



Universidad **César Vallejo**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Efecto de Lodos de una PTAR tratados por Vermicompostaje en  
el Cultivo de *Phaseolus lunatus***

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
Ingeniera Ambiental**

**AUTORAS:**

Chacaltana Huamani, Franccesca Sumiko (orcid.org/0000-0003-1038-3669)

Scaramutti Pimentel, Sandra Carolina (orcid.org/0000-0003-3855-1935)

**ASESOR:**

M.Sc. Solorzano Acosta, Richard Andi (orcid.org/0000-0003-3248-046X)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Sistemas de Gestión Ambiental

**LÍNEA DE RESPONSABILIDAD SOCIAL UNIVERSITARIA:**

Desarrollo sostenible y Adaptación al Cambio Climático

LIMA - PERÚ

2022

## **Dedicatoria**

A mis dos hijas Angélica y Augusta, que fueron y serán el motivo para mi superación constante y a mi madre por ser mi apoyo incondicional, mi guía y ejemplo a seguir. A mi abuela que gracias a ella tuve una formación de valores. No fue fácil llegar hasta aquí, pero con su amor y confianza podré lograr mucho más.

**Sandra Carolina Scaramutti  
Pimentel**

A mis padres por ser la principal fuente de inspiración y motivación de que todo se puede lograr con esfuerzo y esmero. Teniendo en cuenta de que hubo altas y bajas pero que si yo me lo propongo lo cumplo para así convertirme en una profesional exitosa.

**Francesca Sumiko Chacaltana  
Huamani**

## **Agradecimiento**

A mi familia y a mis hijas por haberme acompañado a las clases enseñándome que nada es imposible, mi madre por confiar en mí y estar en cada momento bueno o malo, pero siempre juntas y a mi compañero de vida por ser mi soporte y apoyo incondicional alentándome para culminar con éxito la presente tesis. A los docentes quienes, con su apoyo, paciencia y conocimiento brindado lograron instruirme durante el desarrollo del pregrado, todos hicieron posible que siga luchando por culminar esta etapa de mi vida profesional.

**Sandra Carolina Scaramutti  
Pimentel**

A mi padre Víctor que es un ángel y desde el cielo vela por mí y sigue acompañándome en cada reto, por siempre motivarme de una u otra forma aun no estando a mi lado.

A mi madre Nelly por seguir adelante por mí, guiándome por el buen camino y aconsejándome por mi bien.

A la Universidad César Vallejo por este título ya que es un logro más.

**Franccesca Sumiko Chacaltana  
Huamani**

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

Carátula.....	i
Dedicatoria.....	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos.....	iv
Índice de Tabla.....	vi
Índice de gráficos y figuras.....	vii
Resumen.....	viii
Abstract.....	ix
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	5
III. METODOLOGÍA.....	10
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	10
3.2. Variables y operacionalización.....	10
3.3. Hipótesis.....	11
3.3.1. Hipótesis de investigación.....	11
3.3.2. Hipótesis nula.....	11
3.3.3. Hipótesis Alternativa.....	11
3.4. Población, muestra y muestreo.....	11
3.4.1. Población.....	11
3.4.2. Muestra.....	12
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	13
3.6. Procedimientos.....	13
3.7. Método de análisis de datos.....	19
IV. RESULTADOS.....	20
V. DISCUSIONES.....	29
VI. CONCLUSIONES.....	30
VII. RECOMENDACIONES.....	31

REFERENCIAS .....	32
ANEXOS.....	36

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1:</b> <i>Diseño Experimental</i>	12
<b>Tabla 2:</b> <i>Análisis de Muestra de Lodo Deshidratado</i>	15
<b>Tabla 3:</b> <i>Parámetros Físicos de Lodo Deshidratado</i>	20
<b>Tabla 4:</b> <i>Composición Química de Lodo Deshidratado</i>	21
<b>Tabla 5:</b> <i>Parámetros Microbiológicos de Lodo Deshidratado</i>	22
<b>Tabla 6:</b> <i>Parámetro Físico de Lodo Vermicompostado</i>	23
<b>Tabla 7:</b> <i>Composición Química de Lodo Vermicompostado</i>	24
<b>Tabla 8:</b> <i>Parámetros Microbiológicos de Lodo Vermicompostado</i>	25
<b>Tabla 9:</b> <i>Parámetro de Crecimiento Vegetativo</i>	26
<b>Tabla 10:</b> <i>Resultados Fisicoquímicos</i>	28

## Índice de gráficos y figuras

<b>Figura 1:</b> <i>Obtención de Lodo Deshidratado</i>	13
<b>Figura 2:</b> <i>Muestra de Lodo Deshidratado</i>	14
<b>Figura 3:</b> <i>Obtención de Lombriz Roja</i>	16
<b>Figura 4:</b> <i>Peso inicial de Lombriz antes de la ingesta de Lodo</i>	16
<b>Figura 5:</b> <i>Peso de la Lombriz durante la ingesta de Lodo (Aumento de peso)</i>	16
<b>Figura 6:</b> <i>Procedimiento del Vermicompostaje</i>	17
<b>Figura 7:</b> <i>Cama Compostera para el Proceso de Vermicompostaje</i>	17
<b>Figura 8:</b> <i>Ensayo con 3 repeticiones de cultivo del Phaseolus lunatus</i>	18
<b>Figura 9:</b> <i>Diferencias en el crecimiento entre los tratamientos de Lodo Crudo, Sin Lodo y Lodo Vermicompostado</i>	27

## Resumen

Los lodos que provienen de aguas residuales podrían ser empleados en los campos de cultivo como una solución eficiente y viable dentro del contexto de la economía circular. Para que los lodos puedan ser incorporados dentro de los cultivos sugieren diversos autores deben pasar por procesos de descomposición conocidos como la humificación y mineralización para acondicionarla y liberar sus nutrientes para las plantas y los microorganismos del suelo. Por ello la presente investigación se propuso evaluar el efecto de lodos de una PTAR tratados por vermicompostaje en el cultivo de *Phaseolus lunatus*. Mediante un diseño completo al azar (DCA) en macetas, se utilizó lodo deshidratado y luego vermi compostado por lombrices rojas (*Eisenia foetida*) empleado como enmienda al suelo y evaluando su efecto estimulante y nutricional sobre *Phaseolus lunatus* respecto a sus parámetros de crecimiento. Se caracterizó el lodo deshidratado para determinar sus características físicas, químicas y microbiológicas, en base a ello se realizó el tratamiento del vermicompostaje con la lombriz roja (*Eisenia foetida*), determinando los parámetros e identificando si son tóxicos o beneficiosos para el crecimiento de la planta. De manera que la acción de las lombrices en conjunto con los microorganismos en el proceso de vermicompostaje, producen cambios importantes al ser aplicados en el cultivo de *Phaseolus Lunatus*, para este cultivo es fundamental el N, P, K ya que estos elementos son esenciales para el desarrollo de la planta.

**Palabras clave:** Lodos de una PTAR, vermicompostaje, *Phaseolus lunatus*, *Eisenia foetida* y aprovechamiento.

## **Abstract**

The sludge that comes from wastewater could be used in the fields as an efficient and viable solution within the context of the circular economy. In order for sludge to be incorporated into crops, various authors suggest that it must go through decomposition processes known as humification and mineralization to condition it and release its nutrients for plants and soil microorganisms. For this reason, this research aimed to evaluate the effect of sludge from a WWTP treated by vermicomposting on the cultivation of *Phaseolus lunatus*. Through a complete random design (DCA) in pots, dehydrated sludge was used and then vermicomposted by red worms (*Eisenia foetida*) used as a soil amendment and evaluating its stimulating and nutritional effect on *Phaseolus lunatus* regarding its growth parameters. The dehydrated sludge was characterized to determine its physical, chemical and microbiological characteristics, based on this, the vermicomposting treatment was carried out with the red worm (*Eisenia foetida*), determining the parameters and identifying if they are toxic or beneficial for the growth of the plant. So that the action of the worms together with the microorganisms in the vermicomposting process, produce important changes when applied in the cultivation of *Phaseolus Lunatus*, for this cultivation the N, P, K are essential since these elements are essential for the development of the plant.

**Keywords:** Sludge from a WWTP, vermicomposting, *Phaseolus lunatus*, *Eisenia foetida* and use.

## I. INTRODUCCIÓN

El agua es el principal recurso tanto para la vida como para las actividades económicas (Bokova, 2017), por el cual se realizará un tratamiento a las aguas residuales, este tipo de tratamiento constituye la sexta actividad de gestión ambiental en el mundo (Ryder, 2017); sin embargo, al tratar las aguas residuales e intentar su cambio se producen restos que son resultantes de las operaciones realizadas (Rodríguez, 2020), como aquellas materias que quedan atrapadas en las cámaras de rejillas (Fernández, 2016) y en los sedimentadores, donde se producen lodos con alto contenido de material orgánico e inorgánico que se acumulan y deben ser retirados periódicamente.

