas	cm	Discreta	-
		Biomasa de la planta	gr	Continua	Gravimétrico
		Peso del rábano	gr	Continua	Gravimétrico
		Ph	mg/kg	Continua	Potenciómetro
		Conductividad eléctrica	dS/m	Continua	Conductímetro
		Materia Orgánica	%	Continua	Walkley y Black
Calidad de Suelos	Propiedades fisicoquímicas	Nitrógeno	%	Continua	Colorimetría
		Fosforo(P)	%	Continua	Método Olsen modificado
		Potasio (K)	%	Continua	Extracto de Acetato de amonio
		Cationes cambiabiles	Cmol(+)/kg	Continua	Espectrofotometría
		Ph	pH	Continua	Potenciómetro
	Microbiológico	Huevos del helminto	HH/g	Discreta	NMP

Fuente: Propia

### 3.7. Tipo de investigación

La investigación fue aplicada porque se caracterizó por la utilidad de la aplicación de conocimientos teóricos a determinada situación específica, ante lo cual se diseñan propuestas a ser intervenidas para llegar a determinar el riesgo que presenta el experimento para resolver la problemática en estudio.

### 3.8. Método de investigación

Se desarrolló el método de estudio experimental, porque se aplicaron diferentes dosis de 2 tipos de lodos (compostado y lodo seco) en diferentes suelos

agrícolas, evaluando de esta manera el efecto sobre el rábano y los parámetros de calidad del suelo.

El requisito fundamental para ser considerado experimental es realizar manipulación intencional de una o más variables. De las cuales la variable independiente se considera como la causa y el resultado se conoce como la variable dependiente, el segundo requisito a tener en cuenta es la variable dependiente no se manipula, sino que se mide observando el efecto que se tiene sobre él.

Finalmente, el último requisito es que todo experimento debe de contar con un tratamiento control o testigo para la validez experimental. Ya que es importante para saber si en el experimento en el caso se observara una o más variable independientes, que ellas modifican a las variables dependientes. Logrando así determinar con precisión que esa variación se debe por la manipulación de las variables independientes y no por factores externos, para así poder estar seguro que no existió influencia de otras variables en nuestro experimento (Hernández et al., 2010).

### **3.9. Diseño de investigación**

Para la distribución de los tratamientos se eligió el Diseño Completamente al Azar (DCA) con un arreglo factorial de  $2 \times 4 \times 2$ , sobre la cual se pretenderá manipular 2 tipos de biosólidos a 4 diferentes dosis, en 2 tipos de suelo (agrícola 1 y suelo agrícola 2 ), teniendo como factor el rendimiento del cultivo y mejoramiento de suelos, cabe resaltar que se realizaran en 4 repeticiones, desarrollándose en recipientes de 2 kg de (suelo agrícola y composta) y (suelo agrícola y lodo) cada

uno, en las cuales se sembraron 3 plántulas de rabanito, cada uno con 4 repeticiones, logrando de esta manera 64 módulos experimentales.

### **3.10. Análisis Estadístico**

Al finalizar el proceso de la aplicación del lodo residual los resultados fueron sometidos y procesados mediante el software R versión 3.6 y Microsoft Excel 2016. Los datos fueron obtenidos a través de análisis gráficos y descriptivos de estadísticos, para comparar diferencias entre medias para los tratamientos se usó el Test de varianza ANOVA, posterior a ello la prueba de TUKEY TEST, y en cuanto a la calidad del suelo se hicieron los análisis de *t-Student* entre los parámetros de calidad especificado de los suelos con mejor rendimiento de cultivos.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1. Caracterización inicial de Suelo y lodos –PRE TRATAMIENTO

##### 4.1.1. Caracterización de suelos iniciales

Se evaluaron las características de los suelos iniciales, obteniendo los datos en la tabla 14, obtenidos durante el análisis en el Laboratorio de La Universidad Agraria La Molina. Las muestras fueron obtenidas de 2 tipos de suelos: suelo agrícola y suelo de la orilla del río.

Tabla 14. *Características químicas de suelos Pre-Tratamiento*

Suelos de intervención		Características																			
Número de Muestra		C.E.					Análisis Mecánico			Clase	CIC	Cationes Cambiables					Suma	Suma	%		
Lab	Claves	pH	(1:1)	CaCO <sub>3</sub>	M.O.	P	K	Arena	Limo	Arcilla	Textural		Ca <sup>+2</sup>	Mg <sup>+2</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>	Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>	de	de	%	N %
		(1:1)	dS/m	%	%	ppm	ppm	%	%	%		meq/100g					Cationes	Bases	Bases		
01	Suelo agrícola	7.78	0.32	0.30	0.07	10.9	73	84	12	4	A.Fr.	6.00	5.08	0.52	0.09	0.31	0.00	6.00	6.00	100	0.06
02	Suelo arenoso	7.34	2.67	0.80	1.17	63.0	293	70	22	8	Fr.A.	9.12	7.40	0.88	0.43	0.41	0.00	9.12	9.12	100	0.09

Fuente: Laboratorio de Suelos de la Universidad Agraria la Molina, 2021

En ello se observa según las muestras analizadas se tiene un suelo ligeramente alcalino siendo el rango del pH de 7.4 a 7.8, asimismo se observa a la cantidad de materia orgánica es de categoría baja con valores de 0.07 y 1.17, lo que se observa la carencia de nutrientes para el desarrollo de los cultivos. Asimismo se observa que el suelo arenoso la conductividad eléctrica se encuentra en rango de 0-3,16 siendo un suelo ligeramente salino y el suelo agrícola en suelo neutro.

##### 4.1.2. Caracterización de lodos residuales

Se evaluaron las características del lodo en el Laboratorio DeltaLab, analizando los parámetros de elementos metales y la presencia de microorganismos, los resultados según la tabla 15, fueron comparados con los rangos permitidos de la normativa peruana y mexicana.

Tabla 15. Características químicas del lodo residual de PTAR-Santa Clara

Parámetros	Resultados (mg/kg PS)	Normativa peruana (mg/kg PS)	Normativa mexicana (mg/kg PS)
Arsénico	2.21	40	41
Cadmio	0.04	40	39
Cromo	0.03	1200	1200
Cobre	117.1	1500	1500
Plomo	0.87	400	300
Mercurio	1	17	17
Níquel	0.05	400	420
Zinc	619.9	2400	2800

Fuente: Informe de ensayo 1903067, DeltaLab SAC, Lima, 19-03-2019

La tabla 15, muestra que los elementos químicos potencialmente tóxicos en el lodo residual de la PTAR SEDAPAL-Santa Clara presentan concentraciones menores de los niveles requeridos por la Norma Peruana y Normativa Mexicana NOR-004-SEMARNAT-2002, por lo cual su reutilización es admisible.

Tabla 16. Caracterización de higienización de parámetros de biosólidos

INDICADOR	RESULTADOS	NORMA PERUANA	NORMA MEXICANA	TIPO	APLICACION	CLASE
Coliformes fecales	4, x 10*6 NMP/g	<1000 NMP/1g ST	menor a 2000 000 NMP/g	Clase C	Usos forestales, mejoramiento de suelos y uso agrícola.	BUENO
Salmonella spp	0	<1NMP/10g ST	menor a 3	Clase A	Uso urbano con contacto directo durante su aplicación. Los establecidos para la clase B y C.	EXCELENTE
Huevos de helmintos (huevos de ancylostoma)	200 (N°Org/g)	<1/4g ST	menor de 35	Clase C	uso forestal, mejorador de suelos y uso agrícola	BUENO

Fuente: Informe de ensayo 1903067, DeltaLab SAC, Lima, 19-03-2019

De acuerdo a los análisis realizados en la tabla 16, se aprecia que el lodo residual empleado en la presente investigación según la normativa mexicana se encuentra categorizado en Clase A y C, siendo el grado de higienización alta se clasificara en un lodo Clase C siendo un lodo bueno para uso forestales, mejoramiento de suelos y uso agrícolas. Ante la presencia de coliformes fecales y huevos de helmintos se utilizó la técnica de compostaje mediante aplicación de Microorganismos Eficaces.

