

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental

Tesis

**Influencia de la vermiestabilización de lodos  
residuales de la PTAR Sausa en la producción de  
vermicompost, Jauja-2022**

Paul Esmith Quincho Perez

Para optar el Título Profesional de  
Ingeniero Ambiental

Huancayo, 2023

Repositorio Institucional Continental  
Tesis digital



Esta obra está bajo una Licencia "Creative Commons Atribución 4.0 Internacional" .

## INFORME DE CONFORMIDAD DE ORIGINALIDAD DE TESIS

**A** : FELIPE NÉSTOR GUTARRA MEZA  
Decano de la Facultad de Ingeniería

**DE** : ANDRES ALBERTO AZABACHE LEYTON  
Asesor de tesis

**ASUNTO** : Remito resultado de evaluación de originalidad de tesis

**FECHA** : 9 de Julio de 2023

---

Con sumo agrado me dirijo a vuestro despacho para saludarlo y en vista de haber sido designado asesor de la tesis titulada: **"INFLUENCIA DE LA VERMIESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES DE LA PTAR SAUSA EN LA PRODUCCIÓN DE VERMICOMPOST, JAUJA-2022 "**, perteneciente al estudiante **PAUL ESMITH QUINCHO PEREZ**, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental; se procedió con la carga del documento a la plataforma "Turnitin" y se realizó la verificación completa de las coincidencias resaltadas por el software dando por resultado 20 % de similitud (informe adjunto) sin encontrarse hallazgos relacionados a plagio. Se utilizaron los siguientes filtros:

- Filtro de exclusión de bibliografía SI  NO
- Filtro de exclusión de grupos de palabras menores (Nº de palabras excluidas: ) SI  NO
- Exclusión de fuente por trabajo anterior del mismo estudiante SI  NO

En consecuencia, se determina que la tesis constituye un documento original al presentar similitud de otros autores (citas) por debajo del porcentaje establecido por la Universidad.

Recae toda responsabilidad del contenido de la tesis sobre el autor y asesor, en concordancia a los principios de legalidad, presunción de veracidad y simplicidad, expresados en el Reglamento del Registro Nacional de Trabajos de Investigación para optar grados académicos y títulos profesionales – RENATI y en la Directiva 003-2016-R/UC.

Esperando la atención a la presente, me despido sin otro particular y sea propicia la ocasión para renovar las muestras de mi especial consideración.

Atentamente,



---

ANDRES ALBERTO AZABACHE LEYTON  
Asesor de tesis

---

## **DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD**

Yo, Paul Esmith Quincho Perez, identificado(a) con Documento Nacional de Identidad No. 71556474, de la E.A.P. de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Ingeniería la Universidad Continental, declaro bajo juramento lo siguiente:

1. La tesis titulada: "INFLUENCIA DE LA VERMIESTABILIZACIÓN DE LODOS RESIDUALES DE LA PTAR SAUSA EN LA PRODUCCIÓN DE VERMICOMPOST, JAUJA-2022 ", es de mi autoría, la misma que presento para optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental.
2. La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se han respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas, por lo que no atenta contra derechos de terceros.
3. La tesis es original e inédita, y no ha sido realizado, desarrollado o publicado, parcial ni totalmente, por terceras personas naturales o jurídicas. No incurre en autoplagio; es decir, no fue publicado ni presentado de manera previa para conseguir algún grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, pues no son falsos, duplicados, ni copiados, por consiguiente, constituyen un aporte significativo para la realidad estudiada.

De identificarse fraude, falsificación de datos, plagio, información sin cita de autores, uso ilegal de información ajena, asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a las acciones legales pertinentes.

18 de Julio de 2023.



---

Paul Esmith Quincho Perez

---

INFORME DE ORIGINALIDAD

---

<b>20%</b>	<b>20%</b>	<b>6%</b>	<b>8%</b>
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

---

FUENTES PRIMARIAS

---

<b>1</b>	<b>hdl.handle.net</b> Fuente de Internet	<b>3%</b>
<b>2</b>	<b>Submitted to Universidad Continental</b> Trabajo del estudiante	<b>2%</b>
<b>3</b>	<b>repositorio.ucv.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>4</b>	<b>repositorio.continental.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>5</b>	<b>repositorio.une.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>6</b>	<b>repositorio.uncp.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>7</b>	<b>doczz.net</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>8</b>	<b>repositorio.unsa.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>
<b>9</b>	<b>repositorio.unaj.edu.pe</b> Fuente de Internet	<b>1%</b>

---

10	<a href="http://sedici.unlp.edu.ar">sedici.unlp.edu.ar</a> Fuente de Internet	<1 %
11	<a href="http://www.scielo.org.mx">www.scielo.org.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
12	<a href="http://www.amica.com.mx">www.amica.com.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
13	<a href="http://qdoc.tips">qdoc.tips</a> Fuente de Internet	<1 %
14	<a href="http://repositorio.upagu.edu.pe">repositorio.upagu.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
15	<a href="http://energia.azc.uam.mx">energia.azc.uam.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
16	<a href="http://pdffox.com">pdffox.com</a> Fuente de Internet	<1 %
17	<a href="http://repositorio.unsch.edu.pe">repositorio.unsch.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
18	<a href="http://www.coursehero.com">www.coursehero.com</a> Fuente de Internet	<1 %
19	<a href="http://repositorio.untels.edu.pe">repositorio.untels.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
20	<a href="http://repositorio.undac.edu.pe">repositorio.undac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
21	<a href="http://www.utem.edu.mx">www.utem.edu.mx</a> Fuente de Internet	<1 %

22	<a href="http://repositorio.cientifica.edu.pe">repositorio.cientifica.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
23	<a href="http://bibdigital.epn.edu.ec">bibdigital.epn.edu.ec</a> Fuente de Internet	<1 %
24	<a href="http://www.scribd.com">www.scribd.com</a> Fuente de Internet	<1 %
25	<a href="http://repositorio.unac.edu.pe">repositorio.unac.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
26	Submitted to Universidad Nacional Santiago Antunez de Mayolo Trabajo del estudiante	<1 %
27	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
28	<a href="http://www3.vivienda.gob.pe">www3.vivienda.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
29	<a href="http://1library.co">1library.co</a> Fuente de Internet	<1 %
30	<a href="http://repository.usta.edu.co">repository.usta.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
31	<a href="http://repositorio.unfv.edu.pe">repositorio.unfv.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
32	Submitted to Universidad Cesar Vallejo Trabajo del estudiante	<1 %

33	<a href="http://tesis.usat.edu.pe">tesis.usat.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
34	Submitted to Universidad Carlos III de Madrid Trabajo del estudiante	<1 %
35	<a href="http://redpav-fpolar.info.ve">redpav-fpolar.info.ve</a> Fuente de Internet	<1 %
36	<a href="http://www.unicordoba.edu.co">www.unicordoba.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
37	<a href="http://dehesa.unex.es">dehesa.unex.es</a> Fuente de Internet	<1 %
38	<a href="http://ciencia.lasalle.edu.co">ciencia.lasalle.edu.co</a> Fuente de Internet	<1 %
39	<a href="http://repositorio.upeu.edu.pe:8080">repositorio.upeu.edu.pe:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
40	<a href="http://worldwidescience.org">worldwidescience.org</a> Fuente de Internet	<1 %
41	<a href="http://www.contraloria.gov.co">www.contraloria.gov.co</a> Fuente de Internet	<1 %
42	Submitted to Universidad Catolica de Avila Trabajo del estudiante	<1 %
43	<a href="http://colposdigital.colpos.mx:8080">colposdigital.colpos.mx:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
44	<a href="http://repositorio.ulatina.ac.cr">repositorio.ulatina.ac.cr</a> Fuente de Internet	<1 %



45	<a href="http://www.slideshare.net">www.slideshare.net</a> Fuente de Internet	<1 %
46	Submitted to Universidad Santiago de Cali Trabajo del estudiante	<1 %
47	<a href="http://repositorio.unasam.edu.pe">repositorio.unasam.edu.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
48	Submitted to Universidad Nacional de Educacion Enrique Guzman y Valle Trabajo del estudiante	<1 %
49	<a href="http://cdn.www.gob.pe">cdn.www.gob.pe</a> Fuente de Internet	<1 %
50	Submitted to Universidad Nacional Abierta y a Distancia, UNAD, UNAD Trabajo del estudiante	<1 %
51	Submitted to Universidad Autónoma Metropolitana-Xochimilco Trabajo del estudiante	<1 %
52	<a href="http://repositorio.unaj.edu.pe:8080">repositorio.unaj.edu.pe:8080</a> Fuente de Internet	<1 %
53	<a href="http://www.aquiland.fr">www.aquiland.fr</a> Fuente de Internet	<1 %
54	<a href="http://siiba.conadesuca.gob.mx">siiba.conadesuca.gob.mx</a> Fuente de Internet	<1 %
55	<a href="http://ilps.uobaghdad.edu.iq">ilps.uobaghdad.edu.iq</a> Fuente de Internet	<1 %

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 20 words

Excluir bibliografía

Activo

**ASESOR**

**Mg. ANDRÉS ALBERTO AZABACHE LEYTON**

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Andrés Alberto Azabache Leyton, por darme las pautas y guiarme durante todo este proceso, ya que a través de su experiencia supo encaminar esta investigación.

Al EPS Mantaro y al ingeniero Florencio Ingaroca Meza, por darnos las facilidades de acceso a la planta de tratamiento de aguas residuales Sausa y por la disposición del tiempo de los encargados.

También al equipo técnico del Laboratorio de análisis de suelos, plantas, aguas y fertilizantes (LASPAF), de la Universidad Agraria La Molina por sus servicios.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y familiares, por ser ejemplo de valores y constancia, y sobre todo por ser el motor fundamental de nuestras vidas, ya que siempre estuvieron instruyéndonos, guiándonos y apoyándonos en el día a día, además a Dios, por ser el pilar fundamental de mi fe.

## ÍNDICE

<b>Asesor .....</b>	<b>ix</b>
<b>Agradecimientos.....</b>	<b>x</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>xi</b>
<b>Índice .....</b>	<b>xii</b>
<b>Índice de figuras .....</b>	<b>xviii</b>
<b>Resumen.....</b>	<b>xix</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>xx</b>
<b>Introducción .....</b>	<b>xxi</b>
<b>Capítulo I.....</b>	<b>23</b>
<b>Planteamiento del estudio.....</b>	<b>23</b>
1.1. Planteamiento y formulación del problema.....	23
1.1.1. Problema general.....	24
1.1.2. Problemas específicos .....	24
1.2. Objetivos .....	24
1.2.1. Objetivo general.....	24
1.2.2. Objetivos específicos .....	24
1.3. Justificación e importancia.....	24
1.3.1. Ambiental.....	24
1.3.2. Tecnológico.....	25
1.3.3. Económico .....	25
1.3.4. Social.....	25
1.4. Hipótesis general .....	26
1.5. Operacionalización de variables.....	27
<b>Capítulo II.....</b>	<b>28</b>
<b>Marco teórico.....</b>	<b>28</b>
2.1. Antecedentes de la investigación .....	28
2.1.1. Antecedentes internacionales .....	28
2.1.2. Antecedentes nacionales .....	31
2.2. Bases legales .....	34
2.2.1. Normativa para reaprovechamiento de lodos residuales.....	34
2.2.1.1 Parámetro de estabilización:.....	35
2.2.1.2 Parámetros de toxicidad química .....	35
2.2.1.3 Parámetro de higienización: .....	35
2.2.2. Protocolo de monitoreo de biosólidos.....	35
2.2.3. Normativa mexicana para calidad del humus de lombriz .....	36

2.2.4. Límites máximos microbiológicos .....	36
2.3. Bases teóricas .....	37
2.3.1. Precompostaje .....	37
2.3.2. Compostaje.....	37
2.3.2.1 Fases del compostaje .....	38
2.3.2.2 Parámetros de las fases del compostaje.....	40
2.3.3. Sistemas de compostaje .....	41
2.3.3.1 Compostaje en pilas por volteo .....	41
2.3.3.2 Compostaje en pilas estáticas .....	41
2.3.3.3 Compostaje en reactor .....	41
2.3.4. Vermiestabilización .....	41
2.3.4.1 Proceso de vermiestabilización .....	42
2.3.4.2 Eisenia foetida.....	43
2.3.4.3 Sistema de crianza.....	45
2.3.4.4 Capacidad reproductiva.....	45
2.3.4.5 Residuos vermicompostables .....	46
2.3.4.6 Cosecha .....	46
2.3.4.7 Humus .....	47
2.3.4.8 Humus sólido .....	47
2.3.4.9 Humus líquido.....	49
2.3.5. Lodos residuales.....	50
2.3.5.1 Tipos de lodos residuales .....	50
2.3.5.2 Lagunas de oxidación o de estabilización .....	51
2.3.5.3 Sistemas de lagunas de oxidación .....	52
2.3.5.4 Procesos biológicos .....	52
2.4. Definición de términos básicos .....	53
<b>Capítulo III .....</b>	<b>56</b>
<b>Metodología .....</b>	<b>56</b>
3.1. Método y alcance de la investigación.....	56
3.1.1. Método general .....	56
3.1.2. Tipo de investigación .....	56
3.1.3. Nivel de investigación.....	57
3.2. Diseño de la investigación.....	57
3.2.1. Enfoque cuantitativo .....	59
3.3. Población y muestra .....	59
3.3.1. Población.....	60
3.3.2. Muestra.....	60

3.3.2.1	Tamaño de muestra .....	61
3.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	61
3.4.1.	Técnica de observación .....	61
3.4.2.	Instrumentos mecánicos .....	61
3.4.3.	Revisión bibliográfica .....	62
3.4.4.	Materiales y equipos .....	62
3.4.4.1	Materiales en fase de campo .....	62
3.4.4.2	Materiales y equipos de laboratorio .....	62
3.4.5.	Procedimiento .....	63
3.4.5.1	Etapa de evaluación de lodos residuales .....	63
3.4.5.2	Etapa de preparación de restos orgánicos.....	64
3.4.5.3	Etapa de vermiestabilización.....	65
3.4.6.	Etapa de laboratorio .....	68
3.4.7.	Etapa de gabinete .....	68
<b>Capítulo IV</b>	.....	<b>70</b>
<b>Resultados y discusión</b>	.....	<b>70</b>
4.1.	Presentación de resultados.....	70
4.1.1.	Parámetros físicos, químicos y biológicos .....	70
4.1.1.1	Estabilización de lodos residuales.....	70
4.1.1.2	Toxicidad química de los lodos residuales.....	70
4.1.2.	Parámetros de higienización (microbiológicos).....	72
4.1.2.1	Higienización de los lodos residuales .....	72
4.1.3.	Parámetros fisicoquímicos del humus.....	73
4.2.	Análisis de resultados.....	80
4.2.1.	Prueba de hipótesis para parámetros fisicoquímicos del humus .....	81
4.2.1.1	Prueba de normalidad para (Nt) .....	81
4.2.1.2	Prueba no paramétrica para (Nt) .....	81
4.2.1.3	Comparación de medias para Nt .....	82
4.2.1.4	Prueba de normalidad para (MO).....	82
4.2.1.5	Prueba paramétrica para MO.....	83
4.2.1.6	Prueba de normalidad para relación (C/N).....	83
4.2.1.7	Prueba paramétrica para relación (C/N) .....	84
4.2.1.8	Comparación de medias para relación C/N.....	85
4.2.1.9	Prueba de normalidad para humedad .....	86
4.2.1.10	Prueba paramétrica para humedad .....	86
4.2.1.11	Comparación de medias para humedad.....	87
4.2.1.12	Prueba de normalidad para pH .....	88

4.2.1.13 Prueba paramétrica para pH .....	88
4.2.1.14 Prueba de normalidad para CE.....	89
4.2.1.15 Prueba no paramétrica para CE.....	89
4.2.1.16 Comparación de medias para CE .....	90
4.2.1.17 Prueba de normalidad para CIC .....	90
4.2.1.18 Prueba no paramétrica para CIC .....	91
4.2.1.19 Prueba de normalidad para densidad aparente .....	92
4.2.1.20 Prueba no paramétrica para densidad aparente .....	92
4.3. Contrastación de la hipótesis general .....	93
4.4. Discusión de resultados .....	94
<b>Conclusiones .....</b>	<b>97</b>
<b>Recomendaciones .....</b>	<b>99</b>
<b>Lista de referencias .....</b>	<b>100</b>
<b>Anexos .....</b>	<b>104</b>



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Operacionalización de variables .....	27
Tabla 2. Parámetros de toxicidad química para lodos.....	35
Tabla 3. Parámetros de higienización .....	35
Tabla 4. Características fisicoquímicas para humus .....	36
Tabla 5. Límites máximos microbiológicos.....	36
Tabla 6. Temperatura para la eliminación de agentes patógenos.....	39
Tabla 7. Parámetros del compostaje.....	40
Tabla 8. Condiciones ambientales para la lombriz Eisenia foetida.....	44
Tabla 9. Características fisicoquímicas del humus .....	48
Tabla 10. Características químicas.....	48
Tabla 11. Características microbiológicas .....	49
Tabla 12. Características fisicoquímicas y biológicas .....	49
Tabla 13. Valores de los parámetros más estudiados en los lodos.....	50
Tabla 14. Características de una investigación aplicada .....	57
Tabla 15. Diseño de tratamientos.....	59
Tabla 16. Diseño de investigación .....	59
Tabla 17. Proporciones de residuos orgánicos para la etapa de vermiestabilización.....	64
Tabla 18. Testigo o control .....	66
Tabla 19. Tratamiento 1 .....	66
Tabla 20. Tratamiento 2 .....	66
Tabla 21. Tratamiento 3 .....	66
Tabla 22. Resultados de la temperatura durante el proceso de vermiestabilización .....	67
Tabla 23. Resultados de toxicidad química en lodos residuales .....	71
Tabla 24. Parámetros microbiológicos del compost .....	72
Tabla 25. Resultados físicos químicos del humus obtenido.....	73
Tabla 26. Prueba de normalidad para nitrógeno total. ....	81
Tabla 27. Prueba de Kruskal-Wallis para Nt.....	82
Tabla 28. Comparación de medias de Kruskal-Wallis.....	82
Tabla 29. Prueba de normalidad para materia orgánica.....	83
Tabla 30. Prueba de Anova para materia orgánica.....	83
Tabla 31. Prueba de normalidad para relación carbono nitrógeno.....	84
Tabla 32. Prueba de Anova para relación C/N.....	84
Tabla 33. Prueba de post hoc - comparaciones múltiples para C/N.....	85
Tabla 34. Comparación de medias – Anova de factor .....	85
Tabla 35. Prueba de normalidad para humedad .....	86