Según Lander (2020) existen tres etapas de tratamiento de aguas residuales; el primario o pretratamiento que es la etapa principal de limpieza de las aguas residuales en el que se divide los sólidos que tienen un tamaño regular y los grandes; el secundario o biológico que es la etapa donde se degrada los materias de carácter orgánico que puede contener el agua, como pueden ser los desechos humanos, animales, los detergentes, las bacterias, etc.; y el tratamiento terciario o químico es la etapa final que está destinada a aumentar la calidad final del agua antes de ser devuelta al medio ambiente (mar, río, lago, etc.).

La fracción de residuos sólidos retenidos son llevados a rellenos sanitarios que están oficialmente autorizado (Cortez, 2018), así como los lodos generados en el proceso de tratamiento, previo a su disposición final, deberán ser acondicionados y tratados (Pérez, 2016), estos lodos dependiendo del tipo de efluentes tratados tienen características asociadas a diversos tipos de contaminantes, como la carga de materia orgánica, flora bacteriana, entre otros (Díaz, 2016; Di Marzio, 2020).

Según Hospido et al. (2010), actualmente en el mundo se genera 30 kg de lodos por persona/día debido al tratamiento de aguas residuales y aunque se han buscado formas de aprovechar estos lodos las técnicas hasta ahora empleadas han logrado una eficiencia relativamente baja; entre estos posibles usos destaca el que pueda ser empleado como fertilizante para los cultivos (Marín, 2019).

El Perú no es ajeno a esta situación ya que existen 143 plantas de tratamiento de aguas residuales que tratan aguas municipales, aguas negras, aguas industriales,

aguas domésticas, entre otros (Reyes, 2020). La principal Planta de Tratamiento de Aguas Residuales (PTAR) en Perú, está ubicada en Taboada y La Chira en la ciudad de Lima que ayudan a descontaminar alrededor del 80% del desagüe de Lima Metropolitana y del Callao y llegan a producir aprox. 32,000 toneladas de lodos anuales (Santos, 2021).

Según Lugo et al. (2017), los lodos pueden transformarse en abonos en mezcla con estiércol equino mediante el vermicompostaje para una mejor calidad de suelo y de acuerdo con Rodríguez (2017) el uso del lodo como fertilizante en zonas reforestadas es viable y prometedor, despertando gran interés agronómico y se considera como una alternativa económica, no causa daños a la población, siendo está la opción más sustentable para el reciclaje de lodo (Arica, 2019).

Los lodos que provienen de aguas residuales han sido ya caracterizados por diferentes autores y su contenido de contaminante como metales pesados, parámetros microbiológicos, parámetros agronómicos, porcentaje de materia seca y otros recalitrantes o xenobióticos es mínimo por lo que sí podrían ser empleados para las actividades agrícolas bajo un control estricto (Eurofins, 2017). En este sentido, al emplear estos lodos o devolverlos dentro del manejo de economía circular a los campos de cultivo sería una solución más eficiente y viable dentro de todo este contexto (García, 2017).

Por otro lado, los campos de cultivo en particular los de la costa del Perú carecen de un elemento principal que garantice su fertilidad (Ruiz, 2016). Este elemento es la materia orgánica que aporta o mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo como la retención de humedad, estabilización o tamponaje de pH y mejora el contenido de nutrientes del suelo (Berrios, 2017). Según el “Ministerio de agricultura y riego del Perú” (2020) un 40% de los suelos agrícolas de la costa del Perú se encuentran perjudicados por los procesos de salinización y mal drenaje que podrían resolverse tras la aplicación de la materia orgánica.

También los suelos en la costa del Perú según Romano (2020) carecen de materia orgánica, en este sentido no tienen más del 2% y esto genera problemas en su fertilidad, por lo que se requieren de valores superiores a este para que los suelos sean productivos y tengan todas las condiciones para poder maximizar la producción de los cultivos (Horto, 2017). Como se aprecia entonces hay por un lado una necesidad de la materia orgánica y por otro un exceso de materia orgánica

como subproducto de otra industria que bien tratada puede complementar y suplir esta necesidad como son los lodos deshidratados (Torres, 2017).

Para que los lodos puedan ser empleados dentro de los cultivos sugieren diversos autores estos debieran ser tratados y no necesariamente por los contaminantes sino por el hecho de que la materia orgánica tiene que pasar por procesos de descomposición conocidos como mineralización o humificación (Pérez, 2017) para acondicionarla y liberar sus nutrientes. Estos procesos constan de transformar la materia orgánica que contienen material lignocelulósico, carbono, nitrógeno, potasio, calcio, magnesio y hierro que están agrupados en matrices complejas y puedan ser liberados y estar disponibles en sus elementos y sus formas iónicas para las plantas y los microorganismos de la flora del suelo, para que esto pueda suceder debe primero compostarse, luego humificarse y después mineralizarse (Mora, 2016).

Según Tilley et al. (2018), a pesar de que la humificación es un proceso natural no es tan sencillo porque depende de diversos factores por lo que una de las formas que ha encontrado el ser humano para acelerar este proceso, darle calidad y mejorar la cantidad en la obtención y tratamiento del material orgánico es el uso del vermicompostaje es decir el compostaje en la que intervienen las lombrices principalmente la especie *Eisenia foetida*, que metaboliza todos estos materiales y los humifica transformándolos en esta sustancia tan útil para las necesidades del suelo (Cruz, 2020).

Así, el vermicompostaje ha demostrado ser una técnica para muchos residuos de naturaleza orgánica; sin embargo, existen pocas experiencias con los residuos de lodos como lo plantea Asto (2020) y Vejarano (2020) que establecen resultados preliminares para su uso a partir de esta técnica, y que en Perú no se han encontrado registros de trabajos preliminares.

Por lo tanto, esta investigación plantea como objetivo general Evaluar el efecto de lodos de una PTAR tratados por vermicompostaje en el cultivo de *Phaseolus lunatus* y como objetivos específicos: Determinar la composición de lodos de una PTAR para vermicompostaje, Evaluar los parámetros de crecimiento de lombrices en vermicompostaje de lodos de una PTAR, Determinar la composición del vermicompost de lodos de una PTAR, Evaluar parámetros de crecimiento vegetativo de *Phaseolus lunatus* por la aplicación de vermicompost de lodos de una

PTAR y Evaluar la composición química de la biomasa vegetativa de *Phaseolus lunatus* por la aplicación de vermicompost de lodos de una PTAR.

Además, la presente investigación se justifica como ya se explicó porque la demanda de materia orgánica y la oferta de la misma en diferentes sectores productivos pueden complementarse disminuyendo los impactos ambientales asociados a la disposición de los lodos mediante la técnica ya conocida del vermicompostaje, de acuerdo a ello se hará una prueba biológica sobre un cultivo importante para la región de Ica que en este caso es el *Phaseolus lunatus* es uno de los cultivos principales que provee proteína a la población, se exporta y requiere de estos elementos (compost) y puede ser un cultivo que pueda aprovecharlos con cierta rapidez. Por lo que se plantea como hipótesis que la aplicación de lodos de una PTAR tratados por vermicompostaje en el cultivo de *Phaseolus lunatus* mejora su crecimiento vegetativo y por ende permite emplear de forma eficiente estos residuos.

## II. MARCO TEÓRICO

Para la elaboración de la tesis se tomaron en cuenta antecedentes internacionales y nacionales que permiten establecer un mejor entendimiento del tema tratado, los cuales se abordan a continuación:

Aljerf (2018), establece que el incremento de la población produce una gran cantidad de aguas residuales generando lodos los cuales son desechos generados por una PTAR, y sobre estos lodos Mancipe (2018) y Huamán (2019), plantean que son alternativas amigables para generar abono a través del vermicompostaje (Roque, 2016) y de esta manera mejorar los cultivos a partir de incrementar la fertilidad del suelo, pero en algunos países está restringido porque generan malos olores o por la presencia de altas concentraciones de sustancias tóxicas y sustancias farmacéuticas (Vargas, 2018).

Del mismo modo, Villegas et al. (2017) explica que las tecnologías de vermicompostaje en la gestión de los residuos orgánicos ha ascendido considerablemente dando muchos avances pertinentes en todo el mundo. Esta estrategia tiene como objetivo aprovechar los volúmenes de residuos orgánicos, que generan problemáticas ambientales y reducirlos obteniendo buenos resultados para la estabilización de los suelos.

Llumiquinga et al. (2018), estabilizaron los lodos generados en el tratamiento de las aguas residuales, mediante el bioproceso de vermicompostaje en la que se establecieron componentes físicos, químicos y microbiológicos del lodo, determinando el aporte de nutrientes para el bioproceso en mezclas de lodo y aserrín monitoreadas semanalmente midiendo la humedad, temperatura, pH, macro y micronutrientes en las semanas 6 y 15. Como resultado la mezcla del lodo-césped permitieron digerirse en un plazo 8 semanas y por medio del aserrín el tiempo fue de 12 semanas, dando como conclusión que es un proceso efectivo en cuanto al vermicompostaje, generando un segundo uso, favoreciendo al suelo y al ambiente.