#### 4.1.3. Caracterización de compost

Se caracterizaron el compost del resultado del proceso de compostaje de los lodos con materia orgánica empleando microorganismos eficaces, obteniendo los valores mencionados en la tabla 17.

Tabla 17. *Clasificación de compost de lodos*

<b>Parámetros</b>	<b>Resultado Lodo compostado</b>	<b>Rango según Normativa Mexicana INN 2439-2004 Chile NMX-FF-109-2008</b>	<b>Clasificación de compost</b>
Relación C/N	10.23	Clase A: $\leq 25$ Clase B: $\leq 30$ Clase Inmaduro: máximo 50	Clase A
pH	6.02	Clase A y Clase B pH 5-8.5	Clase A y Clase B
Materia orgánica	32.71	$\geq 25\%$	Clase A

Los resultados comparados según la tabla 17, la relación de C/N fue de 10.23 encontrándose dentro del Compost de Clase A, en el pH se obtuvo 6.02 siendo aceptable, en materia orgánica se alcanzó 32.71% mayor a lo establecido de 25%. Por lo cual, compost de lodos obtenido está clasificados como Compost de clase A, de esa manera según las normativas el compost pueden ser utilizados sin restricciones.

## 4.2. Efecto del uso de lodo compostado y lodo seco sobre las propiedades fisicoquímicas en suelos agrícolas y rendimiento del Cultivo

### 4.2.1. Rendimiento del cultivo *Raphanus Sativus* a diferentes dosis de lodo compostado y lodo seco

La germinación del cultivo se evidenciaron en promedio al tercer día de realizada la siembra en la mayoría de los tratamientos, sin embargo, se observó que en el tratamiento T3 (60% lodo compostado + 40% arena) la germinación se dio al segundo día de la siembra debido a que los tratamientos presentaron una buena retención de líquido favoreciendo en la germinación, seguidamente los tratamientos (20%, 40% y 80% de lodo compostado) se mantuvieron en un rango de 3 a 15 días de germinación según figura 4.

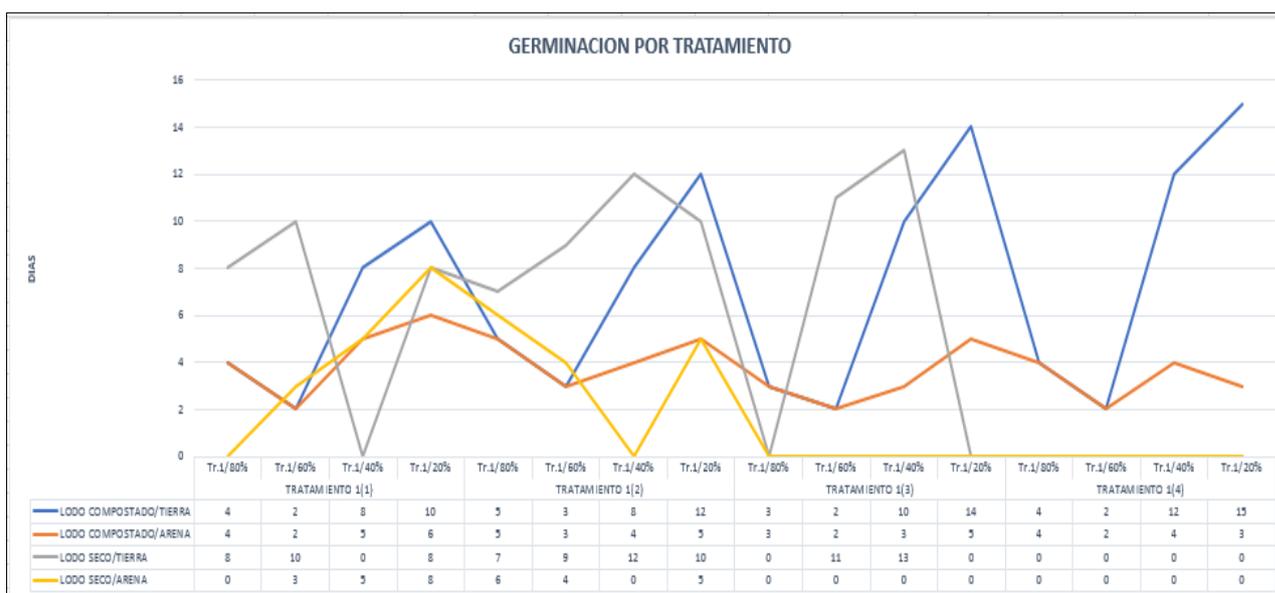


Figura 4. Comparacion de germinacion por tratamientos

Según se evidencia en la figura 4, se obtuvieron una baja germinación en el tratamiento con lodos secos, la causa a este principal impedimento físico se debió al lodo debido que su alta concentración generó grandes y compactos terrones, impidiendo la humedad y oxigenación para las semillas. Los datos reportados coinciden con lo evidenciado por Ramirez & Perez(2006) en una investigación

realizada con lodos procedentes de tratamientos de agua residual “El Salitre”- Colombia, sobre el cultivo de rábano.

#### 4.2.2. Numero de hojas de *Raphanus Sativus* en suelo cultivado con Lodo compostado

Las numero de hojas cotiledóneas entre los cultivos no fue significativamente diferente entre los tratamientos, sin embargo, en el T2 (60% lodo compostado), el número de hojas fue diferente a lo demás tratamientos. Aunque en los tratamientos T1 y T4 se presentó menor número de hojas, asimismo, para el T1 (80% de biosólido) presento menor cantidad de hojas según la figura 5.

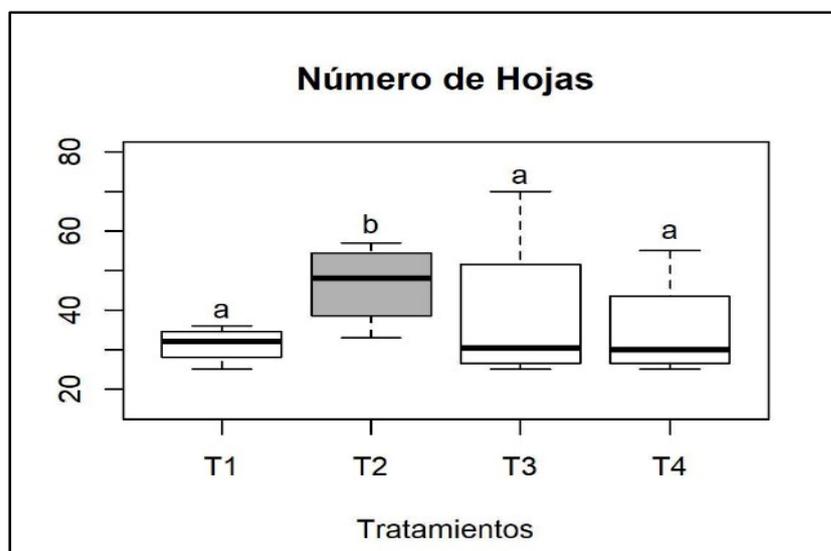


Figura 5. Numero de hojas en plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con tierra.

Estos resultados se deben a la cantidad alta aplicada de biosólidos, aportando concentraciones elevadas de nutrientes de zinc y fosforo produciendo reducción en el desarrollo foliar (Azcón & Talon, 2000). Así mismo, por su lado en la investigación de Ramirez & Perez (2006), fortalece los resultados de una concentración alta de biosólidos (100%), en el área de siembra no es lo adecuada para el desarrollo de la planta, por la estabilidad física y los niveles altos de fosforo

y zinc. Por otro lado, en el T4 (concentración de 20% de biosólido) se observa que la insuficiencia de estos nutrientes influyen negativamente en el desarrollo de las plantas.

Para el tratamiento de lodo compostado y arena se observa en la figura 5 el número de hojas no presentaron diferencias significativas entre los tratamientos, sin embargo en el T2 (60% de lodo compostado) y T3 (40%) existe mayor cantidad de hojas, tal como se menciona líneas arriba el exceso y la deficiencias de nutrientes influyen de manera negativa en el desarrollo del cultivo según figura 6.