Tabla 36. Prueba de Anova para humedad.....	86
Tabla 37. Prueba de post hoc - comparaciones múltiples para humedad.....	87
Tabla 38. Comparación de medias de Kruskal-Wallis.....	87
Tabla 39. Prueba de normalidad para pH.....	88
Tabla 40. Prueba de Anova para pH. ....	88
Tabla 41. Prueba de normalidad para humedad.....	89
Tabla 42. Prueba de Kruskal-Wallis para CE.....	90
Tabla 43. Comparación de medias de Kruskal-Wallis.....	90
Tabla 44. Prueba de normalidad para humedad.....	91
Tabla 45. Prueba no paramétrica para CIC.....	91
Tabla 46. Prueba de normalidad para humedad.....	92
Tabla 47. Prueba de Kruskal-Wallis para DA.....	93

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Etapa de acondicionamiento o precompostaje.....	37
Figura 2. Fases del compostaje .....	40
Figura 3. Disposición del diseño.....	66
Figura 4. Variación de temperatura durante 8 semanas. ....	67
Figura 5. Parámetros de toxicidad química del biosólido .....	71
Figura 6. Variación de materia orgánica .....	73
Figura 7. Variación de materia orgánica .....	74
Figura 8. Variación de relación C/N .....	75
Figura 9. Variación de pH.....	76
Figura 10. Variación de la humedad .....	77
Figura 11. Variación de la conductividad eléctrica.....	78
Figura 12. Variación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC) .....	79
Figura 13. Variación de la densidad aparente .....	80
Figura 14. Secado del biosólido .....	105
Figura 15. Laguna de oxidación.....	105
Figura 16. Secado del biosólido .....	106
Figura 17. Biosólido en proceso de secado.....	106
Figura 18. Preparación de las camas de vermiestabilización .....	107
Figura 19. Adición de componentes en las camas .....	107
Figura 20. Lagunas de oxidación .....	114
Figura 21. Mapa de ubicación de la experimentación.....	114

## RESUMEN

En el Perú, los lodos residuales generados en las PTAR vienen generando impactos ambientales negativos, por ello, esta investigación tiene como objetivo determinar la influencia de la vermiestabilización de los lodos residuales de la PTAR Sausa en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, a través de la relación entre la dosis del biosólido y los parámetros de calidad de acuerdo con la normativa descrita. La metodología empleada es a través de la vermiestabilización con 4 dosis: TC (lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 3 kg), T1 (lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,6 kg [20 %] + restos orgánicos 2,4 kg [80 %]), T2 (lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 1,2 kg [40 %] + restos orgánicos 1,8 kg [60 %]), T3 (lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 1,8 kg [60 %] + restos orgánicos 1,2 kg [40 %]), con un diseño experimental completamente al azar con 3 repeticiones, como resultado los contenidos de nitrógeno total, materia orgánica, relación C/N, pH y conductividad eléctrica esté en el tratamiento 3 cumplen con los estándares de calidad de la normativa mexicana, por lo que puede ser utilizado para tierras agrícolas, áreas forestales y otros.

**Palabras claves:** compostaje, lodos residuales, vermiestabilización

## ABSTRACT

In Peru, the residual sludge generated in the ST has been generating negative environmental impacts, so this research aims to determine the influence of the vermistabilization of the residual sludge of the Sausa ST in the production vermicompost in accordance with the Mexican regulation NMX-FF-109-SCFI-2007, through the relationship between the dose of the biosolid and the quality parameters in accordance with the regulations described. The methodology used is through vermistabilization with 4 doses: TC (Eisenia foetida worm and soil 0.500 kg + organic remains 3 kg), T1 (Eisenia foetida worm and soil 0.500 kg + stabilized sludge 0.6 kg [20%] + organic remains 2.4 kg [80%]), T2 (Eisenia foetida worm and soil 0.500 kg + stabilized sludge 1.2 kg [40%] + organic remains 1.8 kg [60%]), T3 (worm Eisenia foetida and soil 0,500 kg + stabilized sludge 1,8 kg [60%] + organic remains 1.2 kg [40%]), with a completely random experimental design with 3 replications, as a result the contents of total nitrogen, organic matter, C / N ratio, pH, humidity, electrical conductivity, CIC and bulk density meet the quality standards of Mexican regulations, so it can be used for agricultural land, forest areas and others.

**Keywords:** composting, sewage sludge, vermistabilization

## INTRODUCCIÓN

El crecimiento demográfico a nivel mundial ha ocasionado que los hogares requieran considerablemente una mayor cantidad de uso del agua, por ello, se han diseñado y construido plantas de tratamiento de aguas residuales para poder reintegrar esta agua con la menor cantidad de contaminantes y reutilizarla sin causar daños al medio ambiente y a la salud, pero durante este proceso se obtiene como subproducto los lodos residuales que tienden a retener metales pesados, materia orgánica y entre otros compuestos químicos. Existen muchos tratamientos que tienen como propósito disminuir el volumen de los lodos residuales y estabilizarlos para que estos se conviertan en productos inocuos, es decir que este lodo residual disminuya la cantidad de contaminantes y pueda ser reutilizado o reaprovechado, una de las opciones más económicas y viables para reaprovechar este lodos residuales es la vermiestabilización (1).

La planta de tratamiento de aguas residuales de Sausa ubicada en la provincia de Jauja está en funcionamiento desde el año 2012 y hasta agosto de 2021 ha acumulado aproximadamente 4898,9 m<sup>3</sup> de lodos residuales que ya necesitan ser extraídos para recibir un posterior tratamiento, de lo contrario, este estaría ocasionando consecuencias graves de contaminación del suelo, aire y agua debido a la emanación de gases, la alta cantidad de concentración de microorganismos patógenos, grandes cantidades de materia orgánica y los materiales traza de metales pesados (2). Frente a esta problemática, se planteó dar una alternativa de solución a través de la vermiestabilización con la lombriz *Eisenia foetida*, este anélido excreta un subproducto conocido como humus y tiene la capacidad de cambiar las propiedades fisicoquímicas, biológicas y microbiológicas del suelo. Por lo antes mencionado, el objetivo es determinar la influencia de la vermiestabilización de los lodos residuales de la PTAR Sausa en la producción de vermicompost a través de la relación entre la dosis del lodo estabilizado y los parámetros de calidad de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

El trabajo de investigación presenta cuatro capítulos. En el capítulo uno se encuentra la introducción, resumen, problema de estudio, justificación (tecnológica, ambiental, social y económica) y objetivos, de acuerdo con este último se planteó la hipótesis y se definió la operacionalización de las variables. En el capítulo dos se encuentra el marco teórico (antecedentes de investigaciones, revistas científicas, guías técnicas de vermiestabilización y normas legales) además de las bases teóricas y la definición de términos básicos. En el capítulo tres se da a conocer la metodología como se desarrolla la investigación, en donde se consigna el método y el alcance de la investigación, el diseño de la investigación, la población y muestra

de los objetos de estudio, las técnicas e instrumentos de recolección de los datos; por último, en el capítulo cuatro se presentan los resultados de la investigación, la discusión de resultados con otras investigaciones; además, de las conclusiones, recomendaciones, lista de referencias y anexos.

## **CAPÍTULO I**

### **PLANTEAMIENTO DEL ESTUDIO**

#### **1.1. Planteamiento y formulación del problema**

El tratamiento de los lodos residuales en la actualidad presenta un problema a nivel mundial, debido a que estos pueden traer consecuencias graves como contaminación ambiental y daños a la salud. En países de América latina incluyendo el Perú cuentan con reglamentos para el manejo de lodos residuales, producto de las plantas de tratamiento de agua residuales, cuyo fin es proteger la salud de la población y el medio ambiente (3).

En la planta de tratamiento de aguas residuales llamada Sausa, ubicada en la provincia de Jauja, cuya instalación presta servicios de tratamiento de aguas domésticas para los distritos de Jauja, Yauyos y Sausa, se viene aplicando un tratamiento de las aguas domésticas a través de las lagunas de oxidación y durante este proceso del tratamiento se han generado 48898,9 metros cúbicos de lodos residuales que hasta la actualidad no se disponen de lugares adecuados para su tratamiento. Por el contrario, una parte de estos lodos residuales son depositados en áreas aledañas de las lagunas de estabilización y el río Mantaro, ocasionando así contaminación al cuerpo de agua principal. El río Mantaro en los últimos años ha reducido notablemente su capacidad de dilución debido a muchos factores, relacionados principalmente con la carencia del recurso hídrico agua (4).

Frente al problema ya mencionado se han desarrollado diferentes alternativas de tratamiento a los lodos residuales, mediante biotecnologías que pueden producir biogás, biol, abonos orgánicos, entre otros. La técnica que se plantea en esta investigación es la vermiestabilización de lodos a través de la cría intensiva de la lombriz *Eisenia foetida* que excreta el humus y este puede ser aprovechando para su uso como mejorador de suelos debido



a su valor agronómico como nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K) y la materia orgánica, calcio (Ca), magnesio (Mg) y algunos otros micronutrientes esenciales para las plantas (5).

#### **1.1.1. Problema general**

¿Cómo influye la vermiestabilización de lodos residuales en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007)?

#### **1.1.2. Problemas específicos**

- ¿Qué caracteres físicos, químicos y biológicos presentan los lodos residuales del PTAR Sausa?
- ¿Qué caracteres fisicoquímicos presenta el vermicompost obtenido con la utilización de lodos estabilizados del PTAR Sausa?

### **1.2. Objetivos**

#### **1.2.1. Objetivo general**

Determinar la influencia de la vermiestabilización de lodos residuales en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### **1.2.2. Objetivos específicos**

- Determinar los parámetros físicos, químicos y biológicos de los lodos residuales de acuerdo con el D. S. 015-2017-Vivienda, antes de aplicar la técnica de vermiestabilización.
- Comparar los parámetros fisicoquímicos del humus, obtenido con la utilización de lodos residuales, después de aplicar la técnica de vermiestabilización.

### **1.3. Justificación e importancia**

#### **1.3.1. Ambiental**

Los lodos residuales generados en las PTAR actualmente presentan problemas ambientales en el Perú y a nivel mundial, debido a que solo una parte muy reducida de ella está recibiendo algún tratamiento, pero el resto es desechado sin ningún tratamiento ocasionando contaminación medioambiental debido que cuenta con una elevada concentración de materia orgánica, microorganismos patógenos y dependiendo del sistema de tratamiento de aguas residuales hasta puede contener metales pesados. A través de esta investigación se pretende dar una alternativa de

solución para el manejo de los lodos, aprovechando las propiedades benéficas de estos, a través de la biotecnología de la vermiestabilización que consiste en la reducción y eliminación de los contaminantes como organismos patógenos, metales pesados, entre otros, a través de las lombrices y otros sustratos para que finalmente se obtenga el humus y se use como mejorador de las propiedades fisicoquímicas y biológicas del suelo.

### **1.3.2. Tecnológico**

La vermiestabilización es una técnica ecotecnológica, ya que no genera casi ningún impacto negativo al medio ambiente. Este procedimiento por acción de las lombrices y otros sustratos orgánicos (restos de papa, vegetales, frutas, y otros similares), pueden recuperar las propiedades del suelo al usarlo como abono en áreas de forestación, reforestación, jardines, parques y dependiendo del producto final del humus se puede emplear en la agricultura.

### **1.3.3. Económico**

Al emplear la vermiestabilización como un tratamiento posterior de los lodos residuales es la técnica con menor costo, respecto a las otras, ya que sus costos de inversión son muy reducidos además que el costo energético es nulo y el mantenimiento es muy fácil; la persona o empresa que desee emplear esta ecotecnología con algunas capacitaciones puede estar apto para emplearla.

Los sustratos que se emplean para esta técnica se encuentran con un costo muy bajo o hasta un costo nulo, ya que se emplean residuos orgánicos para la alimentación de las lombrices *Eisenia foetida*, si esta se emplea a una escala grande incluso los costes de producción del humus pueden ser menores, al mismo tiempo los beneficios pueden ser mayores con la utilización en campos de la agricultura, zonas de recuperación y otros, generando costes de mantenimiento muy bajos en comparación a los productos sintéticos como abonos artificiales, que no solo desgastan los suelos sino que también no incrementan los nutrientes necesarios trayendo consigo una pérdida de MO, macronutrientes, micronutrientes y otros muy esenciales para los suelos, de esta forma generando grandes cantidades de pérdidas económicas.

### **1.3.4. Social**

La implementación de la vermiestabilización a partir de lodos residuales en municipios distritales, provinciales o regionales puede generar un gran impacto positivo a la población, debido a que si se instala esta técnica y posteriormente se le

entregará a la población el producto final humus, este al ser de alta calidad podría ser usado para la agricultura reduciendo así el consumo de abonos producidos industrialmente que pueden generar impactos negativos muy graves al medio ambiente.

Además, si existiera una sobreproducción de lombrices estas pueden servir de alimento para algunos animales (pollos, patos, gansos, pavos, cerdos y peces), ya que posee alrededor de 12,3 % de proteínas en su carne con un 82 % de humedad y además estas poseen todos los aminoácidos esenciales para estos animales (6).

#### **1.4. Hipótesis general**

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales no influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

## 1.5. Operacionalización de variables

**Tabla 1. Operacionalización de variables**

Tipo de variable	Dimensiones	Definición conceptual	Indicador	Unidad de media	Tipo de variable		
Variable independiente	Lodo residual	Producto extraído de las plantas de tratamiento de aguas residuales que generalmente tienen altas concentraciones de sólidos volátiles, metales pesados y microorganismos patógenos.	Estabilización de lodos	Materia orgánica (SV) $\leq$ 60 % de materia seca (ST)	Cuantitativa o cualitativa		
			Toxicidad química	Arsénico Cadmio Cromo Cobre Plomo Mercurio Níquel Zinc	mg/kg ST Materia seca	Cuantitativa	
			Higienización de lodos	El nivel de higienización se puede demostrar con el	<i>Escherichia Coli</i>	$\leq$ 1000 NMP por g en base seca	Cuantitativa
				El cumplimiento de los procesos previstos en el anexo I y del anexo II (DS-015-2017-Vivienda)	<i>Salmonella spp</i>	3 NMP en 4 g, en base seca	Cuantitativa
				Huevos de helminto	1 en 4 g, en base seca	Cuantitativa	
			Variable dependiente	Vermiestabilización	Es un proceso de digestión de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> y microorganismos presentes en los sustratos, cuyo producto es el llamado vermicompost o humus de lombriz que cumplen características mínimas para su utilización.	Nitrógeno total	%
Materia orgánica	%	Cuantitativa					
Relación C/N	Adimensional	Cuantitativa					
pH	Adimensional	Cuantitativa					
Humedad	%	Cuantitativa					
Conductividad eléctrica	dS m <sup>-1</sup>	Cuantitativa					
Capacidad de intercambio catiónico	Cmol kg <sup>-1</sup>	Cuantitativa					
Densidad aparente	g/cc	Cuantitativa					

## CAPÍTULO II

### MARCO TEÓRICO

#### 2.1. Antecedentes de la investigación

##### 2.1.1. Antecedentes internacionales

Los lodos residuales son un problema latente para los sistemas de tratamiento de aguas residuales, más aún en ciudades grandes donde no tienen espacios para disponer estos lodos, una de las alternativas es poder reaprovechar como abonos naturales y poder recuperar las características del suelo, como lo muestran en la tesis “Evaluación de la eficiencia de la lombriz roja californiana *E. Foetida* para estabilización de lodos residuales de la PTAR salitre”, en la ciudad de Bogotá Colombia, cuyo objetivo de la investigación fue conocer la eficiencia de la *Eisenia foetida* para el reaprovechamiento de lodos residuales, para ello se ejecutó procedimientos a escala piloto, donde se realizó 6 tratamientos con la adición de lodos residuales, estiércol bovino, 500 gr de lombriz, siguiendo proporciones desde 50:50 hasta 80:20 para lodos y estiércol, de ellos, los autores pudieron concluir que en general todos los procesos funcionan con la degradación por medio de la *Eisenia foetida*, si se siguen todos los procedimientos de manera correcta de pH, temperatura, humedad y aireación, además el proceso más adecuado fue de las proporciones 80:20 para estiércol de bovino y lodos residuales teniendo en cuenta los costos más bajos que conlleva su aplicación (7).

Cuando se lleva a cabo el proceso de vermiestabilización para el aprovechamiento de los lodos residuales es importante conocer las propiedades físico-químicas del humus, como lo determina la investigación titulada “Característica físico-química de humus obtenido de biosólidos provenientes de procesos de

tratamiento de aguas residuales”, (8); en donde establecieron como objetivo generar y medir el proceso biológico de estabilización del biosólido y aplicarlo como enmienda en la recuperación de suelos, para ello utilizaron la siguiente metodología: prepararon un reactor con la dimensiones de 1 m × 2 m y la altura de 0,30 m, como primera capa añadieron grava hasta alcanzar una altura de 0,15 m, después añadieron el biosólido hasta alcanzar una altura 0,05 m y, por último, añadieron las lombrices, de acuerdo a un estudio de población y alimentación de las lombrices. Obtuvieron como resultado para el humus final pH 8,80, contenido de humedad 69,30 %, densidad 1,20 g/cm<sup>3</sup>, relación C/N 18,40 %, contenido de cenizas 68,85 %, contenido de carbono oxidable 14,35 %, nitrógeno total 4,90 %, fósforo total 2,70 %, potasio total 1,40 %, cadmio 0,60 mg/kg, cromo 1,80 % y plomo 7,70 % y concluyeron que el humus puede utilizarse para aplicar como enmienda en el suelo y se debe de tener en cuenta la concentración de los metales pesados debido a la alta toxicidad y la bioacumulación (8).