A su vez Hurtado (2015), explica que el aumento de la población a nivel mundial hace un desgaste de materias primas para abastecer sus necesidades y el constante uso de las aguas residuales de uso doméstico e industrial causa daños afectando la fauna y flora en los ríos, lagos, etc. Por lo tanto, es necesario recompensar a la naturaleza un poco de lo que nos brinda buscando que hacer con

los residuos sobrantes aplicando la técnica del vermicompostaje para recuperar de los suelos orgánicos, que consiste en el cultivo de las lombrices rojas las cuales al consumir los biosólidos que a través de su digestión se convertirá en humus y será usado en la agricultura para mejorar el color, calidad y cantidad de las plantas.

Según Ayala (2020), el aumento de los lodos residuales que provienen de una PTAR son caracterizados por ser residuos peligrosos por el contenido de metales pesados generando un peligro debido al producto final ya que terminan en botaderos o rellenos sanitarios generando la contaminación, atracción de vectores y enfermedades, estos son incinerados generando gases y cenizas incrementando el Efecto Invernadero, sin embargo Bastidas (2016) determina que estos productos son abundantes en materia orgánica por lo que son aprovechables como compostaje siendo usada como fuente potenciadora para el suelo. (Arrarte, 2019)

Por ello Prieto et al. (2016), en un ensayo de campo para estudiar la fitorremediación en un suelo semiárido, que constó del sembrado de *Camelina sativa*, utilizando la fertilización residual de lodo seco (ST 50) y (ST100) y de lodo compostado con resto de poda (CP 50) y (CP100) comparados con un suelo control (T). Esta fertilización residual con el lodo seco térmicamente (ST 50) mejora el cultivo, aumentando la producción respecto a su control y fertilización, el efecto del lodo seco térmicamente (ST 50) se consigue de forma eficiente con nitrógeno aplicado dando como resultado suelos fertilizados con lodos aumentan el pH, materia orgánica, P, K, Ca, Mg y Na.

Acerca de la densidad de lombrices a utilizar, Tobola (2020) experimentó con la lombriz roja (*Eisenia foetida*) con diferentes densidades (0, 80, 120, 160 y 200 individuos), obteniendo con 200 individuos el mayor incremento, teniendo en cuenta algunos factores como los parámetros de pH, temperatura y humedad.

Según Rosquete (2019), se requiere realizar la caracterización de estos lodos y del suelo verificando los parámetros para luego ser aplicado en el cultivo. Estos se dividen en 2 fases: desarrollo y niveles de clorofila y carotenoides, obteniendo como resultado la caracterización del lodo con su debido tratamiento para luego ser aplicado en la agricultura teniendo en cuenta que la aplicación disminuye el contenido de metales pesados en el cultivo elevando su crecimiento y aumentando la movilidad a la planta. (Reyes, 2020).

Debido a la información recopilada de diversos autores presentado anteriormente, se detalla lo siguiente:

Los lodos de una PTAR son residuos sólidos, semisólidos o líquidos que su composición depende de las características del agua residual y del proceso de tratamiento que se genera en la planta (Mediavilla, 2021).

Por consiguiente, Culqui (2018) explica que los lodos se aplican principalmente en terrenos de uso agrícola, terrenos de uso forestal, terrenos deforestados (recuperación de canteras) y terrenos especialmente preparados para la evacuación de lodos.

Clasificación de los lodos:

**Lodos Aprovechables:** Son los lodos reutilizados de forma directa o indirectamente en compostaje y una vez estabilizados pueden ser utilizados como abono restaurando los suelos.

**Lodos No Aprovechables:** Son lodos que se pueden aprovechar, por lo que tienen muy poca carga orgánica y de esta forma son desechados.

**Lodos Peligrosos:** Contienen materiales químicos que causan daños perjudiciales a las personas y al medio ambiente que son dispuestos en lugares especiales y con medidas adecuadas para la seguridad.

Dicho esto, los lodos pasaran por la aplicación de compostaje, esto se produce en una vermicompostera aprovechando la capacidad de las lombrices para degradar y sea un método para darles valor a los residuos orgánicos por medio de su excreta transformándolo en compost, siendo un fertilizante natural (Cabrera, 2019). La degradación de materia orgánica es más acelerada en el proceso de vermicompostaje que en el compostaje ya que las lombrices de la especie *Eisenia foetida* son excelentes compostadores ya que ingieren diariamente entre el 20% y el 100% del material respecto a su peso (Sole, 2021).

El nitrógeno es un surtidor de proteína y ácidos nucleicos para los microorganismos, estos se obtienen en los residuos orgánicos frescos. El vermicompostaje dependerá siempre de una buena combinación de residuos que contengan estos elementos, teniendo como recomendación residuos frescos y secos, la combinación de humedad y aireación al sustrato es necesario para que sobrevivan los microorganismos y también las lombrices (Guauque, 2017) y (Limachi, 2021).

Proceso para el vermicompostaje:

1. El primer paso se basará en poner un recipiente con los desechos orgánicos
2. Las lombrices empezaran a comerlos de manera que en la degradación producirá agua filtrándose hacia abajo.
3. Cuando el recipiente termine de llenarse, se incorporará otra encima donde se irá echando más restos y las lombrices en busca de comida pasen al nuevo recipiente.
4. Después del cuarto al sexto mes los residuos del primer recipiente se habrán transformado en vermicompost.

La aplicación de estos lodos (vermicompostado) en el campo agrícola, es una alternativa que permite la prevención y la gestión de residuos previniendo, reutilizando, reciclando, valorizando y eliminando un reducido coste. Es una fuente importante de materia orgánica para los suelos de modo que mejore la estructura y la humedad (Rincón, 2016). Es un fertilizante orgánico rico en nutrientes como fósforo, nitrógeno, micronutrientes y sulfuros, con lo que permite reemplazar otros fertilizantes químicos, reduciendo el impacto medioambiental (energía y recursos).

Los lodos dentro de la teoría utilizada tanto vermicompostado y sin vermicompostar se han venido aplicando en los cultivos de manera que el lodo vermicompostado es una técnica que ha hecho los que los cultivos aumentan su crecimiento de forma acelerada y los suelos con mayor fertilidad (Yapsan, 2019). Sin embargo, el uso de lodos sin vermicompostar genera problemas, como es la presencia de microorganismos patógenos, presencia de metales pesados, olores, etc. Es por ello que es necesario su estabilización (Aresti, 2019).

Sobre estos lodos y su efecto en diversos cultivos se ha demostrado que aumenta la fertilidad, la tolerancia, la materia orgánica, aporta al medio ambiente, existen experiencias en los siguientes cultivos como la zanahoria, el frijol, el maíz y el plátano en la que han sido aplicado los lodos vermicompostado sin embargo los lodos sin vermicompostar no son efectivos ya que primero requieren establecerse (Munive, 2018).

En la presente investigación se emplea un modelo que será la planta de pallar, este es un cultivo propio de Perú cuya nomenclatura binomial según su género de especies es el *Phaseolus lunatus* es un cultivo originario de la zona sur entre Lima, Ica y Nasca, según el ministerio de agricultura tiene una producción de 97 % a nivel nacional y tiene algunas características importantes económicamente la cual esta planta representa nuestro modelo de trabajo por tener un ciclo corto de cultivo (Mercado, 2019).

La clasificación taxonómica del pallar es la siguiente:

- Reino: Vegetal.
- División: Fanerógramas.
- Subdivisión: Angiospermas.
- Clase: Dicotiledoneas.
- Orden: Rosales.
- Familia: Leguminosas.
- Subfamilia: Papilonoideas.
- Género: *Phaseolus*.
- Especie: *Phaseolus lunatus*

Obteniendo toda la información necesaria acerca de los lodos vermicompostado y su aplicación en el cultivo *Phaseolus lunatus* será aplicado de modo que se obtenga resultados favorables para que sean reutilizados y aprovechables en la agricultura aportando al ambiente.

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

Este proyecto de investigación es de tipo aplicado porque se basa particularmente en implementar de forma directa los lodos para el proceso de vermicompostaje, recopilando los datos y utilizando una serie de procesos junto con los análisis (Villegas, 2019).

Según Parra (2018), es de enfoque cuantitativo de forma que se emplee un seguimiento que permita demostrar y comprobar la información obtenida estadísticamente el porcentaje de lodo a tratar con la cantidad de lombrices inoculadas.

#### 3.2. Variables y operacionalización

##### **Variable 1:** Lodos de una PTAR vermicompostado

En una PTAR se generan lodos, estos lodos residuales por poseer una alta cantidad de contaminantes deberá de ser tratado para mitigar la problemática que estos puedan generar, por consiguiente la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en este caso será el factor principal ingiriendo estos lodos encargándose del proceso de vermicompostaje a través de su excremento monitoreando de forma diaria su evolución y desarrollo, de esta forma podrán ser útiles como abono orgánico para que puedan ser utilizados en la agricultura aportando la calidad del suelo y sin dañar al medio ambiente ya que tienen nutrientes que son eficientes para su crecimiento vegetal como nitrógeno, fósforo, níquel, zinc y cobre (Castañeda, 2018).