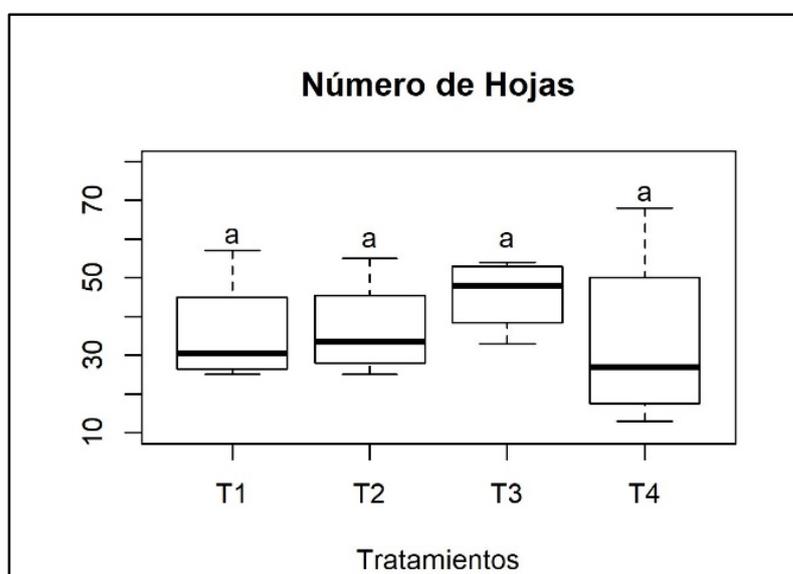


Figura 6. Número de hojas en plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosólidos compostados con arena.

Además, en la investigación de Rhode (1962), demuestra que las altas concentraciones de Zn y Cd en los lodos utilizados como abono orgánico, influyen en el crecimiento lento de los cultivos (Salcedo et al., 2007). El Zn se incrementa en suelos con altas concentraciones de lodos produciendo la toxicidad en los cultivos (Salcedo et al., 2007)

#### 4.2.2.1. Comparación de número de hojas entre tratamientos de biosólido con suelo agrícola y arena en diferentes dosis

Las hojas cotiledóneas brotaron en todos los tratamientos a los 2 a 5 días después de la siembra. Entre los tratamientos no se presentaron diferencias significativas en el número de hojas, sin embargo en los dos tratamientos T1 (80% de biosólido) y T4 (20% biosólido) presentaron menor número de hojas según se observa en imagen 7.

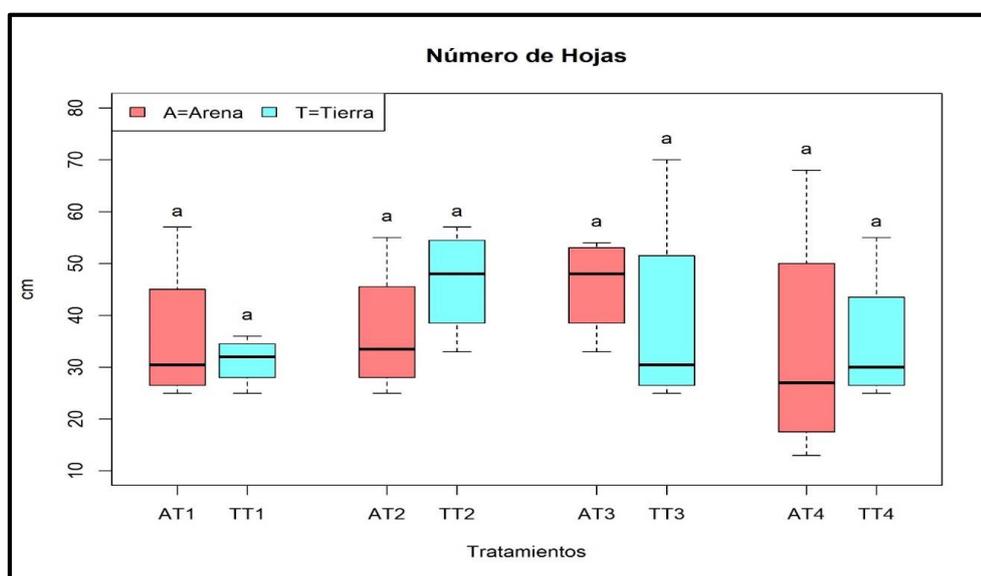


Figura 7. Numero de hojas en plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosólidos compostados con tierra y arena.

Estos resultados se vieron afectados por la aplicación de concentraciones altas de biosólidos contribuyendo altos niveles de nutrientes como fósforo y zinc que causan una disminución en el desarrollo foliar (Ramirez & Perez, 2006). Los lodos favorecen en la síntesis de la clorofila, favoreciendo la disponibilidad de nitrógeno esencial en la estructura del porfirina importante para el compuesto metabólico de la clorofila, para posterior influenciar en la síntesis de las moléculas de proteína (Zafar et al., 2021).

#### 4.2.3. Longitud del cultivo de *Raphanus Sativus* en suelos con lodo compostado

Para las medidas biométricas del rábano, la altura del cultivo no presentó diferencias típicas entre los tratamientos de tierra en diferentes concentraciones de biosólidos. Sin embargo, se observa que el T1 (80% de biosólido) y T2 alcanzó la mayor longitud mayor de 25 cm, por otro lado el tratamiento T3 y T4 una longitud menor a 25 cm.

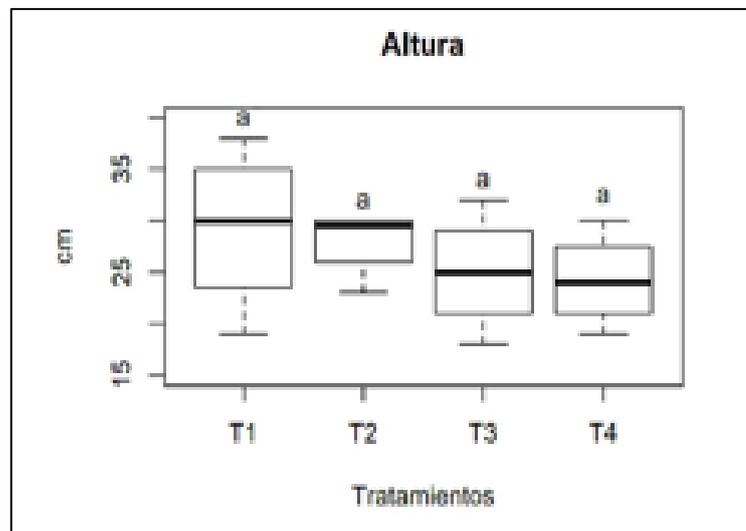


Figura 8. Longitud total del rabano rojo, raphanis sativus L., despues de la cosecha en las distintas mezclas de biosolido compostado y tierra. Los tratamientos con diferentes letras , representan diferencias significativas

El lodo compostado tiene muchos nutrientes que se descomponen y mineralizan con rapidez y facilidad en el suelo, consiguiendo aportar concentraciones altas de N y P para el consumo de las plantas. Por otro lado en el estudio realizado con maíz se observó que en la aplicación de grandes concentraciones de lodos sin ningún tratamiento perturba sobre la planta en el lento grado de mineralización o transformación de nutrientes afectando en su desarrollo y crecimiento por lo cual es importante estabilizar e lodo antes de su manipulación (Vaca et al., 2006). Según el trabajo de Ramirez Pisco & Perez Arenas (2006) en la aplicación de biosólidos en el uso agrícola con el cultivo de rábano.

La causa principal por la cual se indican las discrepancias en la longitud del rábano es la diferencia en concentración de fósforo presente en el suelo y biosólido. El otro nutriente que puede provocar un crecimiento deficiente de las plantas es el exceso y carencia del zinc (suelo 12,7 ppm, biosólido 43,8 ppm).