En la investigación titulada “Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de la lombriz *Eisenia foetida*”, los autores obtuvieron como resultado que el tratamiento 2 presenta las mejores condiciones para un tiempo de 2 semanas. Para ello utilizaron la siguiente adición de los sustratos: cuando la pila alcanzó una altura de 0,5 m se añadió una capa de tierra 25 kg después se pasó a regar con 20 L de agua y, por último, cubrir con una capa de tierra. Cada dos veces por semana y se alternó y regó con 12 L o según se requería durante el volteo semanal. Ya que en este tiempo permitía que se encuentren en un ambiente agradable para su reproducción y crecimiento (9).

En el artículo denominado “Producción de composta y vermicomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro” los autores tomaron lodos de la PTAR del rastro municipal de la ciudad de Durango en México, realizados por dos procesos, compost y vermicompost, en el primero se siguió con volteos periódicos una vez por semana, las características importantes de este tratamiento es que la temperatura debe estar por encima de los 50 °C, con humedad de 55 a 60 %, después de 150 días se obtuvo el producto final con (pH 4,9; MO 64,2 %; N<sub>TK</sub> 2,06 %; P<sub>d</sub> 0,16 % y K<sub>d</sub> 0,13 %), mientras que con la introducción de lombrices (*Eisenia foetida*) se realizó el vermicompost en 210 días en 2 m<sup>2</sup> con 10 cm de alimento para las lombrices cuyo alimento ya era preparado con anterioridad, en relación a la cantidad de las lombrices que fueron añadidos fue de 0,5 kg por cada cama, además se hicieron algunos volteos periódicos, la temperatura se encontró por

debajo de los 28 °C y para la humedad se controló a través de la técnica del puño manteniendo entre 70 y 80 %, finalmente, se obtuvo los siguientes resultados (pH 5,7; MO 48 %; N<sub>TK</sub> 1,4 %; P<sub>d</sub> 0,12 % y K<sub>d</sub> 0,15 % ); los autores concluyeron que el proceso de pilas por volteo era el más efectivo en cuanto al tiempo y la calidad del producto, pero considerando la producción y venta de las lombrices, este sería el más beneficioso económicamente (10).

Generalmente, los lodos de las aguas residuales tienen altos valores de contaminantes como metales pesados, microorganismos y concentraciones tóxicas. Los autores del artículo denominado “Estabilización por vermicomposteo de lodos residuales aplicados en la productividad de albahaca (*Ocimum Basilicum L.*)”, generaron humus o vermicompost en dos etapas de precomposteo, donde se prepara y estabiliza el alimento para las lombrices, mediante una fermentación de 20 días donde se controló la temperatura, pH, conductividad y otros parámetros para que sea inoculado a las lombrices y en la segunda etapa se siguió con el vermicomposteo en proporciones de (10:90, 30:70 y 50:50) lodo residual y estiércol hasta poder obtener el producto final que cumple con los parámetros de la NOM-021-RECNAT-2000, con mayor eficiencia en la relación 30:70 (lodo residual y estiércol de equino con la adición de algunos follajes y pajas) este producto ha sido puesto a prueba con 4 tratamientos (T<sub>0</sub> control “solo suelo”, T<sub>1</sub> “suelo + vermicompost 20t/h”, T<sub>2</sub> “suelo + vermicompost 40 t/h”, T<sub>3</sub> “suelo + vermicompost 60 t/h”), los autores concluyeron que a mayor cantidad de vermicompost mayor son los resultados en el crecimiento de las plantas de albahaca y la actividad antioxidante en estos con el tratamiento de 60 t/h (11).

De acuerdo con el artículo denominado “Aprovechamiento de lodos residuales para la elaboración de biocompost” siguieron un tratamiento para darle un valor económico y poder reutilizar estos residuos, para este tratamiento con la *Eisenia foetida* se siguieron combinaciones de sustratos mezclados de lodos residuales con (estiércol bovino, estiércol ovino, desperdicios de frutas, pastos forrajeros y unión de todos estos). Los tratamientos que siguieron fueron volteos periódicos con la alimentación agregados de 5 a 10 cm de espesor en los bloques ya existentes del lugar, además durante el proceso se hicieron muchas muestras siguiendo el modelo de Kruskal-Wallis donde indica que las muestras deben ser totalmente aleatorias y más de 2, con la temperatura alrededor de 25 °C, pH alrededor de 7, humedad promedio de 65 %, MO (tercer mes = 13,31 %), N<sub>t</sub> (tercer mes = 1,96 %) P (tercer mes = 2,688 mg/g), en relación con la supervivencia de las lombrices tuvieron variaciones

de (lodo puro 9 %, lodo + pasto 30 %, lodo + estiércol de ovino 35 %, lodo + resto de frutas 38 % y lodo + estiércol bovino con más de 40 %), por lo que el autor indica que este último es más adecuado para la sobrevivencia y proliferación de lombrices. De esto, el autor pudo concluir que el tratamiento más adecuado y más eficiente es la relación lodo + estiércol de bovino, por presentar características más adecuadas y contener nitrógeno en mayor cantidad que son los más favorables junto con el potasio y fósforo (12).

El producto del vermicompost son los humus sólidos y líquidos, ambos de una buena calidad de compuestos estables y fáciles de ser absorbidos por las plantas, la autora Sandoval (13) en su tesis “Degradación de lodos residuales provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales por medio de la vermicomposta para obtener humus líquido” cuyo objetivo fue degradar los lodos residuales por medio de la vermicomposta para la obtención de humus líquido, siguiendo 4 ensayos (100:0, 80:20, 60:40 y 0:100) lodos residuales y estiércol de equino, al realizar un análisis de varianza en comparación con el humus líquido de HUM-ECOL, no existe diferencia significativa en cuanto a la concentración de nutrientes del humus líquido desarrollado con el producto comercial, de ello, la autora concluyó que la concentración adecuada y más eficiente fue en el 60:40 para ser reaprovechado en usos agrícolas, forestales y mejoradores de suelos según la normativa mexicana NOM-004-Semarnat-2002 (13).

Otro punto importante en el tratamiento de los lodos por medio de la lombriz, es la reducción de microorganismos microbiológicos (coliformes fecales, *Salmonella spp*, *Escherichia coli*), según los autores en el artículo denominado “Remoción mediante vermicomposteo de los coliformes fecales presentes en lodos biológicos” trabajaron con 4 densidades: Alta 0,2 kg lombriz/kg lodo, Media 0,1 kg lombriz/kg de lodo, Baja 0,05 kg de lombriz/kg de lodo y sin la adición de lombriz al lodo) al cabo de 20 días los experimentos con condiciones de densidades altas y medias lograron una reducción del 100 % de CF, por ello, los autores concluyeron que implica necesariamente una adición alta de lombrices de la familia *Eisenia* para la reducción de coliformes fecales; debido a que es un trabajo en conjunto con los microorganismos aerobios presentes en los lodos residuales (14).

### **2.1.2. Antecedentes nacionales**

En la tesis “Tratamiento de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con la aplicación de la lombricultura en la compañía minera Chungar-2019”, tuvieron como objetivo principal determinar que los lodos



generados de una planta de tratamientos de aguas residuales domésticos se pueden tratar con la lombricultura, siguiendo un método inductivo, cuya población es aproximadamente 5 toneladas anuales, realizando dos tratamientos agregando lodos residuales, estiércol de ovino y vacuno, después de 8 semanas de tratamiento se pudo concluir que estos dos tratamientos con composiciones de 50:50 y 40:60 de lodo, lombriz y estiércol; llegaron a disminuir compuestos orgánicos como nitrógeno amoniacal de 2348,2 mg/kg seco a 231,2 mg/kg en el tratamiento 1, 437.5 mg/kg en el tratamiento 2, nitritos de 2,6 mg/kg a 0,05 mg/kg y 0,06 mg/kg, fosfatos de 19,6 mg/kg a 3,23 mg/kg y 4,56 mg/kg y finalmente sulfatos de 190,7 mg/kg a 45,8 mg/kg y 66,5 mg/kg respectivamente, mejorando en los niveles de impurezas de dichos compuestos orgánicos (4).

Del mismo modo, en la investigación “Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices *Eisenia foetida* a partir de los lodos residuales de la planta de aguas residuales de Carapongo Lima-Perú” los autores siguieron el diseño cuasiexperimental con 4 tratamientos, las camas fueron implementadas adecuadamente con una muestra total de 250 kilogramos de lodos que siguieron de la siguiente forma (cama<sub>1</sub> 100 kg lodo + 0,5 kg de lombriz, cama<sub>2</sub> 50 kg lodo + 0,5 kg de lombriz + 50 kg de compost, cama<sub>3</sub> 50 kg lodo + 0,5 kg de lombriz + 50 kg de estiércol de conejo y cama<sub>4</sub> 50 kg lodo + 0,5 kg de lombriz + 25 kg de compost + 25 kg de estiércol de conejo), el proceso siguió alrededor de 16 semanas, controlando el pH 4 veces a la semana, la cama 3 resultó ser el más eficiente de acuerdo a los resultados: pH 6,9; C.E 6,66 dS/m; M.O 38,51 %; N 1,97 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4,14 %; K<sub>2</sub>O 0,65 %; CaO 6,36 %; MgO 1,32 %; Hd 62,58 %; Na 0,17 %, se realizó la comparación de acuerdo con los parámetros SAGARPA, determinando que cumplen con todos los parámetros designados a excepción de los óxidos de fósforo, lo cual indica que los humus obtenidos de los lodos de la PTAR San Antonio de Carapongo son los más adecuados y de mejor calidad (15).

En la tesis “Tratamiento de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales a través del vermicompostaje como tecnología ambiental” la investigadora tuvo como objetivo evaluar el vermicompostaje como tratamiento de los lodos residuales procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales, este fue llevado en un experimento a escala piloto donde la autora analizó y llevo a cabo los lodos de la PTAR CITRAR-UNI del distrito de Villa El Salvador en Lima, siguiendo tres tratamientos con una proporción de lodo y compost de 1:2 con las variaciones de compost agregado en la primera con 5 % (450 g), 1 % (90 g) y 0,5 %

(45 g) y para los tres tratamientos la misma cantidad de lombriz (500 g). Al seguir el proceso después de un mes se pudo concluir que el tratamiento más adecuado y favorable es el tratamiento 1 con respecto a pH, materia orgánica, relación C/N y coliformes fecales reducidos en rangos de 13 a 20 días (16).

Durante las últimas décadas se están siguiendo muchas investigaciones para poder reutilizar los lodos residuales de diversas formas como abonos orgánicos sólidos y líquidos, fuente de energía como gas metano (CH<sub>4</sub>) y en formas de ladrillos combustibles como se muestra en la tesis “Análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles”, quienes tuvieron como objetivo analizar y tratar los lodos de la PTAR de Cajabamba para generar humus y ladrillos combustibles; para ello se siguió la metodología como se muestra a continuación: Tratamiento 1: 60 % lodo + 30 % hojarasca de maíz + 10 % estiércol de cuy, tratamiento 2: 50 % lodo + 30 % hojarasca de maíz + 20 % estiércol de cuy y al final tratamiento 3: 60 % lodo + 30 % hojarasca de maíz + 10 % estiércol de cuy; al final, los autores concluyen que el tratamiento número 1 es el más eficiente con una relación de C/N de 6,23 considerado como un compost de buena calidad edáfica y un pH neutro (17).

En la tesis “Vermicompostaje con *Eisenia foetida* para el tratamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales” de la ciudad de Chiclayo, los autores tuvieron como objetivo describir la efectividad del tratamiento a través del vermicompostaje, para ello siguieron un diseño no experimental transversal descriptivo cuya finalidad fue recopilar las condiciones y las proporciones más adecuadas para que sea llevado a cabo. Durante este proceso obtuvieron que la cantidad óptima para el tratamiento fue de 50 % de lodo residuales + 50 % materia orgánica, este producto fue comparado con la normativa española 824/2005 para productos fertilizantes donde muestran (pH 6,98), (MO 46,87 %), (CE 3,5 mS/cm), (humedad 59,9 %), (nitrógeno 1,75 %), (P 1,35 %), (K 0,61 %) por lo cual, llegaron a concluir que el vermicompostaje con la lombriz es una alternativa buena, con la incorporación de sustratos con la *Eisenia foetida* y la incorporación al suelo sin ninguna dificultad (18).

En la tesis “Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales, Concepción, 2016” cuyo objetivo principal fue determinar la eficacia de los

microorganismos eficaces y así de esta manera producir humus a partir de los lodos de la PTAR de Concepción, con un método experimental aplicado, de nivel explicativo, donde consideró 5 tratamientos con 0 %, 2 %, 4 %, 6 %, y 8 % de EM-compost con 3 repeticiones en una área total de 12 m<sup>2</sup>, para luego pasar a la activación de los microorganismos eficaces con dosis distintas para cada tratamiento y una relación de 1:1 con la melaza de caña. Obteniendo los siguientes resultados para materia orgánica entre 37,09 % y 38,21 % dentro de los valores de FAO (>20 %), nitrógeno total entre 1,88 % y 2,10 % mayores dentro de 0,3 % a 1,5 % de la FAO, fósforo total entre 0,1 % y 0,152 % dentro de 0,1 % y 1,0 % FAO, potasio total en rango de 2 % que supera los 0,3 % y 1,0 % de la FAO, CN entre 10,554 y 11,457 dentro del rango 10 y 15 de la FAO. Finalmente, concluyó que el tratamiento 4 (8 % EM) y 3(6 % EM) superan estadísticamente a los demás tratamientos lo que indica que a mayor porcentaje de EM es mejor el tratamiento (18).

Del mismo modo, en la tesis “Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de *Pinus Radiata* D. DON. – San Pedro de Saño”, los autores tuvieron como objetivo evaluar el efecto de los tratamientos de vermiestabilización a partir de los lodos activados y evaluar su efecto en las plántulas de *P. radiata*, para ello siguieron un diseño experimental puro totalmente al azar, con 4 tratamientos el diseño experimental fue de la siguiente forma: T<sub>0</sub>: 100 % lodo residual + 300 g de lombriz, T<sub>1</sub>: 25 % de residuos orgánicos + 75 % lodos activados +300 g de lombriz, T<sub>2</sub>: 50 % de residuos orgánicos + 50 % lodos activados +300 g de lombriz, T<sub>3</sub>: 75 % de residuos orgánicos + 25 % lodos activados +300 g de lombriz, se siguió un proceso de alrededor de 120 días para los tratamientos 2 y 3, con el cual se obtuvo un humus de categoría B según la normativa INN-2439-1999, de acuerdo al tiempo y la calidad obtenida para los parámetros de ( pH, MO, C/N y otros), los autores concluyen que el tratamiento 3 (25 % lodo + 75 % residuos orgánicos) tienen los mejores resultados en relación a pH, concentración de materia orgánica, relación carbono nitrógeno catalogándose como un humus de categoría B según la norma INN-2439-1999 en un tiempo de 113 días (19).

## **2.2. Bases legales**

### **2.2.1. Normativa para reaprovechamiento de lodos residuales**

El decreto supremo (DS-015-2017-Vivienda) puesta en marcha desde el 22 de junio de 2017, tiene como objetivo establecer parámetros para el reaprovechamiento de los lodos residuales de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas,

estos lodos pueden ser clasificados en categoría A y B dependiendo el uso que se pretenda suministrar (20).

El decreto supremo de reaprovechamiento de lodos brinda metodologías y los parámetros mínimos de calidad para la estabilización, toxicidad química e higienización de los lodos.

### 2.2.1.1 Parámetro de estabilización:

Concentración de materia orgánica  
 Materia orgánica (SV) ≤ 60 % de materia seca (ST)

### 2.2.1.2 Parámetros de toxicidad química

**Tabla 2. Parámetros de toxicidad química para lodos**

Toxicidad química en Biosólidos de Clase A y B								
Mg/kg ST Materia seca	Arsénico	Cadmio	Cromo	Plomo	Mercurio	Níquel	Zinc	Cobre
<b>Clase A y B</b>	40	40	1200	400	17	400	2400	1500

*Nota:* Clase A: aplicables en suelos sin restricción, Clase B: aplicables en suelos con restricciones sanitarias (21)

### 2.2.1.3 Parámetro de higienización:

**Tabla 3. Parámetros de higienización**

Parámetros de higienización de biosólidos		
Indicador	Clase A	Clase B
Indicadores de contaminación fecal	<i>Escherichia Coli</i> < 1000 NMP/1g ST	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 II.
Indicador de huevos de helmintos	Huevos viables de Helmintos < 1/4g ST o prueba de utilización de tecnologías indicada para la higienización	

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (21).

## 2.2.2. Protocolo de monitoreo de biosólidos

La presente normativa peruana, resolución ministerial vigente (RM-093-2018-Vivienda), es un instrumento indispensable para realizar monitoreos, supervisión y fiscalización ambiental (22). Este protocolo de monitoreo permitió recolectar la muestra de lodos residuales para su posterior reaprovechamiento.

De acuerdo con la normativa en la página 10 menciona el procedimiento para la toma de muestra de lechos de secado. En ella se sigue el siguiente procedimiento: dividir la zona a muestrear en cuatro cuadros de manera proporcional y del centro de cada cuadrado se toma una muestra puntual de todo el perfil del lodo, después de ello se recolecta una muestra compuesta a partir de las 4 muestras puntuales (22).

### 2.2.3. Normativa mexicana para calidad del humus de lombriz

La normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007), es la normativa vigente para evaluar la calidad del humus, que no es aplicable para el humus líquido o los lixiviados que este proceso genera (23).

La normativa mexicana permite evaluar los parámetros del humus obtenido del proceso de tratamiento de los lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales de Sausa, presentando parámetros fisicoquímicos y microbiológicos.