##### **Variable 2:** Cultivo de *Phaseolus lunatus*

El pallar es una leguminosa cultivada en Ica y es muy importante para el consumo por su alto contenido de nutrientes. Previo a la información recopilada sobre su cultivo, el período para producirlos es corto, lo que nos lleva a obtener resultados favorables (Dilmi, 2020). Según el autor, no existen estudios en la provincia de Ica que hayan investigado el impacto de los lodos a través del vermicompostaje junto con los parámetros de crecimiento del pallar (*Phaseolus lunatus*). Por consiguiente, los objetivos de nuestra investigación fue evaluar el cuidado de las lombrices en los lodos durante el vermicompostaje, luego estimar los parámetros de crecimiento vegetativo (longitud de la planta, biomasa seca radicular y aérea y contenido de N,

P, K en hoja) con los siguientes tratamientos, **i)** lodo vermicompostado, **ii)** lodo puro, **iii)** Sin lodo (Belmeskine, 2020).

### **3.3. Hipótesis**

#### **3.3.1. Hipótesis de investigación**

La aplicación de lodos de una PTAR tratados por vermicompostaje en el cultivo de *Phaseolus lunatus* mejora su crecimiento vegetativo.

#### **3.3.2. Hipótesis nula**

No existe diferencias entre la aplicación de lodos de una PTAR tratados por vermicompostaje en el cultivo de *Phaseolus lunatus* mejora su crecimiento vegetativo.

#### **3.3.3. Hipótesis Alternativa**

Existen diferencias significativas en la aplicación de lodos de una PTAR tratados por vermicompostaje en el cultivo de *Phaseolus lunatus* mejorando su crecimiento vegetativo.

### **3.4. Población, muestra y muestreo:**

#### **3.4.1. Población**

En este proyecto de investigación, se entiende por población al conjunto total de individuos, medidas y objetos en la cual poseen características comunes en un lugar y momento determinado, como:

- **Población 1: El pallar** (*Phaseolus lunatus*) planta originaria del Perú, es una leguminosa de grano que actualmente es muy consumida en las comunidades y platos turísticos de los principales productores como Ica y Pisco, donde se consume como legumbre o grano seco (Ortiz, 2020), donde durante su periodo de crecimiento se aplicará el vermicompost.
- **Población 2: Lombrices rojas** (*Eisenia foetida*) son especies sanitizadoras naturales ya que no adquieren ni transmiten enfermedades por que se alimentan de hongos, bacterias y protozoos, flora microbiana degradadora (González, 2016), representan un rol importante en la transformación del lodo en vermicompost.

- **Población 3: Lodos deshidratados de una PTAR** en su producción quedan como un sedimento acuoso o pastoso con gran volumen en el que se concentran los sólidos sedimentados del agua residual del reactor biológico (Huamani, 2020), serán tratados por acción de las lombrices en el vermicompostaje reduciendo su volumen y teniendo como resultado el humus.

### 3.4.2. Muestra

Las muestras seleccionadas de la población nos darán la información puntual de alguna de sus características físicas, químicas y biológicas; obteniendo distintos valores (Aminaya, 2020), donde:

- **Muestra 1: Pallar (*Phaseolus lunatus*):** De una planta se medirán los parámetros de crecimiento vegetativo y contenido de N, P y K en la hoja, producto de la aplicación de lodo vermicompostado.
- **Muestra 2: Parámetros de crecimiento de lombrices rojas (*Eisenia foetida*):** Se medirá su longitud y peso inicial y posteriormente a los 7, 14 y 21 días para recopilar datos de contraste.
- **Muestra 3: La composición de lodo de un PTAR:** De 1 kg de lodo deshidratado se tomará una muestra de la misma fuente de emisión para ser analizada en parámetros químicos y biológicos, posteriormente al final del vermicompost se volverá a analizar el producto final para evidenciar la reducción de los parámetros químicos, físicos y biológicos.

**Tabla 1:**  
*Diseño Experimental*

Código	Tratamientos	Repeticiones (Macetas)
LSTR1	Lodo sin tratar	1
LSTR2		2
LSTR3		3
LVR1	Lodo vermicompostado	1
LVR2		2
LVR3		3

Código	Tratamientos	Repeticiones (Macetas)
SLR1	Sin lodo	1
SLR2		2
SLR3		3

*\*LSTR1-2-3, macetas de lodo deshidratado sin tratar.*

*\*LVR1-2-3, macetas de lodo vermicompostado.*

*\*SLR1-2-3, macetas de sin lodo deshidratado.*

### 3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La técnica para la recolección de datos en la investigación será la observación y el llenado de ficha de datos.

### 3.6. Procedimientos

Los procedimientos serán los siguientes:

- **Obtención de lodos**

Se obtuvo en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales ubicada en Cachiche - Ica - Perú, recolectando una muestra de 20 kg.

**Figura 1.**

*Obtención de Lodo Deshidratado*



**Figura 2.**

*Muestra de Lodo Deshidratado*



- **Caracterización de lodos**

Se utilizará lodo deshidratado directo, lo cual se enviará al laboratorio 500 g en bolsas plásticas selladas y refrigeradas para analizar los parámetros químicos y biológicos y obtener los parámetros iniciales antes de vermicompostar el lodo.

**Tabla 2.***Análisis de Muestra de Lodo Deshidratado*

Análisis	Metodología/ Pnt	Metodología/ Pnt	Recipiente/ Envase	Cantidad Mínima De Muestra	Preservación	Plazo Técnico
Metales - ICP	Metales Totales en Lodos	EPA Method 3050B Rev.2 (1996) / EPA Method 6020B Rev.2 (2014).	Bolsa Plástica	100 g - 200 g	Refrigerar $\leq$ 6°C	28 DÍAS
Microbiológicos	Coliformes Fecales en lodos	SMEWW 9221 B.2,3, F.2; 23rd Ed. 2017/ EPA 1680. (12.4, 14) 2014	Bolsa Plástica Estéril	100 g	Refrigerar < 10°C	24 HORAS
	Coliformes Totales en lodos					
	Escherichia coli en lodos					
	Detección Salmonella spp	ISO 6579- 1:2017	Bolsa Plástica Estéril	100 g	Refrigerar < 10°C	24 HORAS
pH	Ácido, neutro, alcalino	-	Vaso precipitado	40 g	-	30 min
Conductividad Eléctrica (CE)	$\mu\text{S}/\text{cm}$ a 25,0 °	-	Vaso precipitado	40 g	-	30 min

*\*El laboratorio es acreditado por el organismo peruano de acreditación INACAL - DA con registro bajo la norma NTP ISO / IEC 17025: 2017.*

- **Recolección de las lombrices rojas (*Eisenia foetida*)**

En esta etapa las lombrices rojas (*Eisenia foetida*) se obtuvieron de un campo de cultivo, en cuanto a sus condiciones tanto de temperatura y humedad de un medio son favorables, pueden llegar a vivir hasta 16 años apareándose cada 7 días, estas ingieren de forma diaria una cantidad de comida igual a su peso, aumentando su crecimiento de manera favorable y convirtiéndolo en humus. (Zanabria, 2022).

**Figura 3.**  
*Obtención de Lombriz Roja*



**Figura 4.**  
*Peso inicial de Lombriz antes de la ingesta de Lodo*



**Figura 5.**  
*Peso de la Lombriz durante la ingesta de Lodo (Aumento de peso)*

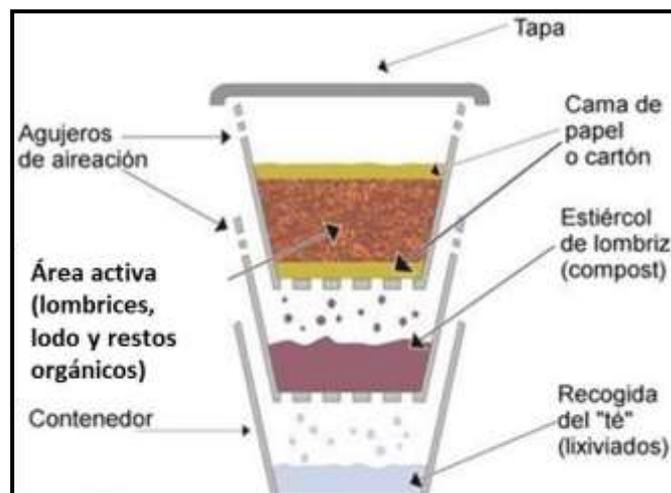


- **Vermicompostaje de lodos deshidratados**

Posteriormente, en la figura se describe el sistema empleado para el proceso de vermicompostaje; como punto principal es la fabricación de la estructura de soporte para las camas de compostaje. Las camas de compostaje deben tener material "crudo o fresco" óptimo a compostar de 25 unidades de Carbono por una unidad de Nitrógeno, es decir  $C(25) / N(1) = 25$  (Cortez, 2020).