Para este tratamiento de compost con arena según figura 9, la altura del rábano presentó variación entre los tratamientos en diferentes concentraciones de biosólidos. La mayor longitud la alcanzo el tratamiento T2 (60% de biosólido) siendo esta mayor a 25cm, un nivel intermedio el T1 y T3 con 20 – 30 cm y el tratamiento T4 alcanzo una longitud menor a 20 cm. Esta diferencia se debe al elevado contenido de fosforo y el biosólido. Además, el zinc es el nutriente que puede hacer que las plantas crezcan mal si el contenido es en exceso o decreciente (Ramirez & Perez, 2006).

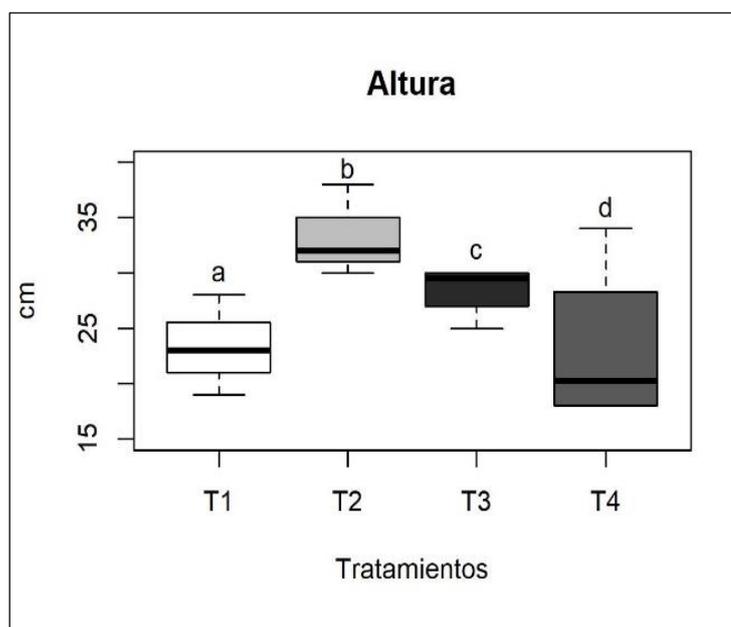


Figura 9. . Longitud total del rabano rojo, raphanus sativus L., después de la cosecha en las distintas mezclas de biosólido compostado y arena. Los tratamientos con diferentes letras, representan diferencias significativas.

#### 4.2.3.1. Comparación de longitud de *Raphanus Sativus* entre tratamientos de biosólido con suelo agrícola y arena en diferentes dosis

Para el caso de comparación entre ambos tratamientos según figura.9, se observó que existen diferencias significativas, obteniendo con una longitud mayor a 20 cm en los tratamientos 2 y 3, y con menor longitud en el T4 menores a 25 cm, La principal razón se debe a la carencia y el exceso de nutrientes, siendo el zinc un nutriente que influyo en el bajo desarrollo del cultivo en contenido tanto de exceso y deficiencia de lodos según figura 10.

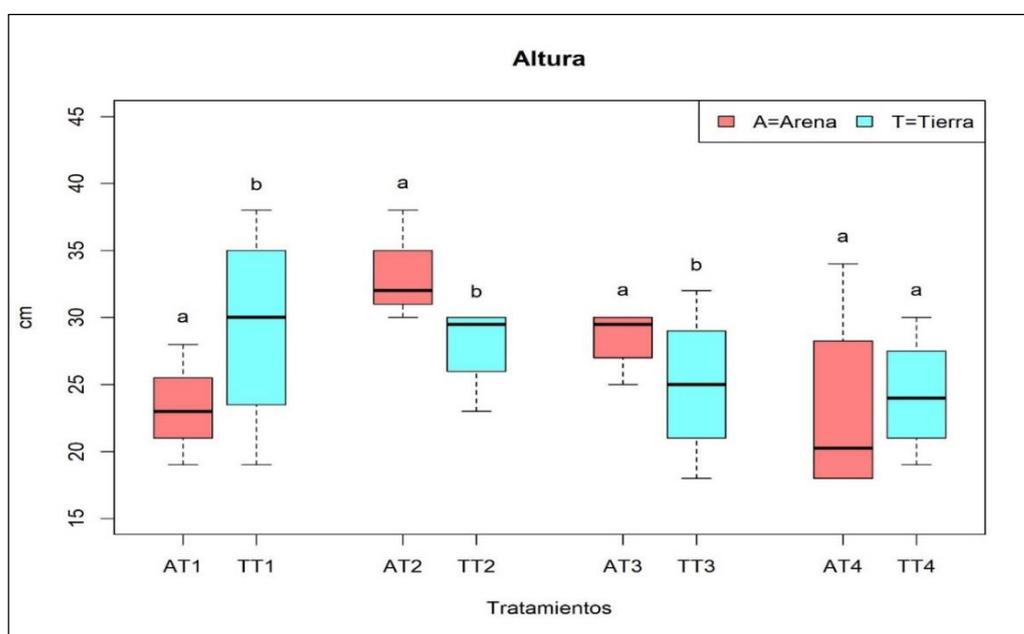


Figura 10. Comparacion de Alturas del cultivo de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con tierra y arena.

#### 4.2.4. Peso de rábano (fruto) y hojas

En el tratamiento de mezcla de lodo compostado y tierra de suelo agrícola, el peso del fruto de rábano presentaron diferencias significativas, es así como, el peso superior presento el tratamiento T2 (80% biosólido) alcanzando un peso mayor a 40mg, seguidamente por el T3 con un peso entre el rango de 20 mg y

menor de 40 mg. Por otra parte el peso menor se observó en los tratamientos T1 y T4, siendo inferior a 20mg según se observa en la imagen 10, este resultado de peso superior en la planta se obtuvo por la presencia del fósforo, el macronutriente que influye en la fotosíntesis y la respiración, el desarrollo de la raíz, ya que se debe de tener en cuenta que la raíz (rábano) afecta en el peso de la planta. (Ramirez & Perez, 2006) Según el estudio del fósforo influyó de manera positiva en el desarrollo radicular.

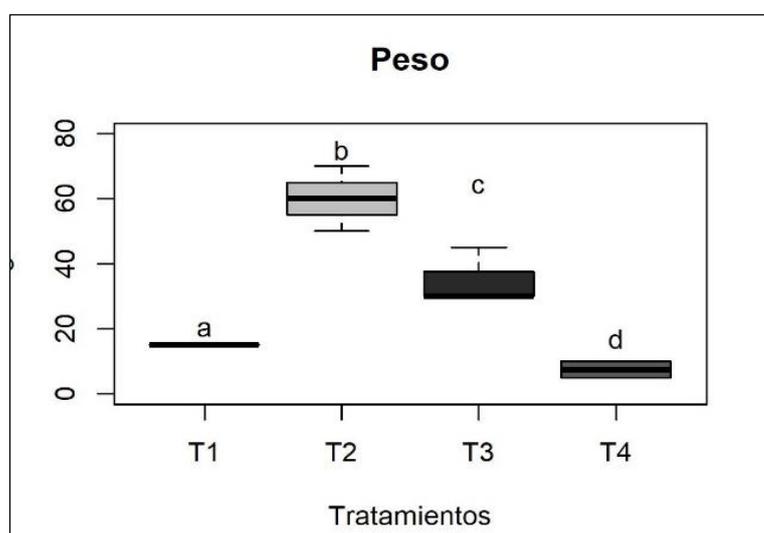


Figura 11. Pesos de las plantas de rábano, presentes en diferentes dosis de biosólidos compostados con tierra agrícola.

Para el tratamiento de mezcla de lodo compostado y arena, el peso del fruto de rábano presentaron diferencias significativas, es así como, el peso superior presentó el tratamiento T2 (40% biosólido) alcanzando un peso de 40mg, seguidamente por el T3 con un peso mayor a 20 mg y menor de 40 mg y el peso menor se evidenció en los T1 y T4, siendo inferior a 20mg según la figura 11. En el estudio realizado por (Ramirez & Perez, 2006) mostraron que en el T2 (75% de biosólido) y T3(50% biosólido) el cultivo de rábano presentaron una longitud y área

foliar mayor, siendo reflejado en un mayor tamaño de la raíz, esto se debe a las concentraciones apropiadas de fosforo en el abono.