Parámetros fisicoquímicos:

**Tabla 4. Características fisicoquímicas para humus**

Característica	Valor
Nitrógeno total	De 1 a 4 % (base seca)
Materia orgánica	De 20 % a 50 % (base seca)
Relación C/N	≤ 20
Humedad	De 20 a 40 % (sobre materia húmeda)
pH	de 5,5 a 8,5
Conductividad eléctrica	≤ 4 dS m <sup>-1</sup>
Capacidad de intercambio catiónico	> 40 cmol kg <sup>-1</sup>
Densidad aparente sobre materia seca (peso volumétrico)	0,40 a 0,90 g mL <sup>-1</sup>
Materiales adicionados	Ausente

Fuente: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (23)

### 2.2.4. Límites máximos microbiológicos

**Tabla 5. Límites máximos microbiológicos**

Microrganismo	Tolerancia
<i>Escherichia coli</i>	≤ 1000 NMP por g en base seca
<i>Salmonella spp.</i>	3 NMP en 4 g, en base seca
Huevos de helmintos viables **	1 en 4 g, en base seca
Hongos fitopatógenos**	Ausente

Fuente: Asociación Mexicana de Lombricultores (23)

## 2.3. Bases teóricas

### 2.3.1. Precompostaje

En el libro “De residuo a recurso, el camino hacia la sostenibilidad”, mencionan que a este proceso también se le puede llamar etapa de acondicionamiento, durante esta etapa del tratamiento tiene como objetivo preparar el alimento para las lombrices a fin de que estas puedan reproducirse y tener un crecimiento óptimo durante todo el proceso de la vermiestabilización. Cuando se opte por utilizar residuos orgánicos de origen urbano es obligatorio realizar el precompostaje o etapa de acondicionamiento debido a que pueden presentar agentes patógenos y estos pueden causar daños a la salud (24).

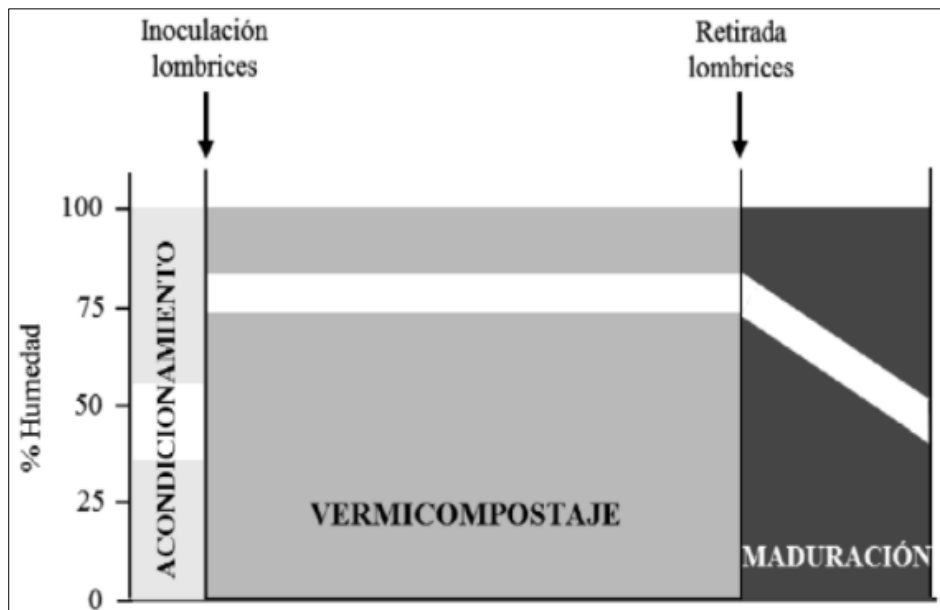


Figura 1. Etapa de acondicionamiento o precompostaje (25)

En el manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos elaborado por el Ing. Sztern y el Lic. Pravia, con respaldo de la Organización Panamericana de la Salud y la Organización Mundial de la Salud, mencionan que el precompostaje tiene como objetivo adaptar el sustrato de los residuos para optimizar el proceso, debido a que los sustratos pueden contener muy poca carga biológica, principalmente los de procedencia agroindustrial o residuos que contienen bajo porcentaje de humedad (26).

### 2.3.2. Compostaje

En el Manual de Compostaje del Agricultor enfocado en experiencias de América Latina de la Organización de las Naciones Unidas para la agricultura y la alimentación (FAO), los autores mencionan que el proceso del compostaje es la capacidad de poder convertir todos los sustratos orgánicos en un producto que sea apto

para ser utilizado en la recuperación del suelo o en la agricultura, para ello debe seguir y cumplir con ciertos parámetros (27).

El compost es una actividad biológica para poder degradar materia orgánica, por medio de organismos que realizan procesos de transformación y, por ende, se genera temperaturas de 50 °C o mayores, mediante el cual son eliminados los organismos fecales, coliformes totales, huevos de helminto y una disminución de metales pesados, cuyo producto final es de color marrón, inodoro y que se puede usar para la mejora de los suelos (28). Además, se entiende que el proceso de composteo es una técnica que sigue procesos biológicos de forma aeróbica generalmente con temperaturas por encima de los 50 °C durante varios días, que genera un producto más estable, de color marrón oscuro que no tiene un olor fétido más bien olor a tierra fresca (29).

En el libro «UF0289: Operaciones para la gestión de residuos sólido», la autora menciona que una forma de reaprovechar los residuos orgánicos es a través del compostaje y lo define como un proceso aeróbico (tiene que haber presencia de oxígeno), que debe de mantenerse considerando ciertos parámetros como la aireación, temperatura y humedad para transformarse en un producto de calidad e higienizado (30).

### **2.3.2.1 Fases del compostaje**

Las diferentes fases del compostaje tienden a dividirse de acuerdo con la temperatura, teniendo en cuenta la humedad, aireación y proceso de descomposición de los residuos orgánicos:

#### **Fase mesofílica**

Cuando se inicia con el proceso de compostaje esta inicia a una temperatura ambiente y conforme avance el tiempo incrementa la temperatura y durante los primeros días esta puede llegar hasta los 45 °C; sin embargo, también depende del clima y el método por el cual se ejecute el composteo. Este incremento de temperatura se debe principalmente a la actividad microbiana debido a que en esta fase los microorganismos utilizan fuentes de carbono y nitrógeno formando calor (31).

La descomposición de los azúcares genera ácidos orgánicos lo que podría ocasionar que durante los primeros 2 a 8 días exista una disminución del pH hasta 4 (31).

### **Fase termofílica o de higienización**

Cuando la composición de los sustratos empieza a alcanzar temperaturas superiores a los 45 °C, las bacterias termofílicas empiezan a suplir a los organismos mesofílicos haciendo que los sustratos más complejos de carbono se degraden. La acción que realizan estas bacterias termofílicas es convertir el nitrógeno en amoníaco haciendo que el pH del compost aumente. Cuando el compost se encuentra a temperaturas alrededor de los 60 °C empiezan a aparecer actino bacterias y esporas que hacen que los residuos complejos en carbono como las hemicelulosas tiendan a descomponerse, este proceso puede durar semanas o meses dependiendo de las condiciones climáticas, los sustratos y otros (31).

En esta fase del compostaje se higieniza el tratamiento debido a que se alcanza temperaturas superiores a los 55 °C, este calor generado tiene la capacidad de destruir los contaminantes de origen fecal como el *Escherichia Coli* y *Salmonella spp*, así como también eliminan quistes y huevos de helminto, esporas de hongos fitopatógenos y semillas de malezas que pueden encontrarse en el material de partida, dando lugar a un producto higienizado (31).

**Tabla 6. Temperatura para la eliminación de agentes patógenos**

<b>Microorganismo</b>	<b>Temperatura</b>	<b>Tiempo de exposición</b>
<i>Salmonella spp</i>	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
<i>Escherichia Coli</i>	55°C	1 hora
	65°C	15-20 minutos
<i>Brucella abortus</i>	55°C	1 hora
	62°C	3 minutos
<i>Parvovirus bovino</i>	55°C	1 hora
Huevos de <i>Ascaris lumbricoides</i>	55°C	3 días

Fuente: Jones (32)

### **Fase de enfriamiento**



Cuando el carbono y el nitrógeno ya no se encuentren durante el proceso del compostaje la temperatura empieza a descender y continúa la degradación de polímeros como la celulosa, durante esta etapa también aparecen algunos hongos que indican que se encuentran en la fase de enfriamiento y empiezan nuevamente a aparecer los organismos mesofílicos (31).

### Fase de maduración

A temperatura ambiente, esta fase podría durar hasta meses, en esta se producen reacciones secundarias de condensación y polimerización de compuestos carbonados para la formación de ácidos húmicos y fúlvicos.

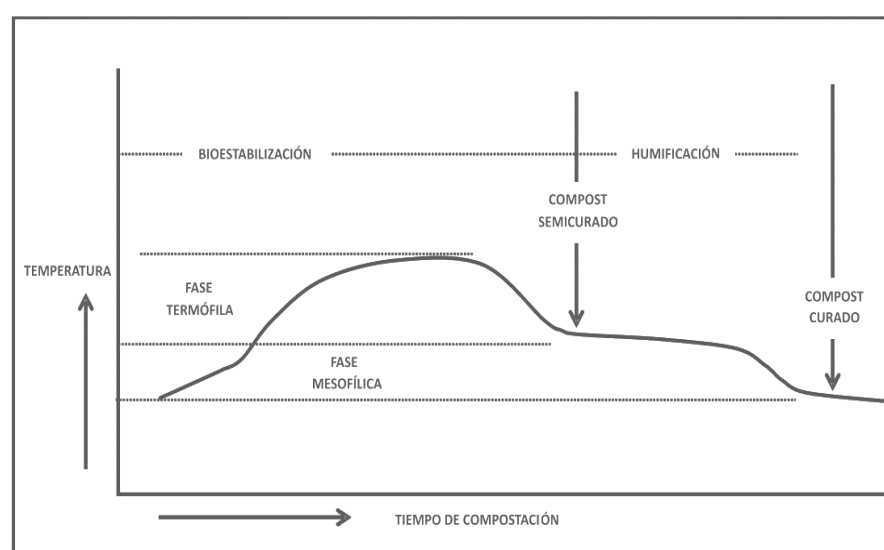


Figura 2. Fases del compostaje (31)

### 2.3.2.2 Parámetros de las fases del compostaje

Tabla 7. Parámetros del compostaje

Parámetro	Rango ideal al comienzo	Rango ideal en la fase termofílica II	Rango ideal de compost maduro
C/N	25/1 – 35/1	15/20	10/1 – 15/1
Humedad	50 % - 60 %	45 % - 55 %	30 % - 40 %
Oxígeno	-10 %	-10 %	-10 %
Tamaño de partícula	<25 cm	- 15cm	<1.6 cm
pH	6,5 – 8,0	6,0 – 8,5	6,5 – 8,5
Temperatura	45-60°C	45°C-T ambiente	Temperatura ambiente
Densidad	250-400 kg/m <sup>3</sup>	<700 kg/m <sup>3</sup>	<700 kg/m <sup>3</sup>
Materia orgánica (bs)	50 %-70 %	>20 %	>20 %

Nitrógeno total (bs)	2,5-3 %	1-2 %	-1 %
-------------------------	---------	-------	------

Fuente: Román (31)

### 2.3.3. Sistemas de compostaje

#### 2.3.3.1 Compostaje en pilas por volteo

El proceso de composteo mediante pilas por volteo es una técnica más común y la más usada actualmente, este proceso consiste en volteos periódicos, generalmente semanales, mediante el uso de la fuerza mecánica, este proceso dura alrededor de 4 a 6 meses que ya incluye el tiempo de reposo que cuentan como 2 semanas (29).

#### 2.3.3.2 Compostaje en pilas estáticas

Los procesos por pilas estáticas son procesos más automatizados, donde se tiene las pilas estáticas con conexiones de tuberías en todo el interior del sistema que mediante un controlador se inyecta el oxígeno necesario para los microorganismos, este proceso consta de alrededor 2 a 3 meses que ya incluyen el tiempo de reposo (29).

#### 2.3.3.3 Compostaje en reactor

Este proceso consiste en la utilización de recipientes cerrados los llamados “flujos de pistón” donde pueden ser volteados mecánicamente, este proceso no genera olores, ya que es un proceso controlado por la inyección de aire necesario, en donde se fermentan para la producción de composta en alrededor de 2 meses (29).

De acuerdo con el Manual para la elaboración de compost, los autores mencionan que este sistema de compostaje se realiza en estructuras metálicas con forma rectangular o cilíndrica, y desde ahí se pueden controlar los parámetros, este tipo de sistema permite que la mezcla sea homogénea. Además, permite apresurar las fases iniciales del compostaje y generalmente este sistema es utilizado para escalas industriales (26).

### 2.3.4. Vermiestabilización

Es una técnica ecológica que permite convertir ciertos sustratos en humus a través de la capacidad degradativa de las lombrices *Eisenia foetida*, ya que estas ingieren cada día entre el 50 % a 100 % respecto a su peso.

De acuerdo a la revista de Agrowaste, menciona que “es una técnica que consiste en un proceso de bio-oxidación y estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción combinada de lombrices de tierra y microorganismos, del que se obtiene un producto final estabilizado, homogéneo y de granulometría fina denominado humus de lombriz, muy apreciado en el mercado” (33).

#### **2.3.4.1 Proceso de vermiestabilización**

- **Adquisición de la lombriz y herramientas**

Es muy importante que la variedad y el estado actual de las lombrices estén en muy buenas condiciones, deben de presentarse de un solo lugar de procedencia para evitar muertes o que presenten enfermedades. Del mismo modo, se debe presentar con las herramientas necesarias para su explotación como palas, rastrillos, martillos, bolsas plásticas, zaranda, etc.

- **Preparación de las camas para las lombrices**

En el segundo paso y muy importante se pasa a la preparación de los lechos donde se instalarán a las lombrices, por lo cual, se elige materiales como tablas, plásticos, cemento, siempre con una pendiente para que se pueda escurrir los lixiviados (34). En relación con las dimensiones de estos es recomendable que cumplan de 1 a 1.5 metros de ancho con altura no superior de los 60 centímetros, para evitar el sobrecalentamiento y caída del producto elaborado (27).

- **Preparación de los sustratos**

Los sustratos son muy importantes, se recomienda que se le agregue estiércol de ganado vacuno, conejo, caprino, desechos industriales orgánicos que no estén en contaminados, se recomienda que los sustratos tengan un previo precompostaje o degradación parcial para poder facilitar el digestión y el tiempo de transformación y estabilización mediante las lombrices, además se deben elegir compuestos que mantengan la humedad, que sean porosos, de esta forma exista una humedad adecuada y el ingreso de oxígeno para las lombrices (34).

- **Traslado de las lombrices a las camas**

Es el proceso mediante el cual se introduce las lombrices en los lechos o camas, los autores de la guía de lombricultura recomiendan 10 kilos de lombrices por cada metro cuadrado (34).

- **Riego de las camas**

El riego de los canteros se recomienda seguir cada 3 días mediante aspersores, con manguera o de forma manual hasta poder llegar a los 75 % a 80 % de humedad, se puede calcular mediante la técnica del puño, con 6 a 8 gotas indica que la humedad está entre el rango adecuado.

- **Cosecha de las lombrices**

Existen diversos métodos de extracción

- No suministrar el alimento y dejar cordones de un sustrato nuevo en un lugar fijo y luego de 5 días se puede separar.
- Otro método es colocar una malla con un sustrato nuevo sobre el que luego de cada 3 días se puede separar.
- Otro método es el llamado lomo de toro, donde se prepara un sustrato nuevo en el centro de los lechos para que las lombrices puedan colonizar el nuevo sustrato.

- **Cosecha de humus**

Después del proceso de separación de las lombrices de los lechos con no mayor del 3 %, de ellos se realiza el recojo en carretillas y llevados a un lugar bajo la sombra para que se oree y tenga una humedad alrededor de los 50 % (34).

#### **2.3.4.2 *Eisenia foetida***

La *Eisenia foetida* es un anélido invertebrado, una de casi 8000 especies de lombrices, conocidas por ser las más industriales y más utilizadas son llamadas también por lombrices rojas o lombrices californianas, son voraces y resistentes a distintas condiciones climáticas, tiene características de convertir por medio de la digestión en materia orgánica en un producto llamado humus (6).

Según García (35) la *Eisenia foetida* es el anélido más usado para la descomposición de residuos orgánicos y menciona que la lombriz roja en estado adulto puede llegar a medir hasta 10 cm de longitud y puede alcanzar hasta un diámetro de 5 mm, su peso corporal es de 1 g, aproximadamente, y puede llegar a digerir la misma cantidad de su peso, a los 3 meses ya se encuentran en la capacidad de reproducirse, pero se les considera completamente maduras a los 7 meses de vida.

Según la revista de Agrowaste (33) menciona que existe gran cantidad de tipos de lombrices, sin embargo, la especie más utilizada es la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) para la vermiestabilización.

Las lombrices de tierra pueden ser fuente de proteína para peces, pollos y cerdos, ya que estas contienen aminoácidos esenciales entre un 60 a 70 %, grasas, carbohidratos y vitaminas B12 (33).

Las principales características biológicas:

- Buena prolificidad, llegan a producir hasta 1500 pequeñas lombrices al año.
- Conviven con altas densidades en un pequeño espacio, la densidad promedio de la lombriz está alrededor de 40 000 y 50 000 lombrices por metro cuadrado.
- Existe poca selectividad en el consumo de sus alimentos, ya sea de origen animal o vegetal.
- Es un animal que desarrolla en un ambiente de no más de 30 cm de sustrato.

Condiciones ambientales:

**Tabla 8. Condiciones ambientales para la lombriz *Eisenia foetida***

Parámetro	Rango ideal
Humedad	70 %-80 %, esta es la humedad máxima, ya que la lombriz respira por la piel, y una humedad más alta impedirá su respiración.
Temperatura	20-30 °C

pH	5 - 8,5, se debería verificar con una cinta indicadora el pH antes de alimentar la lombriz
Luz	La lombriz es fotosensible, por lo que siempre preferirá ambientes oscuros

Fuente: Román et al. (27)

### 2.3.4.3 Sistema de crianza

Existen muchas técnicas de crianza de lombrices entre ellas destacan las crianzas al aire libre en pilas de desechos orgánicos, pequeños cajones, hasta la producción industrial que se realiza en losas de campos descubiertos o cubiertos.