**Figura 6.**

*Procedimiento del Vermicompostaje*



*Figura. \*Modelo de vermicompostador "Can-O-Worms".*

**Figura 7.**

*Cama Compostera para el Proceso de Vermicompostaje*



- **Preparación y germinación de semillas de pallar (*Phaseolus lunatus*)**

La planta utilizada en nuestro proyecto será el pallar (*Phaseolus lunatus*), por su menor tiempo de cosecha, cuya semilla se obtuvo de un vivero de forma que previo al sembrado se tendrá que curar. La época de siembra es en la última semana de abril en la época de otoño. De esta forma se realizará 3 ensayos teniendo 3 repeticiones para cada ensayo con 4 semillas en cada maceta, para lo cual obtendremos en su totalidad de 9 macetas.

**Figura 8.**

*Ensayo con 3 repeticiones de cultivo del Phaseolus lunatus*



• **Análisis del lodo vermicompostado:**

- **Parámetros de seguimiento de la biomasa:**

Durante la descomposición del material se realizan monitoreos periódicos de seguimiento llenando las fichas, como: relación Carbono - Nitrógeno, temperatura, humedad, aireación, pH y conductividad eléctrica (Terreros, 2021) para verificar los parámetros de la acción descomponedora y saber si las lombrices son capaces o no de aclimatarse a las condiciones experimentales del vermicompostaje de lodos deshidratados (Estupiñán, 2017).

- Tasa de crecimiento:  $T_c = \ln(W_t - W_i) \times 100$

- % de crecimiento:  $\%C = (W_t - W_i / W_t) \times 100$

Donde,

$W_t$  = Peso Total

$W_o$  = Peso Inicial

- **Análisis químico y biológico del lodo vermicompostado:**

Habiendo cumplido con el tiempo de vermicomposta se retira y envía las muestras del lodo vermicompostado a analizar indicando los análisis fisicoquímicos y microbiológicos, para contrastar con los análisis iniciales del lodo deshidratado y su variación.

- **Aplicación del lodo deshidratado y vermicompostado sobre el pallar (*Phaseolus lunatus*):**

A las 4 semanas de haber sembrado, se aplicará 100 gr del vermicompost y el lodo deshidratado a la base del tallo de la planta.

- **Evaluación del lodo vermicompostado sobre las características de crecimiento y desarrollo del pallar (*Phaseolus lunatus*):**

Medir el peso y la altura de las hojas de la parte aérea de la planta al inicio de la etapa de la floración. Mientras que en la etapa de cosecha se mide el número de nódulos y la longitud de la parte subterránea de la planta.

### **3.7. Método de análisis de datos**

La eficiencia del vermicompost de lodos deshidratados se describe por medio de parámetros sobre estadísticas descriptivas (promedio, rangos y frecuencias) determinando la variación estadística de ANOVA.

## IV. RESULTADOS

### 4.1. Composición física, química y microbiológica de lodos de una PTAR para vermicompostaje

Se efectuó el análisis físico, químico y microbiológico del lodo para determinar sus características antes del proceso de vermicompostaje (Tablas 1, 2 y 3). Estos resultados son importantes porque la enmienda que provenga del lodo debe estar libre de patógenos, metales pesados y con pH y conductividad acorde a los requerimientos del vegetal es decir pH cercano a la neutralidad y CE menos a 1 dsm/m.

Respecto a los parámetros físicos, el pH tiende a la neutralidad; sin embargo, la CE es considerada elevada, probablemente como luego se apreciará en la composición química debido a la cantidad de sales presentes en el lodo (Tabla 3).

**Tabla 3.**

*Parámetros Físicos de Lodo Deshidratado*

Parámetro	Unidad	Método de Ensayo	Resultados
PH (1:5)	U.Ph	Potenciometría	6.8
Cond. Elect. 25°C (1:5)	mS/cm	Electrométrico	702

En la Tabla 4, se describen los elementos químicos encontrados en el lodo deshidratado en mg/kg de peso seco (PS). Como se puede evidenciar se observan elementos químicos en una variedad importante y cantidad como el Cadmio, Níquel, Vanadio, Cromo, Cobre, Aluminio, Arsénico, que son sustancias tóxicas y algunos casos son micronutrientes como el Calcio, Fósforo, Magnesio, Hierro y Sodio, que necesarios para la vida de los seres vivos pero que si se acumulan o se encuentran en cantidades desproporcionadas se convierten en tóxicos peligrosos para la planta y los seres vivos que las consumen.

**Tabla 4.***Composición Química de Lodo Deshidratado*

<b>Parámetro</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>
Aluminio Total	6748	mg/kg PS
Antimonio Total	0,160	mg/kg PS
<b>Arsénico Total</b>	<b>5,7</b>	<b>mg/kg PS</b>
Bario Total	174	mg/kg PS
Berilio Total	0,289	mg/kg PS
Bismuto Total	12,96	mg/kg PS
Boro Total	43,8	mg/kg PS
Cadmio Total	1,900	mg/kg PS
<b>Calcio Total</b>	<b>28639</b>	<b>mg/kg PS</b>
Cerio Total	8,460	mg/kg PS
Cobalto Total	3,32	mg/kg PS
<b>Cobre Total</b>	<b>154</b>	<b>mg/kg PS</b>
Cromo total	16,1	mg/kg PS
Estaño Total	0,757	mg/kg PS
Estroncio Total	114	mg/kg PS
<b>Fósforo Total</b>	<b>8080</b>	<b>mg/kg PS</b>
<b>Hierro Total</b>	<b>7251</b>	<b>mg/kg PS</b>
Litio Total	3,98	mg/kg PS
<b>Magnesio Total</b>	<b>3384</b>	<b>mg/kg PS</b>
<b>Manganeso Total</b>	<b>483</b>	<b>mg/kg PS</b>
Mercurio Total	0,63	mg/kg PS
Molibdeno Total	6,19	mg/kg PS
Níquel Total	10	mg/kg PS

Plata Total	0,915	mg/kg PS
<b>Plomo Total</b>	<b>20,3</b>	<b>mg/kg PS</b>
<b>Potasio Total</b>	<b>1819</b>	<b>mg/kg PS</b>
Selenio Total	5,01	mg/kg PS
<b>Sodio Total</b>	<b>1073</b>	<b>mg/kg PS</b>
Talio Total	<0,003	mg/kg PS
Titanio Total	77	mg/kg PS
Torio Total	0,2819	mg/kg PS
Uranio Total	7,63	mg/kg PS
Vanadio Total	18	mg/kg PS
Wolframio Total	0,315	mg/kg PS
<b>Zinc Total</b>	<b>676</b>	<b>mg/kg PS</b>

*Nota. En verde se resaltan los elementos que favorecen al crecimiento del cultivo y en rojo los elementos tóxicos*

Así mismo en el lodo deshidratado se ha podido evidenciar la presencia de elementos microbiológicos como Coliformes Fecales Coliformes Totales y *Escherichia coli* (Tabla 5), los cuales son considerados dañinos para la salud por lo que su aplicación a los cultivos podría ser contraproducente al aumentar la probabilidad de contaminación cruzada si se llegará a aplicar sin un tratamiento previo como el vermicompostaje que los elimine.

**Tabla 5.**

*Parámetros Microbiológicos de Lodo Deshidratado*

Parámetro	Resultados	Unidades
Coliformes Fecales por NMP	570000	NMP/g ST
Coliformes Totales por NMP	830000	NMP/g ST
Detección <i>Salmonella spp</i>	No Detectado	P-A/10g
<i>Escherichia coli</i> por NMP	2,20 x 10(5)	NMP/g ST

#### 4.2. Composición física, química y microbiológica del vermicompost de lodos de una PTAR

El lodo de la PTAR fue transformado mediante el vermicompostaje empleando a la lombriz roja *Eisenia foetida*. Respecto a los parámetros físicos luego del tratamiento de vermicompostaje se puede apreciar que los valores de pH y CE disminuyeron respecto del lodo sin tratamiento, se obtuvo un pH de 6.57 (neutro), con una conductividad de 4.21 mS/cm, además que se obtuvo una riqueza de 5.82% de materia orgánica (Tabla 6).

**Tabla 6.**  
*Parámetros Físicos de Lodo Vermicompostado*

Parámetro	Unidad	Método De Ensayo	Resultados
PH (1:5)	U.Ph	Potenciometría	6.57
Cond. Elect. 25°C (1:5)	mS/cm	Electrométrico	4.21
Materia Orgánica	%	Vol. Redox	5.82

Acerca de los parámetros químicos también se aprecia una disminución del contenido de algunos de ellos respecto del lodo sin tratamiento o previo al vermicompostaje. Resalta que hay ciertos elementos que son desfavorables como los metales pesados o elementos que son tóxicos tanto para el vegetal como para el ser humano, los que se han señalado en la Tabla 7 de color rojo, como se aprecia en esta tabla hay elementos de este grupo que han disminuido su concentración después del vermicompostaje, elementos como Aluminio, Arsénico, Cadmio y Sodio, de la misma forma hay elementos que enriquecen al cultivo y han aumentado a cierto grado los cuales son Calcio, Cobre, Hierro, Potasio, Magnesio, Manganeso, Fosforo, Silicio y el Zinc que están de color verde.