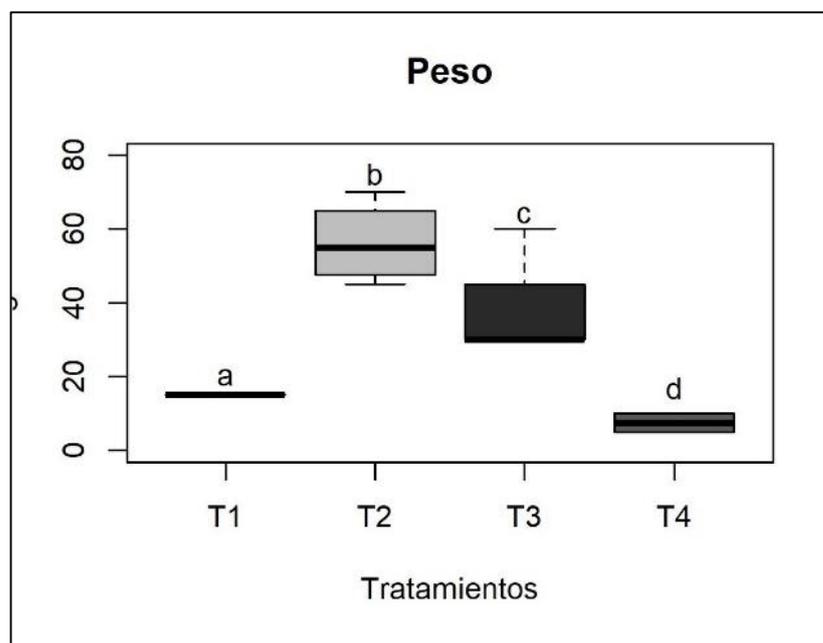


Figura 12. Pesos de las plantas de rabano, presentes en diferentes dosis de biosolidos compostados con arena.

Además, el compostaje de lodos reduce amidas, éteres, esteres y grupos carboxilos presentes en lodos, sirviendo como fuente de energía para los microorganismos existentes (Vaca et al., 2006). Ante ello, la aplicación de lodo compostado o lodo fresco acelera la transformación del carbono, en donde la materia orgánica se convierte en sales minerales, para que posteriormente los elementos fertilizantes sean asimilables por las plantas y lleven a cabo procesos metabólicos (Vaca et al., 2006).

El lodo compostado presenta un alto contenido de carbohidratos que influyen la actividad biológica y metabólica del carbono siendo el principal alimento de microorganismo que estimulan la germinación de las plantas y el crecimiento radicular, asimismo, se tiene las proteínas importantes en la mineralización de

amino azucares por el enriquecimiento del suelo con nitrógeno, favoreciendo en el desarrollo de la planta, Adicional se tiene la existencia de polisacáridos que favorecen en la estabilidad e intercambio de nutrientes y la formación de complejos iones metálicos. Por ende, estos factores son los que intervienen en el crecimiento de la planta y la radícula del rábano, según la cantidad de la dosis aplicada dependerá e desarrollo del cultivo, mientras que la dosis sea en exceso y escaso influenciaran de manera negativa, según se puede observar en los resultados.

#### 4.3. Higienización del cultivo de *Raphanus Sativus*

En la tabal 18 se observa los resultados del análisis microbiológico en las cuales nos indica la presencia de *Escherixhia Coli* en un porcentaje de  $1,0 \times 10^1$  ufg, asimismo, se realizó la comparación con la normativa 071-MINSA/DIGESA, de las cuales el cultivo es aceptable para el consumo . Sin embargo se debe de someter a un proceso de desinfección, lavado y precocido antes del consumo. La existencia de mesofilos se debe a la presencia de materia prima excesivamente contaminada y mala manipulación del alimento (patógenos).

Tabla 18. *Caracterizas microbiológicas en Raphanus Sativus*

INDICADORES DE HIGIENIZACION (Agente)	RESULTADOS	NORMA PERUANA NTS N°071-MINSA/DIGESA	
		(FRUTAS Y HORTALIZAS)	CLASIFICACION
<i>Escherichia Coli</i>	$1.0 \times 10^1$ u.f.c/g	$10^2$ A $10^3$	Sin ningún tratamiento
<i>Salmonella sp</i>	No detectado	Ausencia/25g	
<i>Listeria Monocytogenes</i>	No detectado	Ausencia/25g	Semi procesada
<i>Aerobios Mesofilos</i>	$2.2 \times 10^6$ u.f.c/g	$10^4$ - $10^6$	Procesada

FUENTE: Norma NTS N°071-MINSA-DIGESA, resultados de informe PE01-00024743-1, 2021.

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1. Conclusiones

- El lodo residual de la planta de tratamiento SEDAPAL es de Clase C, siendo reutilizado para el uso forestal, remediación de suelos y usos agrícolas concluyendo que es un lodo bueno.
- El efecto del lodo seco sobre el suelo fue nulo porque durante la ejecución de la investigación porque no se obtuvieron evidencias de la germinación del cultivo de Rábano en los diferentes tratamientos con lodo seco.
- El lodo compostado fue de clase A de uso sin restricciones, sobre el suelo y el cultivo fueron favorables, evidenciando la germinación y desarrollo de los cultivos en las diferentes dosis del lodo compostado.
- Las dosis de lodo compostado y las mezclas con suelo arenoso y agrícola fueron las concentraciones del tratamiento T2 (80% de lodo compostado) y T3 (50% de lodo compostado) evidenciando de esa manera tener concentraciones óptimas de fósforo y zinc hacia el cultivo, lo que permitió el desarrollo del proceso de fotosíntesis.
- La dosis óptima de biosólidos para el rendimiento del cultivo fue de 40% de suelo agrícola y 60% de lodo Compostado.
- El cultivo de Raphanus sembrados con la aplicación de lodos compostado no presento contaminación microbiológica convirtiéndose en apto para el consumo humano.

## **5.2. Recomendaciones**

- Realizar estudios de la aplicación de lodos compostado en diferentes cultivos.
- Realizar investigaciones aplicando técnicas de reducción de microorganismos en el lodo.
- Realizar más investigaciones sobre la aplicación de lodos en lugares con mayor precipitación, para evaluar la toxicidad en el suelo.

## REFERENCIAS

- Angelidis, M. O., & Aloupi, M. (2008). Assessment of sewage sludge quality in greece. *Toxicological & Environmental Chemistry*, Setiembre, 37–41.  
<https://doi.org/10.1080/02772249909358651>
- Angin, I., & Yaganoglu, A. V. (2011). Effects of sewage sludge application on some physical and chemical properties of a soil affected by wind erosion. *J. Agr. Sci. Tech*, 13, 757–768. [http://jast-old.modares.ac.ir/article\\_4741\\_e263a715032686a15283e212acdb845c.pdf](http://jast-old.modares.ac.ir/article_4741_e263a715032686a15283e212acdb845c.pdf)
- Araque, M. del P. (2006). *Evaluación de los tratamientos termicos y alcalino en La desinfección del lodo generado en la Ptar El Salitre*.  
[file:///C:/Users/Andreina/Downloads/Evaluación\\_tratamientos\\_térmico\\_alcalino\\_desinfección\\_lodo\\_generado\\_PTAREISalitre.pdf.pdf](file:///C:/Users/Andreina/Downloads/Evaluación_tratamientos_térmico_alcalino_desinfección_lodo_generado_PTAREISalitre.pdf.pdf)
- Buchelli, H. A. (2014). *PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE DE BAGAZO DE CEBADA, EXCRETAS DE VACUNO Y SUERO DE QUESERÍA MEDIANTE FERMENTACIÓN HOMOLÁCTICA* [Universidad Nacional Agraria La Molina].  
<http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2335/F04-B919-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Burducea, M., Trofin, O., Stoleru, T., Amdrei, L., Teliban, G., Onofrei, V., & Zamfirache, M. (2016). ON THE AGRICULTURAL USE OF SEWAGE SLUDGE IN ROMANIA. *Lucrări Științifice –*, 59(2), 147–151.
- Castillo, J., Balarezo, L., Vincés, M., & Zambrano, H. (2020). Alternativas en la estabilización de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. *REVISTA RIEMAT*, 5(1), 23–28.