#### a. Cría doméstica

Se puede realizar en un cajón es un espacio más reducido, lo que permite la producción continua de compost, transformándolo, reduciendo en un 50 % de los residuos y convirtiéndolo en humus de alta calidad, se cría en cajas de madera o polietileno, pero primero se coloca las lombrices en un extremo de la caja y luego se proporciona los desechos orgánicos como alimento todos los días, el residuo orgánico debe cubrirse con una capa de tierra para evitar la presencia de moscas y otros insectos, el cajón no debe exponerse a la luz solar directa, el compost resultante se puede almacenar en cajones u otros tipos de contenedores y la humedad se puede mantener entre un 30 % y un 40 %, las lombrices de tierra extraídos se pueden utilizar para iniciar en nuevas cajas (36).

#### b. Cría intensiva

La reproducción intensiva de la vida útil de las lombrices aumentará, dependiendo de la posición del lecho y en las condiciones ideales, los lechos bajo tierra es un método que se suele utilizar en zonas de baja temperatura y no hay peligro de lluvia, estos lechos o cunas bajo tierra se realizan cavando un pozo de más de un metro de ancho por 50 cm de profundidad, primero se deberá colocar un colchón de paja o pasto, este servirá de refugio a la lombriz californiana en el caso de cambios ambientales en su entorno de reproducción, posteriormente, se colocará un cúmulo de estiércol, que se regará y, por último, se cubrirá con paja para evitar la evaporación (36).

### 2.3.4.4 Capacidad reproductiva

La lombriz de tierra *Eisenia foetida* es un animal hermafrodita incompleto, es decir que no se puede autofecundar, por lo tanto, necesita de

otra lombriz para hacerlo, hacen giros opuestos rozando sus órganos, donde llegan a fecundar y este proceso le lleva alrededor de 3 a 6 semanas con humedad favorable de 70 % a 80 %, puede procrear alrededor de 9 a 10 lombrices y, además, durante el año puede producir hasta 5 generaciones con promedio de 1500 lombrices (6).

La lombriz de tierra tiene una fertilización híbrida, el apareamiento ocurre cada 7 - 10 días. Las lombrices pondrán huevos, llamados Cocun o Cocoons. El huevo inicialmente es de color amarillo transparente y gradualmente se vuelve marrón a medida que se va desarrollando. El capullo contiene de 2 a 12 gusanos, que aparecen después de 21 días de su expulsión y su longitud de las recién nacidas es de 1 mm. El período reproductivo de las lombrices es de 3 a 4 meses, cuando llegan a la edad adulta y maduran sexualmente miden un aproximado de 3 cm. Finalmente, a los 7 meses, su peso es de un gramo y longitud final de 7 a 8 cm (31).

#### **2.3.4.5 Residuos vermicompostables**

“Las lombrices son capaces de devorar gran variedad de residuos orgánicos. Sin embargo, lo más importante será crear un hábitat adecuado en el que las lombrices puedan crecer y multiplicarse” (37).

Los residuos vermicompostables para que las lombrices puedan digerir con mayor facilidad deben tener ciertas características, como por ejemplo: el sustrato debe encontrarse bien aireado y húmedo, una de las formas para retener las moléculas de agua es a través de los restos llamados “material marrón” (fibra de coco, hojarasca, restos orgánicos secos, entre otros) (31).

La dosis de alimentación será racionada, ya que no es bueno añadir gran cantidad de sustrato al mismo tiempo, esto podría traer problemas para las lombrices como la falta de oxigenación y la generación de agentes vectores.

#### **2.3.4.6 Cosecha**

Para realizar la cosecha esta va a depender de la producción y el tamaño de la instalación del vermicompostaje, para una pequeña escala se puede utilizar la siguiente metodología:

Sistema de trapeo de lombrices: dejar de alimentar a las lombrices entre 8 a 10 días, después de estos días trascurridos se le añade los residuos orgánicos frescos en un extremo de la cama de vermicompostaje para que las lombrices vayan en busca de alimentos.

#### **2.3.4.7 Humus**

Según el libro “Cría de lombriz de tierra, una alternativa ecológica de la fundación Hogares Campesinos Juveniles”, el humus es un producto transformado de los desechos orgánicos, por medio de la digestión que además su sistema digestivo contiene bacterias que producen enzimas, mediante el cual es transformado y estabilizado con la mayor cantidad de minerales y compuestos que son muy esenciales para la mejora de las características del suelo (38).

Según la norma mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, el humus es considerado como el resultado de la descomposición de materia orgánica con un color marrón oscuro y el cultivo de lombrices de tierra que ayuda en su degradación de la materia orgánica y este resultado es utilizado principalmente como mejorador de suelo (39).

#### **2.3.4.8 Humus sólido**

El humus sólido orgánico es un producto por medio de la transformación de la materia orgánica y la protagonista principal es la *Eisenia foetida* junto con los microorganismos presentes en los lodos y la materia orgánica, el humus de lombriz es una enmienda de muy buenos resultados agregados en el suelo, puede generar humedad, atraer nuevos microorganismos necesarios en el suelo, y además de agregar minerales y compuestos de macronutrientes y micronutrientes que son esenciales para las plantas, tiene un color marrón oscuro, ausente de olores pestilentes y es más cercano al olor del suelo fresco (tablas 8 y 9) (40).

Valores de parámetros fisicoquímicos, características químicas y microbiológicas que difieren significativamente en algunos parámetros con respecto a la normativa mexicana.



**Tabla 9. Características fisicoquímicas del humus**

<b>Características fisicoquímicas</b>	<b>Valor aproximado</b>
Materia orgánica	40 % - 60 %
Relación C/N	Menor a 15
Humedad	25 % - 35 %
pH	6,5-7,5
Capacidad de intercambio catiónico	Mayor a 60 cmol/kg
Densidad aparente	0,40 – 0,80 g/ml
Materiales adicionados	Ausente
Ácidos húmicos	Mayor a 4 %
Ácidos fúlvicos	Mayor a 3 %
Ácidos húmicos totales	>7 %
Color	Café oscuro
Olor	A tierra húmeda
Conductividad eléctrica	5-12 dS/m

Fuente: Cocoon (40)

**Tabla 10. Características químicas**

<b>Características</b>	<b>Valor aproximado</b>
Nitrógeno	1-3 %
Fósforo (como P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,5 – 2,5 %
Potasio (como K <sub>2</sub> O)	1-4 %
Calcio	4-6 %
Magnesio	300-1000 ppm
Azufre	1-3 %
Sodio	<0,60 %
Hierro	3,000 ppm
Manganeso	400 ppm
Zinc	200 ppm
Cobre	40 ppm
Boro	30 ppm

Fuente: Cocoon (40)

**Tabla 11. Características microbiológicas**

<b>Microbiológicas</b>	<b>Tolerancia</b>
Mesofílicos aerobios	Mayor a 50 millones UFC/gr
Hongos	Mayor a 40 mil UFC/gr
<i>Escherichia Coli</i>	Menor a 10 NMP/gr
<i>Salmonella spp</i>	Ausente en 25 gr

Fuente: Cocoon (40)

#### **2.3.4.9 Humus líquido**

El humus es un producto lixiviado tanto como de la materia orgánica e inorgánica, tiene macronutrientes (N, P, K) y micronutrientes (B, Fe, Zn, Mg y otros) que son esenciales para las plantas desde el fortalecimiento del sistema radicular hasta los frutos, hojas y tallos. Además, es un abono de resultados efectivos en el humus sólido por contener sustancias bioactivas como ácidos fúlvicos, húmicos, hormonas vegetales de auxinas y citocinas que ayudan en el crecimiento, nutrición, floración y producción en las plantas (41).

**Tabla 12. Características fisicoquímicas y biológicas**

<b>Características</b>	<b>Valor mínimo</b>
Materia orgánica	1 %
Ácidos húmicos	100 mg/l
Ácidos fúlvicos	650 mg/l
pH	6,5-8
Solubilidad en agua	Al 100
Nitrógeno total	200 mg/l
Potasio (K <sub>2</sub> O)	5500 mg/l
Calcio (Ca)	480 mg/l
Magnesio (Mg)	90 mg/l
Boro (B)	40 mg/l
Fierro (Fe)	1,2 mg/l
Zinc (Zn)	1 mg/l
<i>Escherichia Coli</i>	<5 NMP/ml
<i>Salmonella spp</i>	<5 en 25 ml

Fuente: Cocoon (41)

### 2.3.5. Lodos residuales

El DS-0.15-2017 Vivienda, define a los lodos como residuos sólidos que son extraídos de los procesos de las plantas de tratamiento de aguas residuales y que estas presentan ciertas características como la alta concentración de materia orgánica (21).

Se conocen como lodos residuales aquellos productos que son remanentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales, específicamente, que se encuentran en los tanques de sedimentación primaria, en los tanques de sedimentación secundaria y demás procesos que pudiera seguir como los tratamientos avanzados o tratamiento terciario mediante lagunas de estabilización, humedales artificiales u otras tecnologías más avanzadas; estos lodos residuales generalmente tienen altos contenidos de materia orgánica, nitritos, óxidos de fósforo, metales pesados, y gran cantidad de microorganismos (20).

La caracterización de los lodos residuales es muy importante para poder saber las cantidades presentes en este, como metales pesados, carga orgánica, compuestos fosforados, nitritos y otros, en la tabla 12 se pueden ver los parámetros más usuales de ser analizados en los lodos residuales para saber las características iniciales con que está lidiando (17).

**Tabla 13. Valores de los parámetros más estudiados en los lodos**

Indicadores	Máximo	Mínimo
Nitrógeno total (mg/l)	1500	200
Fosforo total(mg/l)	300	40
Solidos suspendidos totales(mg/l)	100000	7000
Solidos suspendidos volátiles (mg/l)	60000	4000
pH	8.5	7

Fuente: Huamán (42)

#### 2.3.5.1 Tipos de lodos residuales

##### a. Lodo crudo

Son todos los lodos residuales frescos, que fueron obtenidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales que no tienen ningún tratamiento posterior, cabe resaltar que estos lodos generan olores y además de generar acidificación (17).

**b. Lodos primarios**

Son todos aquellos lodos residuales de la sedimentación primaria con cantidades de arena, lodos, restos orgánicos, papeles y otros; por estar en la primera etapa de sedimentación, estos tienen un porcentaje de agua de entre 93 % al 97 % (17), estos lodos son separados en el primer tratamiento del sistema de aguas residuales caracterizándose como lodos en estado de descomposición y presentan olores fuertes (43).

**c. Lodo activo**

Los lodos activos se caracterizan por ser la etapa donde están en una interacción completa de los microorganismos, se encuentran en forma de flóculos que contienen minerales absorbidos (17).

**d. Lodos secundarios**

Son lodos que fueron obtenidos de los tratamientos secundarios a diferencias de los primarios, estos no tienden a generar olores no tan fuertes, son de color marrón que también contiene materiales que no fueron sedimentados en la sedimentación primaria (17).

**e. Lodo digerido**

Son los lodos que provienen de la digestión aeróbica, son de color negro y tienen la característica de no ser tan pestilentes cuando realizan una adecuada digestión (17).

**2.3.5.2 Lagunas de oxidación o de estabilización**

Este sistema para el tratamiento de aguas residuales es comúnmente utilizado en zonas en donde la población demográfica es baja, están construidas por excavaciones poco profundas de forma rectangular, forradas y cercadas con geomembranas. A través de este tratamiento se pretende disminuir la concentración de materia orgánica y eliminar la concentración de agentes patógenos. Para la instalación se debe tener en cuenta ciertas consideraciones como ubicación geográfica, velocidad y dirección del viento, condiciones climáticas y las condiciones biológicas de la zona (44).

### **2.3.5.3 Sistemas de lagunas de oxidación**

#### **a. Lagunas aerobias**

Este tipo de sistema recibe aguas residuales que son tratadas y contienen niveles bajos de sólidos en suspensión; la de composición de la materia orgánica se produce por acción de las bacterias aerobias, que consumen el oxígeno a causa de la fotosíntesis de las algas. Se puede clasificar de acuerdo con el método de aireación natural o mecánico:

#### **Lagunas aerobias naturales**

La aireación es natural y el oxígeno se proporciona mediante el intercambio a través de la interfase agua-aire y principalmente a través de la actividad de fotosíntesis de las algas.

#### **Lagunas aireadas mecánicas**

En este sistema la cantidad suministrada de oxígeno no es suficiente para oxidar las sustancias orgánicas por lo que se requiere oxígeno mecánico suplementario.

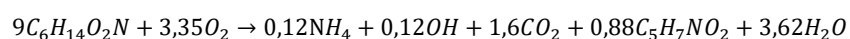
#### **b. Lagunas anaeróbicas**

En este sistema se trata con bacterias anaerobias debido a la alta carga orgánica y el corto tiempo de retención de agua residual, los niveles de oxígeno disuelto son casi nulo durante todo el año. En este tratamiento se retiene la mayor cantidad de sólidos en suspensión y pasan a incorporarse a la capa de fangos y eliminar la parte orgánica.

### **2.3.5.4 Procesos biológicos**

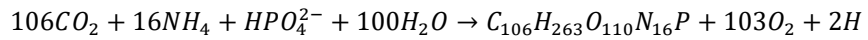
#### **a. Oxidación de materia orgánica**

Este proceso se origina a causa de la respiración de las bacterias haciendo que el DBO5 se degrade del agua residual hasta CO<sub>2</sub> y H<sub>2</sub>O (44).



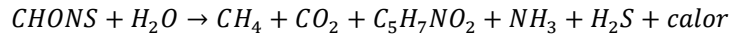
#### **b. Producción fotosintética de oxígeno**

En este proceso la fotosíntesis algal se produce a partir del CO<sub>2</sub>, nuevas algas y oxígeno que utiliza para la respiración bacteriana (44).



### c. Digestión anaeróbica de la materia

En este proceso ocurre la digestión de la materia orgánica sin presencia de oxígeno con producción de metano (44).



## 2.4. Definición de términos básicos

### Aireación

Es un proceso por el cual se afloja la tierra para la inducción de oxígeno a las capas de suelo para una correcta aireación y adición de otros nutrientes (34).

### Biosólido

Se entiende como lodos residuales a todo producto estabilizado, que cumple las características toxico químicas y microbiológicas que son aptos para ser reutilizados como acondicionador del suelo (20).

### Compost maduro

Es denominado compost maduro a todo aquello que cumplió la características de adecuación, estabilización y procesos de saneado, para que las plantas puedan tomarlos más rápido y fácil (6).

El compost maduro se encuentra en un periodo de madurez entre 5 y 6 meses compostado, se puede diferenciar fácilmente por su textura y color oscuro, ya en esta etapa se puede hacer uso como fertilizante.

### Contaminación

Se llama contaminación a la adición de sustancias sólidas, líquidas o gaseosas al ambiente que afecta el ecosistema y a las poblaciones de seres vivos (6).

### Enzima

Son catalizadores producidos por las propias lombrices para hacer que su metabolismo sea más fácil y con la energía necesaria, de esta forma se realiza el metabolismo (6).

### Humedad

Denominado como el porcentaje de agua absorbida por volumen de tierra por medio de fuerzas de absorción que el suelo tiene la capacidad de retener agua, hasta el punto de saturación (34).

### **Humus o vermicompost**

El humus de lombriz es definido como un producto estable, con ciertos minerales, dióxido de carbono que no presenta olores fétidos de color oscuro. Este producto puede utilizarse directamente como alimento para las plantas, además, al ser introducido en el suelo, mejora las condiciones fisicoquímicas y microbiológicas importantes para mejorar, como el color, texturas del suelo, capacidad de retención hídrica, cantidad de materia orgánica y otros que definen la buena productividad de los suelos (6).

### **Lagunas de oxidación**

Son aquellos depósitos con agua residual, algas y microorganismos que actúan en simbiosis para la purificación del agua y estabilización de lodos (45).

### **Lecho o cama de lombriz**

Son espacios donde se introduce la materia orgánica semidescompuesta con la adición de la lombriz para que generen un producto más elaborado llamado humus, es por la acción de competencia de alimentarse que se producen los humus (6).

### **Lodo residual**

Se considera lodo residual al producto sólido generado en las plantas de tratamiento primario y secundario cuyas características de materia orgánica son muy altos, además se entiende como lodo a todo aquello que se genera en las instalaciones sanitarias (20).

### **Lombriz californiana**

La lombriz californiana o también llamada lombriz roja (*Eisenia foetida*) tiene la capacidad de poder sintetizar y reciclar los residuos orgánicos obteniendo como resultado el humus como fuente óptima para abono en el suelo y alimentación de animales menores (6).

### **pH**

El potencial de hidrógeno (pH) son las concentraciones de iones de hidrógeno que están presentes en soluciones acuosas (34).

### **Precompost**

Es una técnica de degradar parcialmente la materia orgánica con el objetivo de facilitar la digestión para la lombriz *E. foetida* con un promedio de 2 a 4 semanas (46).

## **Temperatura**

La temperatura es una magnitud escalar que indica el grado de enfriamiento o calor de un cuerpo.



## **CAPÍTULO III METODOLOGÍA**

### **3.1. Método y alcance de la investigación**

#### **3.1.1. Método general**

El método general de la presente investigación es científico, porque este proceso sigue características formales, sistemáticas y sobre todo racionales, tiene como propósito poder explicar y describir nuevas características donde se pueda generar conocimiento para su aplicación en la vida y resolver problemas en su afán de poder facilitar la información certera y factible (47).

Para ello “el método científico sigue una serie de actividades con ciertas variaciones, en general, son las siguientes: problema, objetivos de la investigación, hipótesis de la investigación, factores o variables de la investigación, universo de la investigación; también están las técnicas, instrumentos y fuentes; las muestras, aplicación de instrumentos y recolección de datos, tratamiento de los datos, análisis de las informaciones, formulación de conclusiones parciales, contrastación de hipótesis global y formulación de la recomendación” (48).

#### **3.1.2. Tipo de investigación**

El tipo de investigación que se desarrolló es aplicada o fáctica, debido a que la investigación forma parte de una realidad concreta que se da en el tiempo y ocupa un espacio: el sistema de tratamiento de lodos residuales a través de la

vermiestabilización. Esto se llegó a desarrollar tomando como referencia diferentes metodologías establecidas en libros, investigaciones y manuales de vermiestabilización, para después aplicar la metodología planteada recolectando y organizando los datos de la información para ofrecer soluciones a un problema específico que es la contaminación ambiental a causa de los lodos residuales (47).