**Tabla 7.***Composición Química de Lodo Vermicompostado*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados</b>
Plata, Ag	mg/kg	<0.005
<b>Aluminio, Al</b>	<b>mg/kg</b>	<b>4729.04</b>
<b>Arsénico, As</b>	<b>mg/kg</b>	<b>2.16</b>
Boro, B	mg/kg	<0.002
Bario, Ba	mg/kg	62.21
Berilio, Be	mg/kg	<0.0003
Bismuto, Bi	mg/kg	10.74
<b>Calcio, C</b>	<b>mg/kg</b>	<b>13792.33</b>
<b>Cadmio, Cd</b>	<b>mg/kg</b>	<b>&lt;0.0001</b>
Cerio, Ce	mg/kg	<0.02
Cobalto, Co	mg/kg	<0.002
Cromo, Cr	mg/kg	<0.0003
<b>Cobre, Cu</b>	<b>mg/kg</b>	<b>36.2</b>
<b>Hierro, Fe</b>	<b>mg/kg</b>	<b>10883.69</b>
Mercurio, Hg	mg/kg	<0.001
<b>Potasio, K</b>	<b>mg/kg</b>	<b>2921.08</b>
Litio, Li	mg/kg	<0.0003
<b>Magnesio, Mg</b>	<b>mg/kg</b>	<b>3412.77</b>
<b>Manganeso, Mn</b>	<b>mg/kg</b>	<b>223.4</b>
Molibdeno, Mo	mg/kg	<0.0006
<b>Sodio, Na</b>	<b>mg/kg</b>	<b>623.48</b>
Níquel, Ni	mg/kg	<0.0003
<b>Fósforo, P</b>	<b>mg/kg</b>	<b>3039.09</b>

Plomo, Pb	mg/kg	<0.002
Antimonio, Sb	mg/kg	<0.002
Selenio, Se	mg/kg	4.81
<b>Silicio, Si</b>	<b>mg/kg</b>	<b>192.79</b>
Estaño, Sn	mg/kg	5.7
Estroncio, Sr	mg/kg	64.22
Torio, Th	mg/kg	<0.0003
Titanio, Ti	mg/kg	218.91
Talio, Tl	mg/kg	<0.0007
Uranio, U	mg/kg	<0.005
Vanadio, V	mg/kg	18.29
<b>Zinc, Zn</b>	<b>mg/kg</b>	<b>121.15</b>

*Nota. En verde se resaltan los elementos que favorecen al crecimiento del cultivo y en rojo los elementos tóxicos*

En los parámetros microbiológicos se obtuvo un total de 160000 NMP/100 g de coliformes totales, disminuyendo de forma favorable a diferencia del lodo deshidratado, en los coliformes fecales fue de 24000 NMP/100g y 16000 NMP/100g de escherichia coli como se evidencia en la tabla 8.

**Tabla 8.**

*Parámetros Microbiológicos de Lodo Vermicompostado*

<b>Parámetro</b>	<b>Unidad</b>	<b>Resultados</b>
Coliformes Totales	NMP/100g	160000
Coliformes Fecales o Termotolerantes	NMP/100g	24000
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100g	16000

#### 4.3. Parámetros de crecimiento vegetativo de *Phaseolus lunatus* por la aplicación de vermicompost de lodos de una PTAR

Se midió la altura, número de hojas, peso fresco y peso seco del pallar con la finalidad de evaluar el efecto del lodo tratado y sin tratar sobre dichos parámetros de crecimiento vegetal asociados a la presencia de nutrientes, elementos tóxicos o patógenos que puedan mermar su crecimiento como ya se había determinado en los análisis de los numerales 4.1 y 4.2. En la tabla 9 se puede apreciar que la altura de planta sin lodo llega a 27.33 cm, con lodo crudo un 14.67 cm y es mayor con lodo vermicompostado con 74 cm por lo que se considera que la enmienda con lodo vermicompostado incrementa la altura de planta en pallar (Figura 9). Por otro lado, el número de hojas, peso fresco tiene un comportamiento similar, en los que dichas características se incrementan a favor del crecimiento de la planta debido a la presencia de elementos mayores que el vegetal requiere como N, P y K, entre otros.

**Tabla 9.**

*Parámetros de crecimiento Vegetativo*

Tratamiento	Altura (cm)	Número De Hojas	Peso – Fresco (g)	Peso – Seco (g)
Sin Lodo	27.33 a	10.33 b	5.26 a	1.31 a
Con Lodo Crudo	14.67 a	5.67 a	3.95 a	1.31 a
Lodo Vermicompostado	74.00 b	18.00 c	12.81 b	4.58 a

Nota: *Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p>0.05$ )*

**Figura 9.**

*Diferencias en el crecimiento entre los tratamientos de Lodo Crudo, Sin Lodo y Lodo Vermicompostado*

<b>Con Lodo Crudo</b>	<b>Sin Lodo</b>	<b>Con Lodo Vermicompostado</b>
		

#### 4.4. Composición química de la biomasa vegetativa de *Phaseolus lunatus* por la aplicación de vermicompost de lodos de una PTAR

Se determinó adicionalmente el contenido de N, P, K en la planta de *Phaseolus lunatus* en cada tratamiento realizado, siendo estos macronutrientes importantes en la nutrición vegetal, el lodo es una enmienda orgánica luego de su acondicionamiento mediante el vermicompostaje (Tabla 10). Se aprecia que, a pesar que el crecimiento mejora tras la aplicación del lodo vermicompostado (Tabla 9), el contenido de nutrientes N, P, K no es diferente estadísticamente entre los tratamientos.

**Tabla 10.**

*Contenido de N, P y K en el follaje de pallar tratado con lodos de una PTAR*

Tratamiento	Nitrógeno (mg)	Fósforo (mg)	Potasio (mg)
Con Lodo Crudo	1.45 a	0.47 a	7.33 a
Sin Lodo	1.28 a	0.38 a	5.8 a
Lodo Vermicompostado	1.29 a	0.36 a	6.8 a

*Nota: Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

## V. DISCUSIONES

Respecto a los parámetros físicos se conserva la neutralidad de pH en ambos tratamientos; sin embargo, la CE resultante en el tratamiento por vermicompostaje se ha reducido, pero aún es considerada muy alta en salinidad para los cultivos.

La composición química del lodo deshidratado al pasar por el tratamiento de vermicompostaje en algunos casos se ha reducido y en otros aumentó. Las concentraciones más altas de estos elementos están señaladas de color rojo, algunas se han vuelto tóxicas. Estos presentan la propiedad de acumularse en los organismos vivos, en la cual se evidencia que han disminuido después del tratamiento del vermicompost, como vemos el Cadmio inicio con 28,639 mg/kg, siendo el más representativo, ya que su toxicidad reduce el crecimiento, la actividad fotosintética, el contenido de clorofilas y provoca clorosis principalmente en hojas jóvenes, el Cadmio terminó con <0.0001 favoreciendo al pallar.

En el análisis del lodo deshidratado (Tabla 4) en comparación al análisis de lodo vermicompostado (Tabla 7) los nutrientes han aumentado de manera beneficiosa para la planta, debido a la mineralización de nutrientes por las actividades microbianas y fúngicas en equipo con las lombrices (*Eisenia foetida*), llegaron a aumentar el hierro que es un mineral muy importante en la alimentación de los seres vivos ya que hay bacterias férricas en el intestino de la lombriz que son capaces de solubilizar el hierro en la parte proteica.

El lodo deshidratado por ser de origen de aguas residuales (domésticas) tiene una alta carga microbiana, la cual ha sido reducida durante el tratamiento de vermicompostaje, teniendo como ejemplo la *Echerichia coli*, aunque esta reducción es significativa en su carga microbiana, los niveles reducirán según el tiempo de vermicompostaje (Morales, 2017).

El lodo vermicompostado al aplicarlo como enmienda a la planta de *Phaseolus lunatus*, aporta nutrientes importantes como Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Llumiquinga P. (2018), explica que es de gran importancia estos elementos en el cultivo ya que es fundamental para el crecimiento de las plantas, los cuales fueron absorbidos para contribuir durante su desarrollo fenológico. El lodo deshidratado por la toxicidad de metales pesados, tuvo nutrientes acumulados sin poder distribuirse durante el desarrollo de la planta y sin aplicación de tratamiento siguió su proceso natural de crecimiento.

## VI. CONCLUSIONES

La composición de los análisis físicos, químicos y microbiológicos de lodos de una PTAR mediante el vermicompostaje presenta características resaltantes, tiene una cantidad de calcio de 13792.33 mg/kg ya que su aportación en los cultivos desempeña un papel fundamental en su desarrollo, garantizando frutos firmes, el elemento químico del Fósforo con 3039.09 mg/kg es el segundo nutriente mineral de vital importancia en la agricultura, el Potasio 2921.08 mg/kg es fundamental en la fotosíntesis, la respiración y la activación de enzimas teniendo una influencia significativa en el crecimiento como en la calidad de frutas y hortalizas, el Magnesio tuvo un 341.77 mg/kg es un elemento básico en la molécula de la clorofila por lo que interviene en el verdor de la planta y por último el Hierro con 10883.69 mg/kg es un elemento importante para el crecimiento de la planta ya que intervienen en la síntesis de la clorofila y en los procesos enzimáticos y metabólicos.