Cineira, G., & Lavado, R. (2006). Efecto del aporte de enmiendas orgánicas sobre propiedades físicas e hidrológicas de un suelo urbano degradado. *Ciencia Del Suelo*, 24(2), 123–130.

[http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1850-20672006000200004](http://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1850-20672006000200004)

Denobili, M., Cercignani, G., Leita, L., & Sequi, P. (2008). Evaluation of organic matter stabilization in sewage sludge. *Communication in Soil Science and Analysis*, Noviembre, 37–41. <https://doi.org/10.1080/00103628609367777>

Farooque, A. A., Zaman, Q. U., Madani, A. L. I., Abbas, F., Percival, D., & Esau, T. J. (2011). Ecological impacts of the N-viro biosolids land-application for wild blueberry ( *Vaccinium angustifolium* . Ait ) production in Nova Scotia. *Journal of Environmental Science and Health Part B*, 1234, 366–379.

<https://doi.org/10.1080/03601234.2011.559895>

Fourti, O. (2013). The maturity tests during the composting of municipal solid wastes. *“Resources, Conservation & Recycling,”* 72, 43–49.

<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.001>

Francisco, J., Ramos, P., & Aguirre, G. (2011). Potential use in agriculture of sewage sludge from Puente Piedra’s waste water treatment plant - Lima. *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 77(1), 66–74.

[http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2011000100008](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2011000100008)

Garcia, C., Moreno, J., & Hernández, T. (1999). Effects of a cadmium-contaminated sewage sludge compost on dynamics of organic matter and

microbial activity in an arid soil. *Biol Fertil Soils*, 230–237.

Garcia, M. (2011). *Rehabilitacion de un suelo con bajo perfil de nutrientes aplicando biosolidos como fertilizante*. Instituto Politecnico Nacional.

Gonzalez, I. C. (2015). *Generación, caracterización y tratamiento de lodos de EDAR* [Universidad de Cordova].

<https://helvia.uco.es/bitstream/handle/10396/13199/2016000001232.pdf?sequence=3>

Haug, R. T. (1993). *The practical handbook of compost engineering*.

[https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=i0taDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT21&dq=The+practical+handbook+of+compost+engineering.+Lewis+Publishers,+EUA.+717+pp&ots=M881LVHdzk&sig=zG3-QKW-9WRJSMwJXuG\\_Wy2bHc8#v=onepage&q&f=false](https://books.google.com.pe/books?hl=es&lr=&id=i0taDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT21&dq=The+practical+handbook+of+compost+engineering.+Lewis+Publishers,+EUA.+717+pp&ots=M881LVHdzk&sig=zG3-QKW-9WRJSMwJXuG_Wy2bHc8#v=onepage&q&f=false)

Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, M. del P. (2010). *Metodología de la investigación, 5ta Ed* (INTERAMERICANA EDITORES S.A (ed.); 5ta ed.).

Jimenez, M. del C., Exposito, J. L., Hernandez, M., & Gomez, M. A. (2018). *Ciencias del Agua: perspectiva desde la academia* (1st ed.).

<http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/80347/Portada,ISBN,Indicador,CAPXIII.pdf?sequence=1>

Leite, A., De Vicente, A., De Moraes, J. L., Asensio, V., Muraoka, T., Dos Santos, C., Rodrigues, T., Capra, G. F., & Abreu, C. (2019). Long-term effects of residual sewage sludge application in tropical soils under Eucalyptus plantations. *Journal of Cleaner Production*, 220, 177–187.

<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.02.065>

Lopez, I., Acevedo, D., & Ordoñez, C. (2010). Seguimiento a patógenos presentes en biosólidos empleado como enmienda para revegetalizar un talud. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 9(17), 29–40.

Macedo, F. G., Melo, W. J., Merlino, L. C. S., Ribeiro, M. H., Camacho, M. A., & Melo, G. M. P. (2014). Agronomic Traits of Corn Fertilized with Sewage Sludge. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 43(13), 1790–1799. <https://doi.org/10.1080/00103624.2012.684987>

Mahamud, M., Gutiérrez, A., & Sastre, H. (1998). Biosolids management in Spain: A case study. *Waste Management*, 17(7), 463–472.  
[https://doi.org/10.1016/S0956-053X\(97\)10053-8](https://doi.org/10.1016/S0956-053X(97)10053-8)

Marquez, K. A., & Parra, C. S. (2009). *Estudio de dos alternativas para el aprovechamiento de lodos secundarios de sistemas aerobios proveniente de PTAR's jurisdicción de la Car* [Universidad de la Salle].  
<http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/13998/T41.09M348e.pdf;jsessionid=35EDE1A0CE00591551D0D3E2797EDAF7?sequence=1>

Mohapatra, D., Cledon, M., Brar, S., & Surampalli, R. (2016). Application of Wastewater and Biosolids in Soil : Occurrence and Fate of Emerging Contaminants. *Water Air Soil Pollut*, 227–277. <https://doi.org/10.1007/s11270-016-2768-4>

Morales, P. M. (2005). *Digestion Anaerobia de Lodos de Plantas de Tratamiento*

*de Aguas y su aprovechamiento* [Universidad de las Americas Puebla].

[http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/leia/morales\\_r\\_pm/](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/leia/morales_r_pm/)

Moura Chagas, J., Celio de Figueiredo, C., & Paz-ferreiro, J. (2021). Geoderma Sewage sludge biochars effects on corn response and nutrition and on soil properties in a 5-yr field experiment. *Geoderma*, 401(July).

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2021.115323>

Ojeda, G., Alcañiz, J., & Le Bissonnais, Y. (2008). Differences in aggregate stability due to various sewage sludge treatments on a Mediterranean calcareous soil. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 125, 48–56.

<https://doi.org/10.1016/j.agee.2007.11.005>

Pagans, E., Barrena, R., Font, X., & Sánchez, A. (2006). Ammonia emissions from the composting of different organic wastes. Dependency on process temperature. *Chemosphere*, 62(9), 1534–1542.

<https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2005.06.044>

Pepper, I. L., Brooks, J. P., & Gerba, C. P. (2006). Pathogens in Biosolids.

*Advances in Agronomy*, 90, 1–41. [https://doi.org/10.1016/S0065-2113\(06\)90001-7](https://doi.org/10.1016/S0065-2113(06)90001-7)

Perez, A. L. (2009). *Bases Edafológicas para la Correcta Utilización de un Compost de Lodos de Aguas Residuales Urbanas , como Enmienda Orgánica.*

Potisek, M. C., Figueroa, U., González, G., Orona, I., & Jasso, R. (2010). Soil applied biosolids and its effect on soil organic matter and nutrient content.

*Terra Latinoamericana*, 4, 327–333.

Ramirez, R., & Perez, M. (2006). Evaluacion del potencial de los biosolidos procedentes del tratamiento de aguas residuales para uso agricola y su efecto sobre el cultivo de rabano rojo(*raphanus sativus* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomia-Medellin*, 59, 3543–3556.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=179914075010>

Ramirez, R., Velasquez, D. C., & Acosta, E. (2007). *Efecto de la aplicacion de biosolidos en el crecimiento de jacaranda mimosifolia (Gualanday) y en las condiciones fisicas y quimicas de un suelo degradado*. 60(1), 3751–3770.

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*. Universidad Nacional de Colombia.

Saffari, M., Saffari, V. R., Khabazzadeh, H., & Naghavi, H. (2020). Assessment of content and chemical forms of arsenic , copper , lead , and chromium in sewage sludge compost as affected by various bulking agents. *Main Group Met. Chem*, 56–66.

Salcedo, E., Vasquez, A., Krishnamurthy, L., Zamora, F., Hernandez, E., & Rodriguez, R. (2007). Evaluacion de lodos residuales como abono organico en suelos volcanicos de uso agricola y forestal en suelos volcanicos de uso agricola y forestal en Jalisco, Mexico. *Interciencia*, 32, 115–120.