**Tabla 14. Características de una investigación aplicada**

Indicadores	Investigación aplicada
Finalidad de estudio	Solucionar o proponer soluciones a problemas prácticos.
Orientación epistemológica	Particularizar las soluciones o desarrollar la tecnología.
Ubicación en el tiempo	Se orienta a problemas actuales y por lo tanto propone soluciones actuales.
Ubicación en el espacio	Los problemas se describen en un contexto específico y las soluciones limitadas a tal contexto.
Metodología	Se construye generalmente en un proceso hipotético deductivo, bajo las características de los métodos: clínico y de casos.
Validez del estudio	La validez está referida a la viabilidad de las soluciones.

Fuente: Hernández (47)

### 3.1.3. Nivel de investigación

El nivel o también llamado alcance de la investigación es descriptivo-explicativo; debido a que en ella se utiliza la recolección de datos como fuente de información y se centra en la explicación de la causalidad entre variable independiente y dependiente de la investigación de acuerdo a los resultados obtenidos de la investigación (47). Según lo descrito anteriormente, la investigación toma como fuente de información tesis, manuales, libros y otros para determinar la metodología, después de ello presenta detalles de las medidas de la muestra obtenida de sus variables como pH, humedad, capacidad de intercambio catiónico, conductividad eléctrica, densidad aparente, relación C/N, materia orgánica y nitrógeno total para buscar explicar la influencia de la vermiestabilización de los lodos residuales en la estabilización del humus.

### 3.2. Diseño de la investigación

Es de diseño experimental, modelo completamente al azar, debido a la asignación aleatoria de los tratamientos donde se emplea cuando las unidades experimentales son homogéneas o existe una pequeña variación entre ellas.

Para la experimentación se ensayaron 3 tratamientos y 1 testigo o control con 3 repeticiones para determinar la influencia de la vermiestabilización de los lodos residuales de la PTAR Sausa en la estabilización del humus experimental puro, debido a que se manipuló y controló variables con preprueba de lodo residual en donde se evaluó si el lodo residual era reaprovechable o no de acuerdo con la normativa peruana de reaprovechamiento de lodos generados en la PTAR y posprueba de humus para contrastar los resultados de los tratamientos con la normativa mexicana y grupo de control (48).

Modelo aditivo lineal:

$$\gamma_{ik} = \mu + \tau_i + \varepsilon_{ij}$$

**Donde**

$\gamma_{ik}$  = cualquier observación del experimento

$\mu$  = media poblacional

$\tau_i$  = efecto del i-esimo tratamiento

$\varepsilon_{ij}$  = error experimental

Tratamiento del experimento:

- TC: (lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1250 kg)
- T1: (lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,250 kg [20 %] + restos orgánicos 1000 kg [80 %])
- T2: (lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %])
- T3: (lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %])

Para la experimentación se ensayaron 4 tratamientos con 3 repeticiones para determinar la influencia de la vermiestabilización de los lodos residuales de la PTAR Sausa en la estabilización del humus.

**Tabla 15. Diseño de tratamientos**

	<b>Rep. 1</b>	<b>Rep. 2</b>	<b>Rep. 3</b>
<b>TC</b> <b>Lodo: 0 kg</b> <b>Restos orgánicos: 1,250 kg</b> <b>Lombriz + tierra: 0,500 kg</b>	Lodo: 0 kg Restos orgánicos: 1,250 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg	Lodo: 0 kg Restos orgánicos: 1,250 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg	Lodo: 0 kg Restos orgánicos: 1,250 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg
<b>T<sub>1</sub></b> <b>Lodo: 0,250 kg</b> <b>Restos orgánicos: 1,000 kg</b> <b>Lombriz + tierra: 0,500 kg</b>	Lodo: 0,250 kg Restos orgánicos: 1,000 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg	Lodo: 0,250 kg Restos orgánicos: 1,000 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg	Lodo: 0,250 kg Restos orgánicos: 1,000 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg
<b>T<sub>2</sub></b> <b>Lodo: 0,500 kg</b> <b>Restos orgánicos: 0,750 kg</b> <b>Lombriz + tierra: 0,500 kg</b>	Lodo: 0,500 kg Restos orgánicos: 0,750 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg	Lodo: 0,500 kg Restos orgánicos: 0,750 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg	Lodo: 0,500 kg Restos orgánicos: 0,750 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg
<b>T<sub>3</sub></b> <b>Lodo: 0,750 kg</b> <b>Restos orgánicos: 0,500 kg</b> <b>Lombriz + tierra: 0,500 kg</b>	Lodo: 0,750 kg Restos orgánicos: 0,500 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg	Lodo: 0,750 kg Restos orgánicos: 0,500 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg	Lodo: 0,750 kg Restos orgánicos: 0,500 kg Lombriz + tierra: 0,500 kg

*Nota:* TC: tratamiento control; T<sub>1</sub>: tratamiento 1; T<sub>2</sub>: tratamiento 2; T<sub>3</sub>: tratamiento 3; Rep1, Rep2 y Rep3: repetición 1, 2 y 3

**Tabla 16. Diseño de investigación**

<b>Tratamientos</b>			
<b>GE<sub>1</sub>R</b>	B <sub>1</sub>	-	O <sub>1</sub>
<b>GE<sub>2</sub>R</b>	B <sub>1</sub>	X <sub>1</sub>	O <sub>2</sub>
<b>GE<sub>3</sub>R</b>	B <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	O <sub>3</sub>
<b>GE<sub>4</sub>R</b>	B <sub>1</sub>	X <sub>3</sub>	O <sub>4</sub>

*Nota:* GE1R: grupo experimental 1; GE2R: grupo experimental 2; GE3R: grupo experimental 3; GE4R: grupo experimental 4; B1: preprueba de biosólido X1: tratamiento experimental 1; X2: tratamiento experimental 2; X3: tratamiento experimental 3; O1: observación posprueba 1; O2: observación posprueba 2; O3: observación posprueba 4; O4: observación posprueba 4; -: tratamiento control

### 3.2.1. Enfoque cuantitativo

La presente investigación sigue un enfoque cuantitativo, ya que esta es secuencial, es decir, sigue ciertos procedimientos para llegar a un resultado final y además es probatorio, las variables son medibles en un determinado ambiente, los resultados obtenidos de las mediciones se analizaron a través de métodos estadísticos y, por último, se obtuvieron conclusiones a partir de las hipótesis (47).

### 3.3. Población y muestra

### 3.3.1. Población

Para la población de los lodos residuales se calculó la generación de estas durante 10 años desde su instalación haciendo un total de 4898.9 m<sup>3</sup> (49).

- Lagunas de oxidación primarias
- Laguna 1

$$\text{Volumen} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura}$$

$$V = 315m \times 104m \times 0.06m$$

$$V = 1965.6m^3$$

- Laguna 2

$$\text{Volumen} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura}$$

$$V = 315 m \times 102.2 m \times 0.06 m$$

$$V = 1931.58 m^3$$

- Lagunas de oxidación secundarias
- Laguna 3

$$\text{Volumen} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura}$$

$$V = 187 m \times 67 \times 0.04 m$$

$$V = 501.16 m^3$$

- Laguna 4

$$\text{Volumen} = \text{largo} \times \text{ancho} \times \text{altura}$$

$$V = 187 m \times 67 m \times 0.04 m$$

$$V = 501.16 m^3$$

### 3.3.2. Muestra

La recolección de muestras se realizó de acuerdo con Resolución Ministerial N.º 093-2018-Vivienda, protocolo de monitoreo de biosólidos para lechos de secado: primero se dividió la zona en 4 cuadrantes teniendo en cuenta el método del cuarteo, después de ello se procedió a sacar una muestra puntual del centro de cada cuadrante haciendo un total de 4 submuestras de todo el perfil del lodos residuales acumulados,

por último, se preparó una muestra compuesta homogeneizada, este tipo de muestras poseen el mismo perfil o característica.

### **3.3.2.1 Tamaño de muestra**

La recolección del tamaño de muestra de los lodos residuales se tomó de acuerdo con la proporción que se utilizó junto con el sustrato, en este caso se tomó un aproximando de 12 kilos de lodos residuales seco perfectamente homogeneizados.

## **3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Las técnicas e instrumentos que se utilizaron para la investigación son:

### **3.4.1. Técnica de observación**

Este método de recolección de información de datos consistió en un registro sistemático, válido y confiable de las situaciones observables para la investigación como el color del compost y el humus, también la presencia de las lombrices o de algún agente que se encontró presente en el tratamiento de vermiestabilización.

### **3.4.2. Instrumentos mecánicos**

Este método de recolección de información consistió en obtener información a través de mediciones, ya sea *in situ* (análisis de pH, temperatura, aireación y humedad) o *ex situ* (laboratorios INIA, Universidad Nacional Agraria de la Molina y Servicios Analíticos Generales S. A. C.). Para ello se utilizaron los siguientes instrumentos:

1. La metodología EPA 3050-B (1996) Digestión acida de sedimentos, lodos, y suelos// SW-846 Método EPA 6010D, Rev. 5, 2018. Inductivamente plasma acoplado - espectrometría de emisión óptica (ICP-OES), de esta forma se determinaron las características iniciales de los biosólidos. Con este instrumento se evaluaron los parámetros iniciales de toxicidad química de los lodos deshidratados en arsénico (As), cadmio (Cd), cromo (Cr), cobre (Cu), plomo (Pb), mercurio (Hg), níquel (Ni) y zinc (Zn).
2. Informe de ensayo de los valores analíticos del compost realizado por el laboratorio Servicios Analíticos Generales S. A. C., en donde se evaluaron los parámetros microbiológicos, específicamente la cantidad de *Escherichia coli* y *Huevos de helminto*, todos estos mediante los siguientes métodos:

- *Escherichia coli*: Se empleó el análisis de *Escherichia coli*, bajo el método EPA Método 1680 Coliformes fecales en lodos residuales (biosólido) por la fermentación de tubo múltiple usando Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium, 2014 // SM Part 9221 G. (Ítem 2). La técnica de fermentación fue múltiple para el grupo de los coliformes.
- *Huevos de helminto*: Métodos estándar para la recuperación y enumeración de Moodley et al.: óvulos de helmintos en aguas residuales, lodos, compost y desechos de desvío de orina en Sudáfrica.

### **3.4.3. Revisión bibliográfica**

Este método se basa en la recolección de la información, metodologías de otras revistas científicas, libros, manuales, tesis de investigación, normativas nacionales e internacionales. Con este instrumento se determinó la metodología de la investigación, así como también permitió seguir con los procedimientos de recolección de muestra, comparar los parámetros de toxicidad química, fisicoquímicos y microbiológicos del humus de acuerdo con la normativa peruana y mexicana.

### **3.4.4. Materiales y equipos**

#### **3.4.4.1 Materiales en fase de campo**

- Camas (envases de caucho)
- Plástico agrofilm de color negro/azul
- Materia orgánica
- Clavos
- Machete
- Jarra
- Guantes de propileno
- Balanza
- Biosólido obtenido de la Planta de tratamiento de aguas residuales Sausa.
- Lombriz *Eisenia foetida*
- Residuos orgánicos

#### **3.4.4.2 Materiales y equipos de laboratorio**

- Balanza analítica
- Multiparámetro

### **3.4.5. Procedimiento**

#### **3.4.5.1 Etapa de evaluación de lodos residuales**

##### **a. Estabilización de biosólidos**

De acuerdo con el párrafo 12.1 del artículo 12 del Reglamento de reaprovechamiento de lodos residuales DS-015-2017-Vivienda, menciona que los lodos generados en las PTAR se consideran estabilizados y aptos para su reaprovechamiento como lodos residuales, cuando la relación de sólidos volátiles (SV) a sólidos totales (ST) sea menor o igual que 60 %, para ello, las tecnologías que permiten cumplir con el parámetro indicado son el proceso de tratamiento de aguas residuales que permitan la permanencia de lodo por varios años, entre ellas se encuentran las lagunas de estabilización, lagunas anaerobias, facultativas y aireadas utilizando el proceso de la fitodepuración. Además, menciona que los biosólidos que se extraen de estos procesos de tratamiento de aguas residuales en condiciones de operación de acuerdo con el diseño se considera como estabilizados sin la necesidad de comprobar la relación de SV a ST (20).

Entonces, por lo antes mencionado, se determinó que los lodos residuales cumplen con lo requerido para el proceso de estabilización, debido a que fue extraído de una laguna de oxidación (anexo B.1).

- Distrito: Sausa
- Provincia: Jauja
- Región: Junín
- Latitud: - 11° 47' 48,3504"
- Longitud: -75° 28' 42,006"
- Altitud: 3352 m s. n. m.

##### **b. Toxicidad química**

En esta etapa, los lodos residuales fueron enviados a Servicios Analíticos Generales S. A. C., en donde se analizó los parámetros de toxicidad química, para cumplir con los parámetros de acuerdo con la normativa peruana DS-015-2017-Vivienda, antes de poder ser reaprovechados. De acuerdo con lo antes mencionado, se determinó que los lodos residuales cumplían con todos los requerimientos para ser reaprovechados como clase A y B.



### c. Higienización de biosólidos

Para el nivel de higienización se puede demostrar alternativas mediante la acreditación ante la Dirección General de Asuntos Ambientales del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento de las condiciones de operación de alguno de los procesos indicados a continuación (20).

- Secado térmico o solar
- Compostaje térmico
- Digestión anaerobia termofílica
- Estabilización con cal

En la normativa menciona que uno de los parámetros de higienización es el secado solar, y estas se pueden realizar de forma natural al aire libre y bajo a altas temperaturas de la luz del sol (20). Entonces, para cumplir con estas características se realizó un secado al aire libre y bajo los rayos solares durante 10 días con una constante revisión y 2 volteos diarios.

#### 3.4.5.2 Etapa de preparación de restos orgánicos

Los restos orgánicos como frutas, hortalizas, tubérculos y otros en descomposición fueron obtenidos del Mercado Central de Pilcomayo con una masa total de 10,5 kilogramos, productos que se muestran en la tabla 17.

**Tabla 17. Proporciones de residuos orgánicos para la etapa de vermiestabilización**

Sustrato	%
Hojas de hortalizas	32
Tomate	10
cebolla	2,5
plátano	3
papa	15
zanahoria	5
Otros	32,5

*Nota:* % de un total de 10,5 kg de residuos orgánicos

Los productos orgánicos recolectados fueron previamente cortados en máximo 2 cm de largo, para ser puestos en las camas de vermiestabilización junto con las lombrices.

### **3.4.5.3 Etapa de vermiestabilización**

#### **a. Prueba con 50 lombrices o P50L**

La prueba P50L es una técnica para poder corroborar la sobrevivencia de las lombrices dentro de su alimento preparado, por lo que se destina un recipiente drenado de  $50\text{ cm} \times 50\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ , y colocar el alimento con la humedad adecuada de 6 cm de espesor como máximo, posteriormente sigue la adición de 50 lombrices, se procede a esperar alrededor de 24 horas posteriores para poder observar y analizar y hacer el conteo y, si existe alguna lombriz muerta, donde indica que el sustrato no es adecuado, se volverá a preparar; por el contrario, si se espera que todas las lombrices estén en buen estado y vivas, el proceso fue adecuado por lo que se procederá a su instalación definitiva (35).

Si la introducción y preparación de las camas y las lombrices se instala en un campo abierto, se recomienda seguir el proceso en horas de la mañana para que los mismo rayos de sol incidan en ellas para ingresar en el alimento, además, después de 25 días se recomienda agregar el alimento nuevo, es preferible que se haya seguido la prueba P50L con una adición de 5 a 10 cm de espesor, esto varía de acuerdo a las condiciones climáticas del lugar donde se instale (35).

#### **b. Construcción de las camas**

Para la ubicación de las camas se evaluó el espacio, la pendiente del terreno y el acceso, después se procedió a la construcción de las camas de experimentación. Se siguió la siguiente secuencia que se detalla a continuación:

- El material que se usó para las camas fueron macetas de plástico con las dimensiones: radio menor (15 cm), radio mayor (22,5 cm) y altura (20 cm), con una capacidad de hasta 3.5 kg de suelo.
- Se procedió a acondicionar las macetas, realizando los agujeros en la base y de esta forma escurrir el biol o el exceso de agua dentro del mismo.

### c. Proporción de sustratos

Concentración de los sustratos con 3 repeticiones:

**Tabla 18. Testigo o control**

Sustrato	Cantidad
Lombriz <i>Eisenia foetida</i> + tierra	0,500 kg
Restos orgánicos	1,250 kg

**Tabla 19. Tratamiento 1**

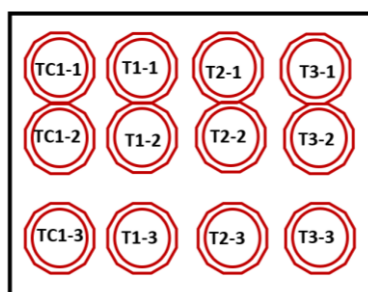
Sustrato	Cantidad
Lombriz <i>Eisenia foetida</i> + tierra	0,500 kg
Restos orgánicos	1 kg
Lodos estabilizados	0,250 kg

**Tabla 20. Tratamiento 2**

Sustrato	Cantidad
Lombriz <i>Eisenia foetida</i> + tierra	0,500 kg
Restos orgánicos	0,750 kg
Lodos estabilizados	0.500 kg

**Tabla 21. Tratamiento 3**

Sustrato	Cantidad
Lombriz <i>Eisenia foetida</i> + tierra	0,500 kg
Restos orgánicos	0,500 kg
Lodos estabilizados	0,750 kg



**Figura 3. Disposición del diseño**

### d. Control y monitoreo

Se monitoreo y controló de los siguientes parámetros a fin de que todo el proceso se desarrolle en óptimas condiciones:

- **Temperatura**

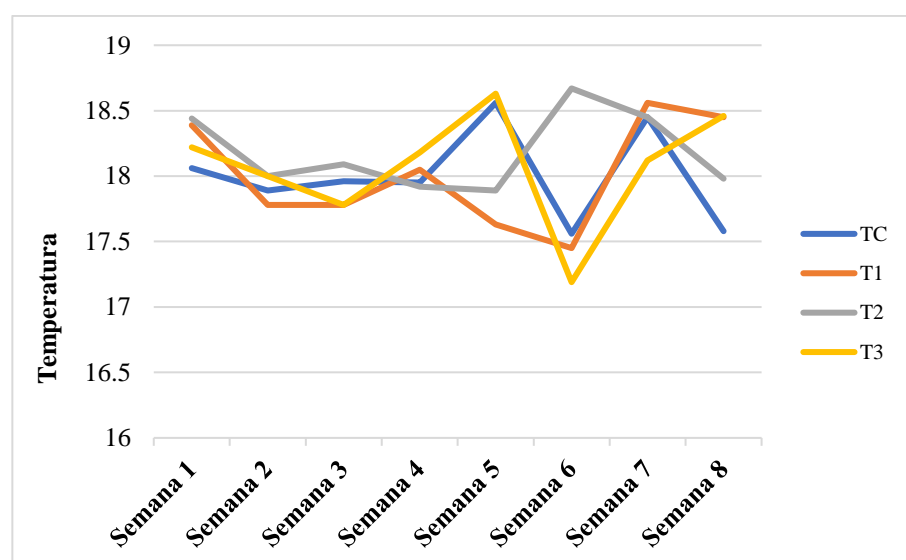
El parámetro fisicoquímico de temperatura fue analizado con un termómetro, material que se encontraba en perfectas condiciones durante el proceso de vermiestabilización con intervalos de 3 veces por semana a lo largo de 61 días como se observa en la tabla 22, además en la figura 3 se observa la

variación de temperatura durante 8 semanas que tomó el proceso de la vermiestabilización.