La acción de las lombrices (*Eisenia foetida*) en conjunto con los microorganismos durante el vermicompostaje, producen cambios importantes en las propiedades del vermicompost que es aplicado al cultivo, demostrando en las características físicas un aumento en la altura, número de hojas, peso fresco y seco, teniendo en cuenta el análisis de varianza y el de Duncan.

Para el crecimiento del *Phaseolus lunatus* es fundamental el N, P, K ya que estos elementos son esenciales para el desarrollo de la planta.

## **VII. RECOMENDACIONES**

Se recomienda la aplicación de estos lodos vermicompostados en suelos pobres, ya que ayudan a mantener y aumentar el contenido de la materia orgánica, introduciendo microorganismos y macronutrientes para mejorar las características físicas, químicas y microbiológicas del suelo.

La aplicación de lodo deshidratado sin tratamiento a las plantas no es recomendable por el alto contenido de elementos tóxicos que reducen la absorción de nutrientes por las raíces.

En los parámetros físicos de los lodos vermicompostados para reducir la alta conductividad eléctrica es necesario realizar más lavados de sales para que este unguento tenga menor cantidad de sales.

Si bien es cierto no tenemos una norma establecida para los lodos vermicompostados es necesario alargar el proceso de compostaje para la disminución de microorganismos patógenos y así reducir el riesgo de contaminación cruzada ya que este tratamiento va dirigido a plantas con frutos.

## REFERENCIAS

- Aldana Tique, A. J., & Pérez Rojas, R. A. (2017). Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional. Caso de estudio: planta de tratamiento de agua potable de El Espinal-Tolima.
- BASSO, M. R. (2019). Efecto de lodos residuales en la acumulación de arsénico en frijol.
- Bastidas Chaparro, D. F. (2017). Proceso de germinación con biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (Ptar) tratados con vermicompostaje, para altitudes no mayores a 850 msnm, caso Colombia. Proyecto Inv 1761 UMNG.
- Belmeskine, H., Ouameur, WA, Dilmi, N. y Aouabed, A. (2020). El vermicompostaje para la valorización agrícola de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Argelia: impacto en el crecimiento del frijol *Phaseolus vulgaris* L. *Heliyon* , 6 (8), e04679.
- CABALLERO VIÑAS, J. O. S. E., Jiménez Moleón, M. D. C., GARCIA MEJIA, C. E., LUCERO CHAVEZ, M. E. R. C. E. D. E. S., & TELLO ANDRADE, A. F. Revalorización de lodos residuales: 2. Lombricompostaje.
- Cagnat, K. H. F. (2021). Caracterización Físicoquímica de lodos provenientes de una planta de tratamiento por tipo de residuo.
- Canales Gutiérrez, A., Belizario Quispe, G., Chui Betancur, H., & Roque Huanca, B. (2022). Remoción de plomo en suelos contaminados con relaves mineros a través del vermicompostaje. *RIA. Revista de investigaciones agropecuarias*, 48(3), 267-273.
- Canales Gutiérrez, A., Solís Ramos, B. J., Panca Castañeda, R. J., & Quispe Cáceres, B. L. (2020). Crianza de *Eisenia foetida* (lombriz roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico. *Ecología Aplicada*, 19(2), 87-92.
- Cárdenas Torrado, G., & Molina Pérez, F. J. (2022). Alternativas para tratar lodos originados en sistemas de tratamiento de aguas residuales: una revisión. *Ingeniería*, 27(3).
- Chávez-Porras, Á., Ramírez-Contreras, T., & Casallas-Ortega, N. (2018). Nitrificación en el tratamiento de lodos de lixiviados en un reactor biológico discontinuo secuencial-SBBR. *Producción+ Limpia*, 13(1), 75-82.

Chávez-Porras, Á., Ramírez-Contreras, T., & Casallas-Ortega, N. (2018). Nitrificación en el tratamiento de lodos de lixiviados en un reactor biológico discontinuo secuencial-SBBR. *Producción+ Limpia*, 13(1), 75-82.

Cristancho Torres, A. C. (2022). Diseño de un proceso para la producción de abono orgánico a partir de lodos residuales generados en la PTAR del municipio de Funza, Cundinamarca (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

Franco Vásquez, V., Gabalo Leguizamo, N., Méndez Flórez, D. L., Roa Rodríguez, E. A., & Cortés Cifuentes, D. (2022). Aplicación de la economía circular, en el aprovechamiento de los lodos residuales generados en Gelco Manizales (Bachelor's thesis, Especialización en Gerencia Procesos de Calidad e Innovación Virtual).

García González, J. (2017). Compostaje en Tambor rotatorio para la revalorización de lodos residuales.

García, J. C. G., & Ponce, S. C. G. (2021). Evaluación de la adaptación de la lombriz roja «Eisenia foetida» a lodos de lixiviación de un relleno sanitario con perspectivas a su utilización en procesos de vermicompostaje. *ConcienciaDigital*, 4(3.1), 6-22.

Guauque Sánchez, D. M. (2017). Comparación del proceso de vermicompostaje con la especie eisenia fétida desde la variación de los residuos orgánicos.

Hernández Sántiz, A. F. (2018). Bioacumulación y eliminación de endosulfán lactona en *Eisenia fetida*.

Huaman Chiroque, L. M. (2019). Tratamiento de lodo residual proveniente de una Planta de Tratamiento de Aguas Residuales a través del vermicompostaje como tecnología ambiental.

Huaraca-Fernandez, J. N., Pérez-Sosa, L., Bustinza-Cabala, L. S., & Pampa-Quispe, N. B. (2020). Enmiendas orgánicas en la inmovilización de cadmio en suelos agrícolas contaminados: una revisión. *Información tecnológica*, 31(4), 139-152.

Llumiquinga Paucar, Y. B., & Parra Padilla, F. D. (2018). Estudio piloto para la estabilización de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del camal metropolitano de Quito mediante vermicompostaje (Bachelor's thesis, Quito, 2018.).

Lozada Ayala, A. C. (2020). Fitorremediación como alternativa para la remoción de metales pesados en el recurso suelo en Colombia (Doctoral dissertation).

Lugo, J., Águila, P. D., Vaca, R., Casas-Hinojosa, I., & Yáñez-Ocampo, G. (2017). Abono orgánico elaborado con lodo residual y estiércol equino a través de vermicomposteo: una propuesta como mejorador de suelos. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(3), 475-484.

Manjarrés-Hernández, E. H., Castellanos-Rozo, J. M., Galvis-López, J. A., & Merchán-Castellanos, N. A. (2021). Uso de biosólidos en Colombia: métodos de estabilización y aplicaciones a nivel agrícola. *I3+*, 4(1), 9-27.

Mogollón Merchán, H. L., & Sarmiento Trujillo, L. D. (2020). Evaluación de la biodegradación microbiana de un empaque plástico comercial de ácido poliláctico por medio de un lodo activo, aspergillus y lodo activo bioaumentado con aspergillus en un medio acuoso aerobio (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

Mora-Ravelo, S. G., Masciandiaro, G., Peruzzi, E., Ceccanti, B., Macci, C., & Doni, S. (2016). Cierre ecológico en el tratamiento de aguas residuales con la fitomineralización de lodos utilizando *Phragmites australis*. *Acta universitaria*, 26(5), 18-23.

Muñante Carrillo, K. A., Perca Machaca, D. D. R., Juli Nina, R., Quispe Sucasaca, J. C., Alarcón Maquera, G. E., & Tirado Rebaza, L. U. M. (2022). Aprovechamiento de estiércol vacuno y pasto seco en la vermiestabilización de lodos residuales de la PTAR (planta de tratamiento de aguas residuales) Magollo. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 20(26), 161-178.

Muñante Carrillo, K. A., Perca Machaca, D. D. R., Juli Nina, R., Quispe Sucasaca, J. C., Alarcón Maquera, G. E., & Tirado Rebaza, L. U. M. (2022). Use of cow manure and dry grass in the vermi-stabilization of residual sludge from WWTP (wastewater treatment plant) Magollo. *Revista Ciencia, Tecnología e Innovación*, 20(26), 161-178.

Noriega, J. P. J., Guzmán, J. M. G., & Aranguren, C. I. (2019). REUTILIZACIÓN DE BIOSÓLIDOS GENERADOS EN LAS PLANTAS DE TRATAMIENTO DE AGUA RESIDUAL, PARA LA REDUCCIÓN DE IMPACTOS AMBIENTALES GRACIAS A SU RECICLAJE. CASOS DE ESTUDIO. *Semilleros*, 6(11), 88-97.

Ramirez Aliaga, B., & Huaman Nina, S. M. (2020). Eficiencia de *Eisenia Foetida* en el tratamiento de lodos derivados de una planta de tratamiento de aguas residuales, mediante el vermicompostaje a escala piloto.

Reyes Araujo, D. Y., Mora Herrera, M. E., & Lugo, J. (2020). Estabilización Por Vermicomposteo de Lodos Residuales Aplicados en la Productividad de Albahaca (*Ocimum basilicum* L.). *Revista internacional de contaminación ambiental*, 36(2), 371-381.