<http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=33932207%0ACómo>

Sandoval Castro, E., Perez Magaña, A., & Gonzalez Flores, E. (2013). Biosolids in

maize production : Socioeconomic impact on rural areas of the municipality of Puebla. *Estudios Sociales*, XXII, 63–85.

Saravia, G. A. (2017). *Gestion y manejo de residuos solidos de la planta de tratamiento de aguas residuales de chilpina SADAPAR S.A-Provincia de Arequipa-Departamento de Arequipa* [Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa].

<http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/5333/AMsaraga.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Sastre, I., Lobo, M. C., Beltrán, R. I., & Poggi, H. M. (2015). Remediation of saline soils by a two-step process : Washing and amendment with sludge. *Geoderma*, 247–248, 140–150.

<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2014.12.002>

Silva-leal, J. A., & Bedoya, D. F. (2013). Evaluation of potential application disinfected of biosolids on radish cultivate. *Acta Agronomica*, 2, 155–164.

Singh, R. P., & Agrawal, M. (2010). Ecotoxicology and Environmental Safety Variations in heavy metal accumulation , growth and yield of rice plants grown at different sewage sludge amendment rates \$. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 73(4), 632–641.

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.01.020>

Torrecillas, C., Martínez-Sabater, E., Gálvez-Sola, L., Agulló, E., Pérez-Espinosa, A., Morales, J., Mayoral, A. M., & Moral, R. (2013). Study of the Organic Fraction in Biosolids. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 44(1–4), 492–501. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.744150>

- Torres, P., Carlos, M., & Jorge, S. (2009). Mejoramiento de la calidad microbiológica de biosólidos generados en plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista EIA*, 11, 21–37.
- Torres, P., Pérez, A., Escobar, J. C., Uribe, I. E., & Imery, R. (2007). Compostaje de biosólidos de plantas de tratamientos de aguas residuales. *Eng. Agríc., Jaboticabal*, 27(1), 267–275.
- Torres, P., Silva, J. A., Parra, B. A., Cerón, V., & Madera, C. A. (2015). Influence of biosolids application soil plant and quality and productivity of sugarcane crop. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 1, 69–79.
- Uggetti, E., Ferrer, I., Nielsen, S., Arias, C., Brix, H., & García, J. (2012). Characteristics of biosolids from sludge treatment wetlands for agricultural reuse. *Ecological Engineering*, 40, 210–216.  
<https://doi.org/10.1016/J.ECOLENG.2011.12.030>
- Usman, K., Khan, S., Ghulam, S., Khan, M. U., & Khan, N. (2012). *Sewage Sludge : An Important Biological Resource for Sustainable Agriculture and Its Environmental Implications*. 2012(December), 1708–1721.
- Utria, E., Reynaldo, I. M., Cabrera, J. A., Morales, D., & Goffe, S. (2008). Los biosólidos de aguas residuales urbanas aplicados con diferentes frecuencias en las propiedades químicas y microbiológicas del suelo, el rendimiento y la calidad de los frutos de tomate (*Solanum lycopersicum* Mill). *Cultivos Tropicales*, 29(4), 5–11.
- Vaca, R., Jorge, L., & Esteller, M. (2006). Caracterización de la materia orgánica

soluble y de los ácidos húmicos en suelo acondicionado con lodo residual fresco o compostado. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 22, 27–37. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=37022103>

Vicencio, G., Perez, E., Medina, E., & Martinez, A. (2011). Compost and vermicompost production of sewage sludge of a slaughterhouse wastewater treatment plant. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 27(3), 263–270. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992011000300011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S0188-49992011000300011&script=sci_arttext)

Wijesekara, H., Bolan, N. S., Kumarathilaka, P., Geekiyanage, N., Kunhikrishnan, A., Seshadri, B., Saint, C., Surapaneni, A., & Vithanage, M. (2016). Biosolids enhance mine site rehabilitation and revegetation. In *Environmental Materials and Waste* (pp. 45–71). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803837-6.00003-2>

Yucel, D., Yucel, C., Aksakal, E. L., Kena, B., Maninder, K., Irfan, A., & Khandakar, R. (2015). Impacts of biosolids application on soil quality under alternate year no-till corn – soybean rotation. *Water Air Soil Pollut* (2015), 226–168. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2430-6>

Zafar, S., Farooq, S., Khursheed, I., Hussain, K., Qazi, H. A., Jaweed, T. H., & Lone, F. A. (2021). Sewage sludge and NPK Application to enhance growth , yield and quality of kale and spinach crops. *Journal of Soil Science and Environmental Management Full*, 12(4), 132–142. <https://doi.org/10.5897/JSSEM2021.0866>

## ANEXOS

### Anexo 1

#### *Matriz de consistencia*

Problema	Objetivo General	Hipótesis General	Variables Variable independiente
¿Cuál es el efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda orgánica sobre suelos agrícolas erosionados y su rendimiento en el cultivo <i>Raphanus Raphanistrum</i> , Carapongo-Lurigancho??	Evaluación del efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda sobre suelos agrícolas erosionados y su rendimiento en el cultivo de <i>Raphanus raphanistrum</i> subsp. <i>Sativus</i> (rabanito), en Carapongo-Lurigancho.	Ho: Los biosólidos tienen un efecto sobre la mejora de los suelos y el rendimiento del cultivo.	Lodo compostado y lodo seco
Problema	Objetivo específico	Hipótesis específica	Variables dependientes
<p>¿Cuál es la caracterización de los lodos obtenidos de la planta de Tratamiento de agua residual?</p> <p>¿Cuál es el efecto de la aplicación de biosólidos secos en diferentes dosis sobre suelos agrícolas en la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y rendimiento del cultivo?</p> <p>¿Cuál es el efecto de la aplicación de biosólidos compostados en diferentes dosis sobre suelos agrícolas en la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y rendimiento del cultivo?</p> <p>¿Cuál es la dosis óptima de biosólidos para el rendimiento del cultivo y calidad de suelo?</p> <p>¿Cuál es el potencial de higienización de cultivo <i>Rabanus Sativus</i> (rábano) para el consumo humano?</p>	<p>Caracterizar los lodos obtenidos de la planta de Tratamiento de agua residual.</p> <p>Determinar el efecto de la aplicación de biosólidos secos en diferentes dosis sobre suelos agrícolas en la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y rendimiento del cultivo.</p> <p>Determinar el efecto de la aplicación de biosólidos compostados en diferentes dosis sobre suelos agrícolas en la mejora de las propiedades fisicoquímicas de los suelos y rendimiento del cultivo <i>Raphanus Sativus</i>.</p> <p>Determinar la dosis óptima de biosólidos para el rendimiento del cultivo y calidad de suelo.</p> <p>Determinar el potencial de higienización de cultivo <i>Rabanus Sativus</i> (rábano) para el consumo humano.</p>	<p>Ho: Los biosólidos tienen un aporte de nutrientes sobre el suelo.</p>	<p><b>Rendimiento del cultivo:</b> Biometría de la planta (número de hojas, biomasa de la planta, peso del rábano, Bulbo del tubérculo, número de plantas emergentes a los 60 días).</p> <p><b>Calidad de suelo:</b> pH, CE, CIC, CaCO<sub>3</sub>, MO, P, K, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Na<sup>+</sup>, RAS, K</p> <p><b>Metales Pesados,</b> Huevos de helmintos</p>

## Anexo N°2: Formato de etiqueta a pedido de laboratorio (suelos y lodos)

FICHA DE MONITOREO	
<b>Nombre del Proyecto</b>	Efecto de la aplicación de biosólidos como enmienda sobre suelos agrícolas erosionados y su rendimiento en el cultivo de <i>Raphanus Sativus</i> (rabanito), en Carapongo-Lurigancho.
<b>Fecha</b>	
<b>Hora</b>	
<b>Código</b>	
<b>Lugar de Procedencia</b>	<b>Departamento:</b>
	<b>Distrito:</b>
	<b>Provincia:</b>
<b>Monitorista</b>	
<b>Celular</b>	
<b>Parámetros</b>	