**Tabla 22. Resultados de la temperatura durante el proceso de vermiestabilización**  
**Temperatura durante el proceso de vermiestabilización**

Grados Celsius: °C						
Tratamientos	TC	T1	T2	T3		
<b>Semana</b>	<b>1</b>	18.06	18.39	18.44	18.22	
	<b>2</b>	17.89	17.78	18.00	18.00	
	<b>3</b>	17.96	17.78	18.09	17.78	
	<b>4</b>	17.95	18.05	17.92	18.18	
	<b>5</b>	18.56	17.63	17.89	18.63	
	<b>6</b>	17.56	17.45	18.67	17.19	
	<b>7</b>	18.45	18.56	18.45	18.12	
	<b>8</b>	17.58	18.45	17.98	18.46	

*Nota:* TC: tratamiento control; T1, T2 y T3: tratamiento 1, 2 y 3



*Figura 4. Variación de temperatura durante 8 semanas.*

- **Humedad**

La humedad se controló con la técnica del puño con intervalos de 3 veces por semana, agregando agua durante todo el proceso de vermiestabilización de 61 días, para poder mantener entre 75 % a 80 % de humedad, las referencias bibliográficas indican que si del puño apretado sale entre 6 a 8 gotas, este indica buenas condiciones.

- **Aireación**

Para la aireación solo se siguió las referencias, donde indican que las lombrices cumplen una función importante de construir galerías, por el cual el oxígeno ingresa por todas las cavidades y da las condiciones necesarias,

además durante el proceso se realizó algunos volteos con la intención de ver la proliferación y actividad de las lombrices, en consecuencia, de esta forma también se ayuda a oxigenar el sustrato.

#### **3.4.6. Etapa de laboratorio**

Según el Decreto Supremo 015-2017-Vivienda, los laboratorios deben estar acreditados para analizar, evaluar y monitorear las muestras para obtener los resultados confiables y verificar el cumplimiento de los parámetros establecidos de esta investigación.

En esta etapa, las muestras fueron rotuladas adecuadamente para luego ser enviadas a los laboratorios.

- **Análisis inicial de los lodos residuales**

Concentración inicial de los lodos residuales con el propósito de evaluar si estas cumplían con la normativa peruana DS 015-2017- Vivienda, estas fueron llevadas a Servicios Analíticos Generales, para analizar la concentración de la toxicidad química (As, Cd, Cr, Cu, Pb, Hg, Ni, Zn) y microbiológicos (*Huevos de helminto* y *Escherichia coli*).

- **Análisis de muestra de la vermiestabilización**

Se enviaron muestras al Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes (LASPAF), de la Universidad Agraria La Molina, se analizaron los parámetros fisicoquímicos como Nitrógeno total (Nt), % de materia orgánica (% MO), relación C/N, pH, % de humedad (% Hd), conductividad eléctrica (CE), capacidad de intercambio catiónico (CIC) y densidad aparente (DA).

Para el respectivo análisis de la vermiestabilización, se enviaron muestras de 1000 g de humus de cada tratamiento experimental al laboratorio descrito.

#### **3.4.7. Etapa de gabinete**

Para seguir con la etapa de gabinete se usó los programas de Microsoft Office:

- **Word**

Este programa se utilizó para la mayoría de la redacción en gabinete, que simplifica bastante el trabajo de investigación, además de seguir las diversas funcionalidades que esta presenta.

- **Excel**

El programa de Excel se utilizó en la cuantificación y redacción de datos numéricos y el análisis de los diversos análisis en laboratorio, y además de la construcción de tablas y otros procesos semejantes.

- **ArcMap**

ArcMap es una serie de conjunto de softwares que recopilan, organizan, comparten y distribuyen información geográfica, de modo que este se usó para la construcción de mapas de ubicación, ubicación de lechos de precomposteo y otros.

- **IBM SPSS Statistics versión 25**

Al concluir todos los procesos de la experimentación, los datos fueron obtenidos a través de los análisis en laboratorio, estos siguieron un procesamiento en el software IBM SPSS Statistics 25, donde fueron ingresados todos los valores numéricos continuos de los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos. Para saber su distribución normal se siguió la prueba de Shapiro-Wilk para datos menores o iguales de 50 muestras y una significancia del 5 %, luego se siguieron los análisis estadísticos no paramétricos con la prueba de Kruskal-Wallis y Anova para muestras independientes con distribución normal.

### **Procedimiento estadístico de la investigación**

El procedimiento para la investigación presente se ha seguido de la siguiente manera: primero se realizó la prueba de normalidad para los datos estadísticos de cada tratamiento, por el cual tres parámetros cumplen con una distribución normal (relación C/N, humedad y pH) y el resto como Nt, MO, CE, CIC y DA, siguen una distribución no paramétrica, realizándose Anova de un factor para datos normales y Kruskal-Wallis para pruebas no paramétricas, luego, se analizó con dichas pruebas la influencia de la vermiestabilización en la producción de vermicompost, adicionalmente a esto se realizó una comparación de medias para poder diferenciar cuál de los tratamientos era diferente a los demás.

## CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Presentación de resultados

#### 4.1.1. Parámetros físicos, químicos y biológicos

##### 4.1.1.1 Estabilización de lodos residuales

$$\text{Materia orgánica (SV)} \leq 60 \% \text{ de materia seca (ST)}$$

Para el proceso de reducción en la fracción orgánica de lodos residuales, la normativa indica que la *Materia orgánica (SV) ≤ 60 % de materia seca (ST)*, para poder controlar la generación de malos olores o la atracción de algún agente patógeno.

Para llevar a cabo este proceso de estabilización el lodo estuvo en la laguna de oxidación por aproximadamente 10 años, cumpliendo con los parámetros establecidos en la normativa de reaprovechamiento de lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales (D. S. 015-2017-Vivienda).

##### 4.1.1.2 Toxicidad química de los lodos residuales

Para reaprovechar los lodos residuales de PTAR Sausa, se cumplió con la normativa peruana D. S. 015-2017-Vivienda, donde indica los parámetros mínimos que debe cumplir de toxicidad química, esta fue realizada bajo los ensayos acreditados por International Accreditation Service (IAS-829) y el Instituto Nacional de Calidad (Inacal) con instrumentos calibrados.

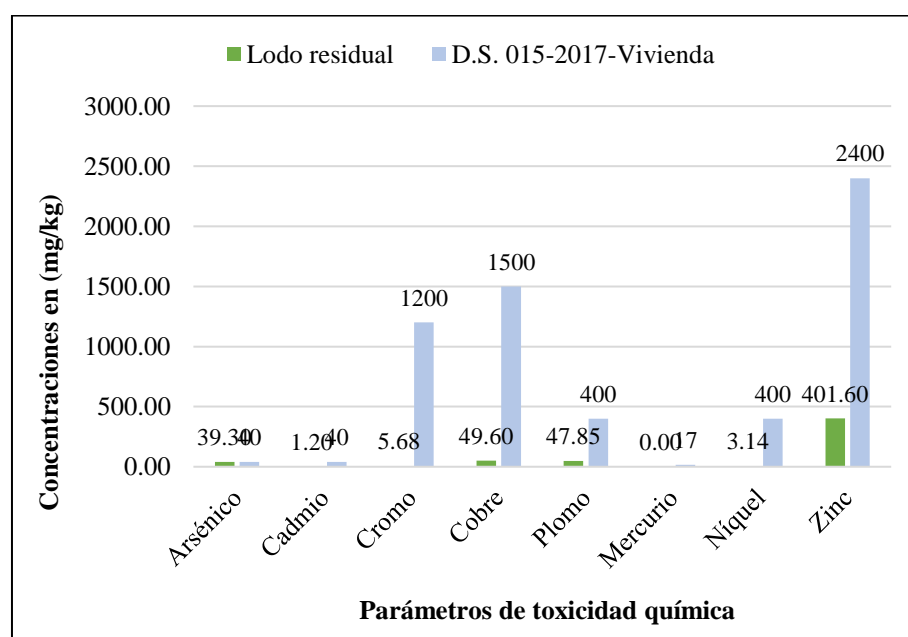
Además, en la figura 4 se observa de forma gráfica las variaciones de los parámetros toxicidad química.

**Tabla 23. Resultados de toxicidad química en lodos residuales**

Parámetros	Compost		Compost de acuerdo con D. S. 015-2017-Vivienda	
	L. D. M.	Unidades	Resultados	Resultados
Arsénico (As)	0,1	mg/kg	39,3	40
Cadmio (Cd)	0,05	mg/kg	1,2	40
Cromo (Cr)	0,05	mg/kg	5,68	1200
Cobre (Cu)	0,1	mg/kg	49,6	1500
Plomo (Pb)	0,05	mg/kg	47,85	400
Mercurio (Hg)	0,1	mg/kg	<0,1	17
Níquel (Ni)	0,07	mg/kg	3,14	400
Zinc (Zn)	0,3	mg/kg	401,6	2400

Nota: L. D. M. = Límite de detección del método

De la anterior tabla, se puede observar que los resultados se rigen bajo los límites de detección del método (L. D. M.) con una probabilidad del 99 % de exactitud, lo que indica que los resultados para parámetros de toxicidad química se encuentran con un alto nivel de confianza. De acuerdo con el D. S. N.º 015-2017-Vivienda - Reglamento para el reaprovechamiento de los lodos generados en las plantas de tratamiento de aguas residuales, los parámetros de toxicidad química no deben sobrepasar de acuerdo con la tabla 22.



**Figura 5. Parámetros de toxicidad química del biosólido**



Los resultados obtenidos de los lodos residuales en el parámetro de toxicidad química permitió comparar con el D. S. 015-2017-Vivienda, obteniendo como resultado que la concentración para el parámetro de Arsénico con 39,3 mg/kg cumple con lo establecido en la norma que es 40 mg/kg, en caso de los parámetros de cadmio se tiene una concentración de 1,2 mg/kg y se encuentra por debajo de la concentración de 40 mg/kg; para el parámetro cromo la muestra contiene una concentración de 5,68 mg/kg que se encuentra por debajo de lo establecido que es 1200 mg/kg; para cobre la concentración se encuentra por debajo con 49,6 mg/kg; para plomo la concentración también se encuentra por debajo de lo establecido con 47,85 mg/kg; mercurio, la concentración es de 0,1 mg/kg y se encuentra por debajo de 17 mg/kg; para la concentración de níquel también se encuentra por debajo de lo establecido con 3,14 mg/kg y finalmente la concentración de zinc con 401,6 mg/kg.

De acuerdo con lo mencionado se puede afirmar que los parámetros como cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, níquel y zinc cumplen con lo establecido en el D. S. 015-2017, ya que las concentraciones se encuentran por debajo del límite.

#### 4.1.2. Parámetros de higienización (microbiológicos)

##### 4.1.2.1 Higienización de los lodos residuales

Para determinar la higienización de los lodos residuales se determinó bajo el método Environmental Protection Agency (EPA-1680) con instrumentos calibrados para determinar los parámetros microbiológicos.

**Tabla 24. Parámetros microbiológicos del compost**

Ensayo	Compost		Compost de acuerdo con D. S. 015-2017-Vivienda
	Unidades	Resultados	Resultados
<i>Escherichia coli</i>	NMP/g ST	933	<1000 NMP/g ST
Huevos de helminto	Huevos/4 g ST	<1	<1/4g ST

Nota: NMP: número más probable, <1: es equivalente a 0

Se puede observar en la tabla 23, *Escherichia coli* con 933 NMP/g ST, en comparación con el D. S. 015-2017-Vivienda, indica para la categoría A (sin restricciones sanitarias aplicables al suelo) debe ser <1000 NMP/g ST, lo cual indica que se encuentra dentro de los parámetros para dicha categoría y finalmente huevos de helminto < 1 huevos/4g ST, en comparación con el D. S. 015-2017-Vivienda, indica

para la categoría A (sin restricciones sanitarias aplicables al suelo) <1 huevos/4 g ST, se cumple con lo establecido en la norma.

#### 4.1.3. Parámetros fisicoquímicos del humus

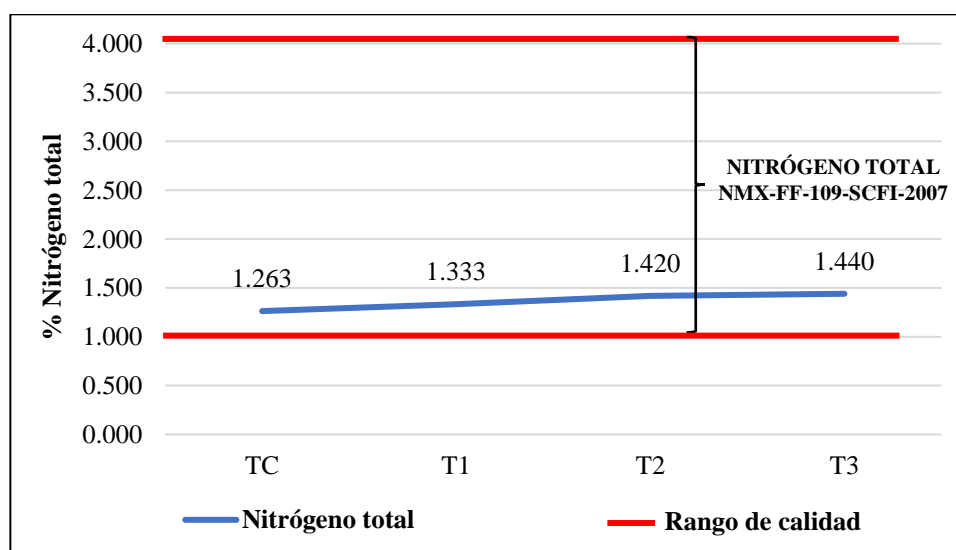
Los resultados del humus después del proceso de vermiestabilización se muestra en la tabla 24, cuyos análisis de prueba fueron realizados por el laboratorio de la Universidad Nacional Agraria La Molina de la facultad de Agronomía.

**Tabla 25. Resultados físicos químicos del humus obtenido**

	Unidades	Humus				NMX-FF-109-SCFI-2007
		TC	T1	T2	T3	Valor
<b>Nitrógeno total</b>	%	1.263	1.333	1.420	1.440	1 a 4
<b>Materia orgánica</b>	%	25.250	26.497	26.313	26.973	20 a 50
<b>Relación C/N</b>	Adimensional	11.598	11.527	10.747	10.867	≤ 20
<b>pH</b>	Adimensional	7.807	7.330	7.070	6.923	5,5 a 8,5
<b>Humedad</b>	%	52.907	52.930	49.687	50.920	20 a 40
<b>Conductividad eléctrica</b>	dS m <sup>-1</sup>	7.657	4.707	4.017	3.530	≤ 4
<b>Capacidad de intercambio catiónico</b>	Cmol kg <sup>-1</sup>	30.933	28.933	25.067	25.600	>40
<b>Densidad aparente</b>	g/cc	0.287	0.270	0.280	0.250	0,40 a 0,90

Nota: TC: tratamiento control; T1, T2 y T3: tratamiento 1, 2 y 3

#### a) Nitrógeno total (Nt) a los 61 días



**Figura 6. Variación de materia orgánica**

En la figura 6 se observa la variación de los resultados para nitrógeno total, la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 indica que los parámetros óptimos

oscilan entre 1 % a 4 % de nitrógeno total. En el tratamiento de lodos residuales mediante la vermiestabilización se obtuvo valores de 1.263 % en el tratamiento (TC), 1.333 % en el tratamiento (T1), 1.420 % en el tratamiento (T2) y un resultado levemente superior de 1.440 % para el tratamiento (T3), por lo tanto, se cumple con los parámetros establecidos de acuerdo con normativa.

Los resultados para nitrógeno total indican que existe una influencia directa con respecto a los 4 tratamiento (TC: *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1,250 kg, T1: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,250 kg [20 %] + restos orgánicos 1,000 kg [80 %], T2: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %], T3: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %]); lo que indica que a mayor masa de lodos estabilizados, existe mayor incremento de nitrógeno total.