Riascos, A. R., Guerrero, M. G., & Arboleda, L. D. (2019). Evaluación de vermicompost con diferentes sustratos en la producción de biomasa con la lombriz roja californiana. *Revista Gipama*, 1(1), 28-35.

Rincón Carreño, L. N. (2019). Aprovechamiento de los lodos de planta de tratamiento de aguas residuales en empresa láctea, municipio de Cogua (Bachelor's thesis, Fundación Universidad de América).

Rivadeneira Guillem, M. I. (2020). Estudio de la toxicidad de material lignocelulósico sobre *Eisenia foetida*, *Schoenoplectus* sp. y *Heliconia* sp. Utilizados en sistemas de tratamiento de biofiltración (Bachelor's thesis, Quito, 2020.).

Saldaña-Escorcia, R., & Gámez, J. K. C. (2022). Alternativas para la estabilización de lodos generados en estaciones depuradoras de aguas residuales desde un enfoque sistémico: una revisión. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 175-194.

Santana Flor, M. L., & Turpo Carcausto, G. A. (2021). Remediación de suelos salinos con Vermicompost elaborado a partir de residuos industriales del olivo en un fundo del distrito de La Yarada-Los Palos, Tacna, 2021.

Suárez-Cardoso, D. T., Ríos-Cruz, K. L., Peñuela-Sierra, L. M., & Castañeda-Serrano, R. D. (2016). Utilización de humus de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida* Saligny, 1826) en la alimentación de gallinas ponedoras. *Boletín Científico. Centro de Museos. Museo de Historia Natural*, 20(1), 43-51.

Vázquez, J., Alvarez-Vera, M., Iglesias-Abad, S., & Castillo, J. (2020). La incorporación de enmiendas orgánicas en forma de compost y vermicompost reduce los efectos negativos del monocultivo en suelos. *Scientia Agropecuaria*, 11(1), 105-112.

Villegas-Cornelio, V. M., & Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 407-421.

## ANEXOS

### 1. Matriz de Consistencia

Efecto de Lodos de una PTAR tratados por Vermicompostaje en el Cultivo de <i>Phaseolus lunatus</i>							
Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensión	Indicadores	Escala	Valor	Instrumento
Lodos de una PTAR tratados por vermicompostaje	Los lodos se caracterizan por ser un residuo extremadamente líquido (más de un 95% de agua). Su composición es variable y depende de la carga de contaminación del agua residual inicial y de las características técnicas de los tratamientos llevados a cabo en las aguas residuales, al ser tratados pueden ser utilizados en actividades agrícolas,	Corresponde a las características del lodo, crecimiento de las lombrices sobre el lodo y composición final del vermicompost de lodos de una PTAR	Composición del lodo de una PTAR	contenido de Ph, C, N, P, K y Conductividad eléctrica	Numérica	PPM	Análisis de fertilidad general
			Parámetros de crecimiento de lombrices	Longitud	Numérica	Metros	Tasa de crecimiento relativa
				Peso	Numérica	Gramos	Tasa de crecimiento relativa

Efecto de Lodos de una PTAR tratados por Vermicompostaje en el Cultivo de *Phaseolus lunatus*

	forestales, entre otras (DS-015-2017)		Composición del vermicompost	Contenido de N, P y K	Numérica	PPM	Análisis de fertilidad general
Cultivo de <i>Phaseolus lunatus</i>	Es el cultivo de pallar, una leguminosa de origen e importancia económica y alimentaria en la región Ica y el Perú. Requiere de suelos bien preparados (suelos), de profundidad media (30 – 50 cm.) y mezclada con buena cantidad de abonos (compost, humus de lombriz, etc.). (MIDAGRI,2016)	Son parámetros relacionados al crecimiento vegetativo y composición química de la biomasa de pallar	Parámetros de crecimiento vegetativo de <i>Phaseolus lunatus</i>	Longitud de planta	Numérica	Metros	Tasa de crecimiento relativa
				Biomasa seca aérea	Numérica	Gramos	Balanza
				Biomasa seca radicular	Numérica	Gramos	Balanza
			Análisis químico de <i>Phaseolus lunatus</i>	Contenido de N, P y K en hoja	Numérica	PPM	Análisis químico

## 2. Análisis estadístico de las características asociadas al crecimiento vegetativo de *Phaseolus Lunatus*

- Análisis para la Altura de Planta

### *Análisis de Varianza*

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	5858.67	2	2929.33	20.89	0.0020
Tratamiento	5858.67	2	2929.33	20.89	0.0020
Error	841.33	6	140.22		
Total	6700.00	8			

### *Duncan Alfa*

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Con Lodo Crudo	14.67	3	6.84	A
Sin Lodo	27.33	3	6.84	A
Lodo Vermicompostado	74.00	3	6.84	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )*

- Análisis para el Número de Hojas

### *Análisis de Varianza*

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	232.67	2	116.33	27.55	0.0009
Tratamiento	232.67	2	116.33	27.55	0.0009
Error	25.33	6	4.22		
Total	258.00	8			

*Duncan Alfa*

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Con Lodo Crudo	5.67	3	1.19	A
Sin Lodo	10.33	3	1.19	B
Lodo Vermicompostado	18.00	3	1.19	C

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p>0.05$ )*

- Análisis para el Peso Fresco

Análisis de Varianza

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	137.15	2	68.58	9.88	0.0126
Tratamiento	137.15	2	68.58	9.88	0.0126
Error	41.65	6	6.94		
Total	178.80	8			

*Duncan Alfa*

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Con Lodo Crudo	3.95	3	1.52	A
Sin Lodo	5.26	3	1.52	A
Lodo Vermicompostado	12.81	3	1.52	B

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p>0.05$ )*

- Análisis para el Peso Seco

Análisis de Varianza

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	18.36	2	9.18	1.37	0.3227
Tratamiento	18.36	2	9.18	1.37	0.3227
Error	40.10	6	6.68		
Total	58.46	8			

*Duncan Alfa*

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Con Lodo Crudo	1.31	3	1.49	A
Sin Lodo	1.31	3	1.49	A
Lodo Vermicompostado	4.58	3	1.49	A

*Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p>0.05$ )*

### 3. Análisis estadístico de las características asociadas a la biomasa vegetativa de *Phaseolus lunatus*

- Análisis para Nitrógeno

#### *Análisis de Varianza*

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.06	2	0.03	0.04	0.9626
Tratamiento	0.06	2	0.03	0.04	0.9626
Error	4.52	6	0.75		
Total	4.58	8			

#### *Duncan Alfa*

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Con Lodo Crudo	1.45	3	0.50	A
Sin Lodo	1.28	3	0.50	A
Lodo Vermicompostado	1.29	3	0.50	A

- Análisis para Fósforo

#### *Análisis de Varianza*

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.02	2	0.01	0.57	0.5940
Tratamiento	0.02	2	0.01	0.57	0.5940

Error	0.11	6	0.02
Total	0.13	8	

*Duncan Alfa*

Tratamiento	Medias	n	E.E.	
Con Lodo Crudo	0.47	3	0.80	A
Sin Lodo	0.38	3	0.80	A
Lodo Vermicompostado	0.36	3	0.80	A

● Análisis para Potasio

*Análisis de Varianza*

F. V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	3.64	2	1.82	0.53	0.6118
Tratamiento	3.64	2	1.82	0.53	0.6118
Error	20.43	6	3.40		
Total	24.06	8			

*Duncan Alfa*

TRATAMIENTO	Medias	n	E.E.	
Con Lodo Crudo	7.33	3	1.07	A
Sin Lodo	5.80	3	1.07	A
Lodo Vermicompostado	6.80	3	1.07	A



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

### **Declaratoria de Autenticidad del Asesor**

Yo, SOLORZANO ACOSTA RICHARD ANDI, docente de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA NORTE, asesor de Tesis titulada: "Efecto de Lodos de una PTAR tratados por Vermicompostaje en el Cultivo de Phaseolus lunatus", cuyos autores son CHACALTANA HUAMANI FRANCCESCA SUMIKO, SCARAMUTTI PIMENTEL SANDRA CAROLINA, constato que la investigación tiene un índice de similitud de 15.00%, verificable en el reporte de originalidad del programa Turnitin, el cual ha sido realizado sin filtros, ni exclusiones.

He revisado dicho reporte y concluyo que cada una de las coincidencias detectadas no constituyen plagio. A mi leal saber y entender la Tesis cumple con todas las normas para el uso de citas y referencias establecidas por la Universidad César Vallejo.

En tal sentido, asumo la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de información aportada, por lo cual me someto a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

LIMA, 23 de Agosto del 2022

<b>Apellidos y Nombres del Asesor:</b>	<b>Firma</b>
SOLORZANO ACOSTA RICHARD ANDI <b>DNI:</b> 45283270 <b>ORCID:</b> 0000-0003-3248-046X	Firmado electrónicamente por: RSOLORZANOAC el 13-11-2022 23:08:43

Código documento Trilce: TRI - 0423570