## Anexo N°3: Evidencias fotografías de la etapa de experimentación





Figura 13. Compostaje de lodo





Figura 14.Recolección de datos



**INFORME DE ENSAYO N° 1903067**

<b>Código de Laboratorio:</b> 1903067-1	<b>ENCUENTRO DE MUESTROS PLAR</b>	<b>Fecha de Muestra:</b> 2019/03/19			
		<b>IBRZ URU</b>			
		<b>Tipo de muestra:</b> Lodo			
<b>Método de Referencia</b>	<b>Ensayo</b>	<b>Límite de Detección del Método</b>	<b>Límite de Cuantificación del Método</b>	<b>Resultado</b>	<b>Unidad</b>
APHA 8221 E-1 (*)	Numeración de Coliformes fecales	—	1.2	4.5 x 10 <sup>6</sup>	NMP/g

Código de Laboratorio: 1903067-1	ORGANISMOS (Género y especie)	CUANTITATIVO				RESULTADO (N° Org/g)	
		ESTADIO		Cuento			
		Quiste	Oogyste	Quiste	Oogyste		
Estación de Muestra: PTAR	Protozoarios (*)	<i>Entamoeba coli</i>	-	-	0	0	0
		<i>Eubolus nana</i>	-	-	0	0	0
		<i>Blasocystis hominis</i>	-	-	0	0	0
		<i>Entamoeba histolytica</i>	-	-	0	0	0
		<i>Giardia duodenalis</i>	-	-	0	0	0
		<i>Balanulium coli</i>	-	-	0	0	0
		<i>Cryptosporidium sp.</i>	-	-	0	0	0
<i>Trichomonas axostei</i>	-	-	0	0	0		
SUB TOTAL						0	
Fecha de Muestra: 2019/03/19	ORGANISMOS (Género y especie)	ESTADIO		Cuento		RESULTADO (N° Org/g) ó (Huevos/g)	
		Larva	Huevo	Larva	Huevo		
Tipo de Muestra: Lodo	Helminos (*)	<i>Ascaris lumbricoides</i>	-	-	0	0	0
		<i>Strongyloides stercoralis</i>	-	-	0	0	0
		<i>Trichostrongylus axei</i>	-	-	0	0	0
		<i>Trichostrongylus axei</i>	-	-	0	0	0
		<i>Monostepus zooni</i>	-	-	0	0	0
		<i>Fasciola hepatica</i>	-	-	0	0	0
<i>Ascaris suum</i>	-	X	0	200	200		
SUB TOTAL						200	
TOTAL						200	

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra indicada

Av. Carreras Central Km. 9.3 Mc. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Are - Lirio 03 - PERU  
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalab.com www.deltalab.com

**INFORME DE ENSAYO N° 1903067**

Ensayo:	Descripción del Método de Referencia:
Metales (Ag, Al, As, B, Ba, Be, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, K, Li, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, Se, Si, Sn, Sr, Ti, Tl, V and Zn):	EPA Method 3050B Rev. 02 Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils. EPA Method 200.7; Rev. 4.4., 1994. Determination of Metals and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma - Atomic Emission Spectrometry ICP-AES.
Mercurio:	EPA Method 7471B; Rev. 2, Feb. 2007. Mercury in Solid or Semisolid Waste (Manual Cold-Vapor Technique)
Numeración de Coliformos Focales (NMP):	SM 9147-APHA-AWWA-WEF Part 9221.E-1, 23rd Edition 2017. Multiple - Tube Fermentation Technique for Members of the Coliform Group. Focal Coliform Procedure. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium)
Determinación de Protozoarios y Helicobacter patógenos:	Método de Ballenger modificado, Manual de técnicas parasitológicas y bacteriológicas de laboratorio. Análisis de aguas residuales para su uso en agricultura, Rachel M. Ayres y D. Duncan Mann, OMS, Ginebra.

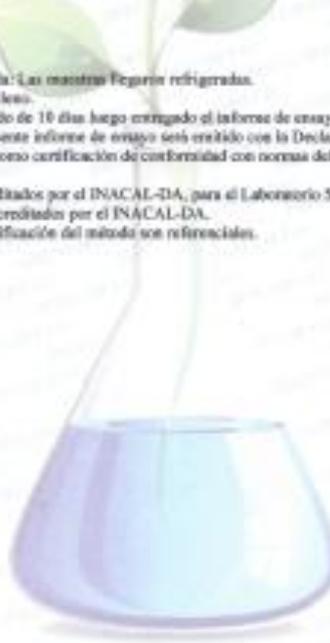
**Nota:**

- Condición y estado de la muestra ensayada: Las muestras fueron refrigeradas.
- Las muestras fueron en bolsas de polietileno.
- Las muestras se mantendrán por un periodo de 10 días luego entregado el informe de ensayo a excepción de las muestras perecibles.
- Toda corrección o enmienda física al presente informe de ensayo será emitido con la Declaración "Suplemento al informe de Ensayo"
- Estos resultados no deben ser utilizados como certificación de conformidad con normas del producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.
- (\*) Los Métodos indicados han sido acreditados por el INACAL-DA, para el Laboratorio Subcontratado.
- (\*\*) Los métodos indicados no han sido acreditados por el INACAL-DA.
- Resultados por debajo del límite de cuantificación del método son referenciales.

Lima, 04 de abril del 2019.



DELTA LAB S.A.C.  
JESSICA ANDREA WU KOHATSU  
INGENIERA EN QUÍMICA Y ANALISTA DE LABORATORIO




DELTA LAB S.A.C.  
RAQUEL ROSALES TORRES  
SUB GERENTE DE LA CALIDAD  
CIP N° 209612

Este informe no podrá ser reproducido total o parcialmente sin la autorización de DELTA LAB S.A.C.  
Los resultados presentados corresponden solo a la muestra tratada

Av. Carretera Central Km. 9.3 Mz. "A" Lt. 6 As. Ntra. Sra. de La Merced - Ate - Lima 03 - PERÚ  
Teléfono: (511) 3560230 Celular: 947148233 Email: servicioalcliente@deltalab.com www.deltalab.com

## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : ESTEFANI PAMELA INGA GUTARRA  
 PROCEDENCIA : LIMA/ LIMA/ LURIGANCHO - CHOSICA/ CARAPONGO  
 MUESTRA DE : COMPOST  
 REFERENCIA : H.R. 71522  
 BOLETA : 3961  
 FECHA : 24/12/2021

Nº LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
085		6.02	9.24	32.71	1.85	0.93	1.14

Compost Inmaduro

Nº LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %
085		4.214	0.95	2.99	0.23

*Ing. Braulio La Torre Martínez*  
 Jefe de Laboratorio



### INFORME DE ENSAYO



Nº de Referencia: AL-21/226367  
 Descripción(\*): RABANITO

Tipo Muestra: RABANO  
 Fecha Fin: 14/12/2021

#### RESULTADOS ANALITICOS

Parámetro	Resultado	Unidades	Incert
<i>Parámetros Microbiológicos</i>			
Detección Listeria Monocytogenes	No Detectado	L. monocytogenes/25 g	-
Detección Salmonella spp.	No Detectado	Salmonella spp/25 g	-
Recuento Aerobios Mesófilos	2,2 x 10 <sup>6</sup>	u.f.c./g	-
Recuento Escherichia coli	1,0 x 10 <sup>7</sup>	u.f.c./g	-

Nota: Los Resultados de este informe solo afectan a la muestra tal como es recibida en el laboratorio. Queda prohibida la reproducción parcial de este informe sin la aprobación por escrito del laboratorio. Las incertidumbres de los parámetros acreditados están calculadas y a disposición del cliente. AGQ no se hace responsable de la información proporcionada por el cliente, asociada a la toma de muestras y a otros datos descriptivos, marcados con (\*). A: Ensayo subcontratado y acreditado. N: Ensayo subcontratado y no acreditado. RE: Recuento en placa estimado. La Incertidumbre aplicada al resultado no aplica para valores menores al Límite de Cuantificación (LC). La Incert Exp (U) ha sido reportada con un Factor de Cobertura k= 2, para un nivel de confianza aprox del 95%.

(\* Ensayo No cubierto por la Acreditación nº TL-502 emitida por IAS.