#### b) Materia orgánica (MO) a los 61 días

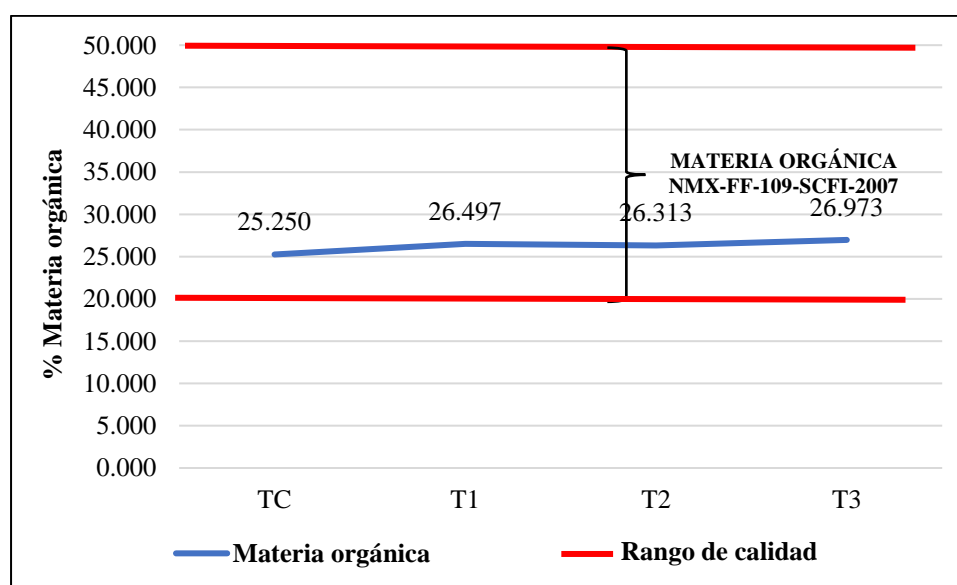


Figura 7. Variación de materia orgánica

En la figura 7 se observa la variación de los resultados para materia orgánica, la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 indica que los valores deben de oscilar entre 20 % a 50 % de materia orgánica. En el tratamiento de los lodos residuales mediante la vermiestabilización se obtuvo valores de 25.250 % en el tratamiento (TC), 26.497 % en el tratamiento (T1), 26.313 % en el tratamiento (T2) y un resultado levemente superior de 26.973 % para el tratamiento (T3), por lo tanto, se cumple con los parámetros establecidos en normativa.

Los resultados para materia orgánica indican que existe una influencia directa con respecto a los 4 tratamiento (TC: *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1,250 kg, T1: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,250 kg [20 %] + restos orgánicos 1,000 kg [80 %], T2: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %], T3: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %]); lo que indica que a mayor masa de lodos estabilizados, existe mayor incremento de materia orgánica.

### c) Relación carbono nitrógeno (C/N) a los 61 días

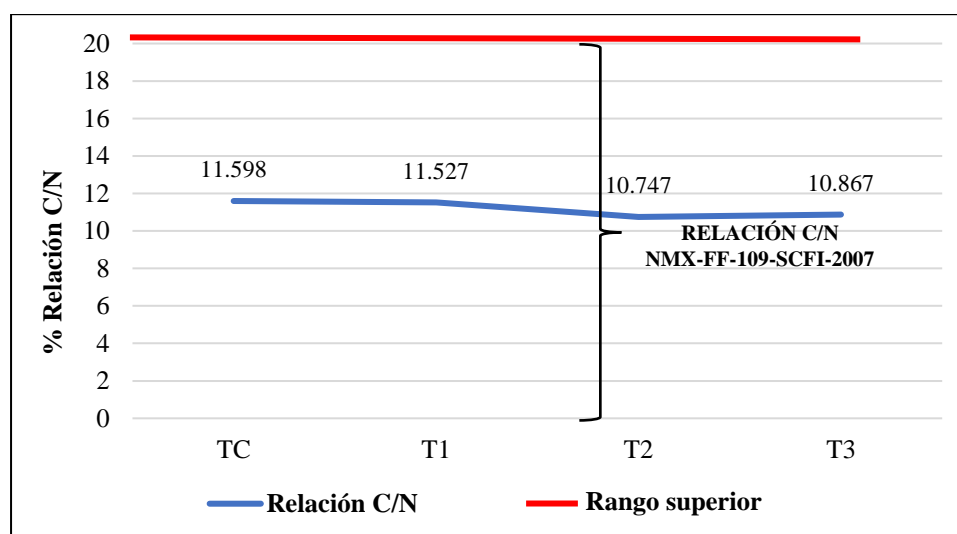


Figura 8. Variación de relación C/N

En la figura 8 se observa la variación de los resultados para relación C/N, la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 indica que los valores deben ser menores o iguales a 20 % C/N. En el tratamiento de lodos residuales mediante la vermiestabilización se obtuvo valores de 11.598 % en el tratamiento (TC), 11.527 % en el tratamiento (T1), 10.747 % en el tratamiento (T2) y 10.867 % para el tratamiento (T3), por lo tanto, se cumple con lo establecido en la normativa descrita.

Los resultados para relación C/N indican que existe una influencia directa decreciente con respecto a los 4 tratamientos (TC: *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1,250 kg, T1: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,250 kg [20 %] + restos orgánicos 1,000 kg [80 %], T2: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %], T3: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %]); lo que indica que a mayor masa de lodos estabilizados, existe decrecimiento de la relación C/N.

#### d) Potencial de hidrógeno (pH) a los 61 días

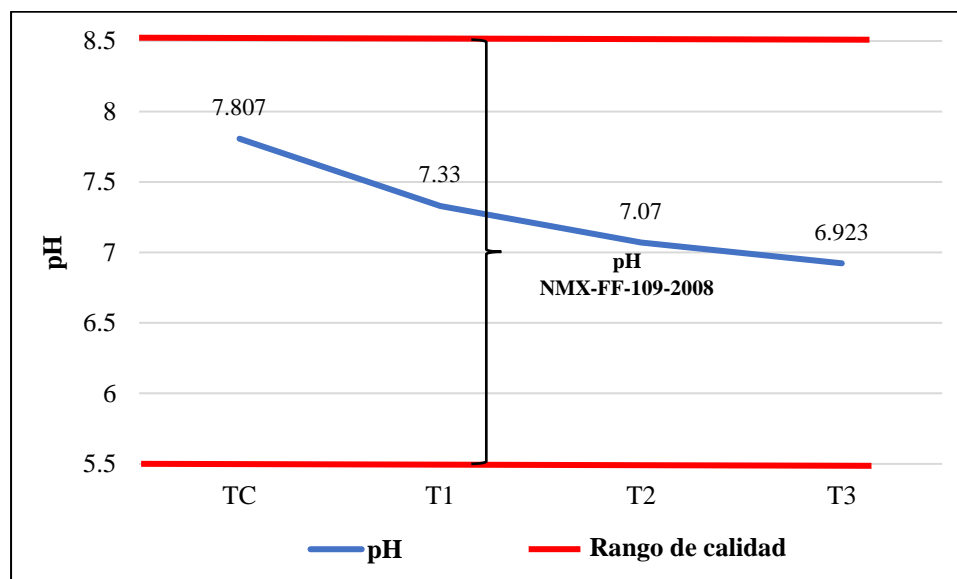
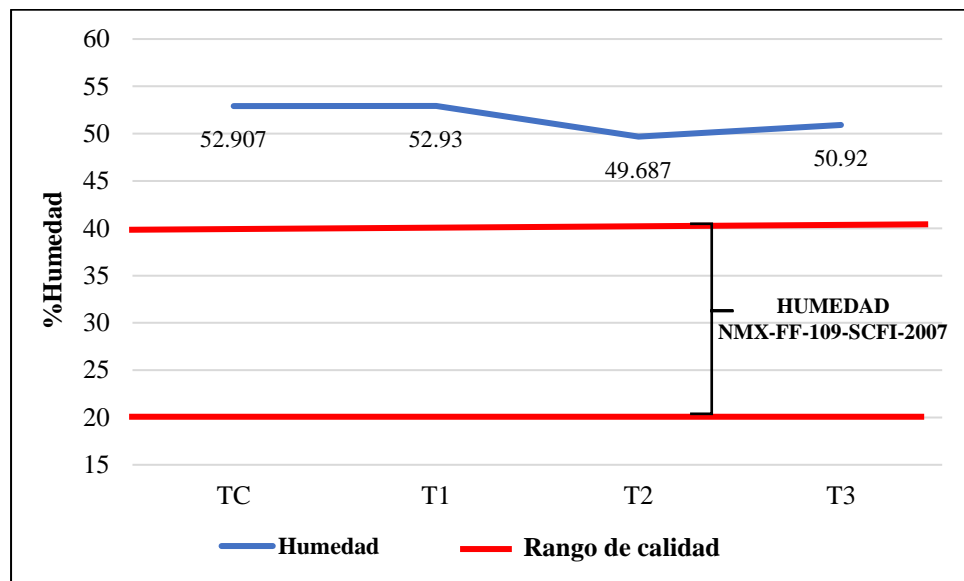


Figura 9. Variación de pH

En la figura 9 se observa la variación de los resultados para pH, la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 indica que los valores deben de encontrarse en un rango de 5,5 hasta 8,5. En el tratamiento de lodos residuales mediante la vermiestabilización, se obtuvo valores de 7,807 en el tratamiento (TC), 7,33 en el tratamiento (T1), 7,07 en el tratamiento (T2) y 6,923 para el tratamiento (T3), por lo tanto, se cumple con lo establecido en normativa.

Los resultados para pH indican que existe una influencia directa decreciente con respecto a los 4 tratamientos (TC: *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1,250 kg, T1: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,250 kg [20 %] + restos orgánicos 1,000 kg [80 %], T2: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %], T3: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %]); lo que indica que a mayor masa de lodos estabilizados, existe decremento de pH.

e) **Humedad a los 61 días**



*Figura 10. Variación de la humedad*

En la figura 10 se observa la variación de los resultados de la humedad, la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, indica que los valores deben de oscilar entre 20 % a 40 %. En el tratamiento de lodos residuales mediante la vermiestabilización se obtuvo valores de 52.907 % en el tratamiento control (TC), 52.93 % en el tratamiento (T1), 49.687 % en el tratamiento (T2) y 50.92 % para el tratamiento (T3), por lo tanto, indican los resultados que no se cumple con lo establecido en la normativa descrita.

Los resultados para humedad indican valores no muy diferenciados con respecto a los 4 tratamientos (TC: *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1,250 kg, T1: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,250 kg [20 %] + restos orgánicos 1,000 kg [80 %], T2: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %], T3: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %]); lo que indica que a mayor masa de lodos estabilizados, no necesariamente cambia la humedad.

### f) Conductividad eléctrica (CE) a los 61 días

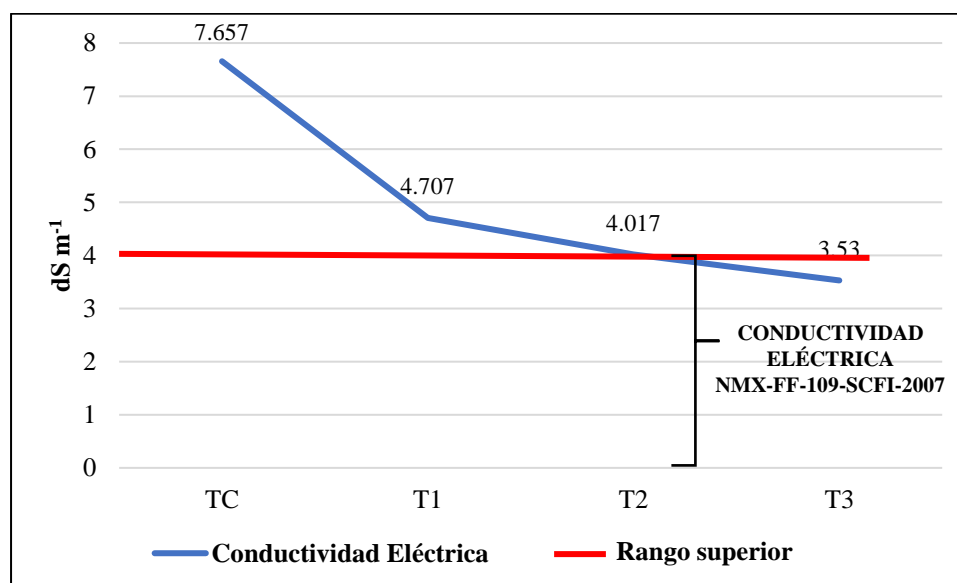
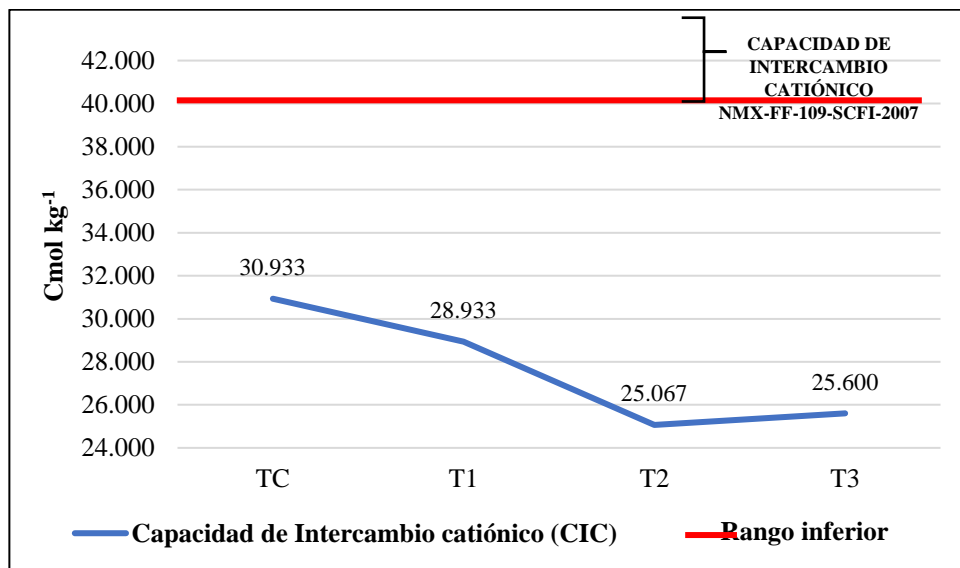


Figura 11. Variación de la conductividad eléctrica

En la figura 11 se observa la variación de los resultados con relación a conductividad eléctrica, la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 indica que los valores deben de encontrarse en un rango menor o igual a 4 dS m<sup>-1</sup>. En el tratamiento de lodos residuales mediante la vermiestabilización, se obtuvo valores de 7.657 dS m<sup>-1</sup> en el tratamiento (TC), 4.707 dS m<sup>-1</sup> en el tratamiento (T1), 4.07 dS m<sup>-1</sup> en el tratamiento (T2) y 3.53 dS m<sup>-1</sup> en el tratamiento control (T3), cumpliendo únicamente este último con lo establecido en la normativa mexicana.

Los resultados para humedad indican influencia directa decreciente con respecto a los 4 tratamientos (TC: *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1,250 kg, T1: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,250 kg [20 %] + restos orgánicos 1,000 kg [80 %], T2: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %], T3: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %]); lo que indica que a mayor masa de lodos estabilizados, existe decrecimiento para conductividad eléctrica.

**g) Capacidad de intercambio catiónico (CIC) a los 61 días**



*Figura 12. Variación de la capacidad de intercambio catiónico (CIC)*

En la figura 12 se observa la variación de los resultados con relación a capacidad de intercambio catiónico (CIC), la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, indica que los valores deben de ser mayores a 40 Cmol kg<sup>-1</sup>. En el tratamiento de lodos residuales mediante la vermiestabilización se obtuvo valores de 30.933 Cmol kg<sup>-1</sup> para el tratamiento (TC), 28.933 Cmol kg<sup>-1</sup> para el tratamiento (T1), 25.067 Cmol kg<sup>-1</sup> para el tratamiento (T2) y 25.600 Cmol kg<sup>-1</sup> para el tratamiento (T3), lo que indica que no se cumple con lo establecido en la normativa.

Los resultados para capacidad de intercambio catiónico indican influencia directa decreciente con respecto a los 3 tratamientos primeros (TC: *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1,250 kg, T1: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,250 kg [20 %] + restos orgánicos 1,000 kg [80 %], T2: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %], y creciente en el tratamiento T3: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %]); lo que indica que a mayor masa de lodos estabilizados, existe decrecimiento para conductividad eléctrica en los tratamientos TC, T1 y T2 y creciente en el tratamiento T3.



#### h) Densidad aparente a los 61 días

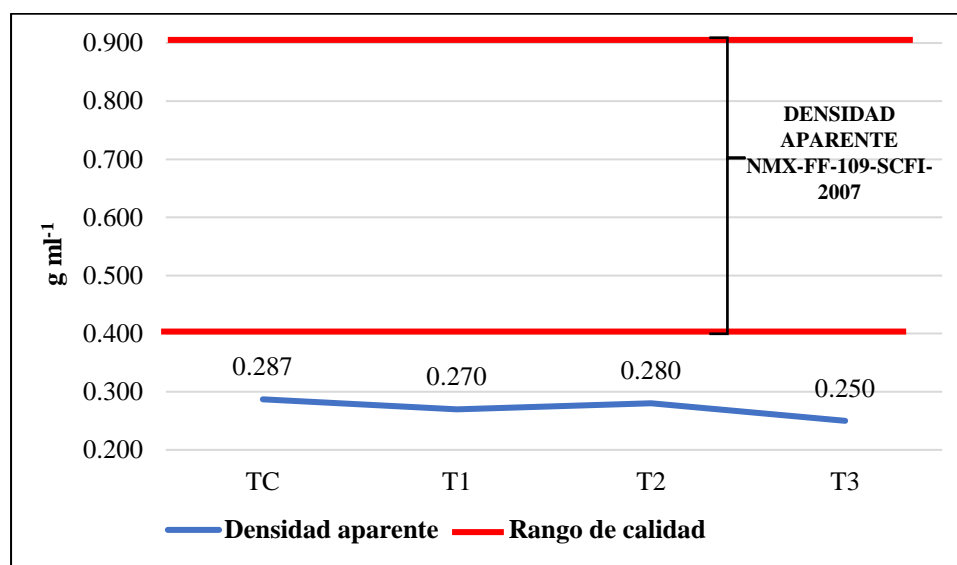


Figura 13. Variación de la densidad aparente

En la figura 12 se observa la variación de los resultados para densidad aparente, la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, indica que los valores deben de encontrarse en un rango de 0,4 a 0,9 g ml<sup>-1</sup>. En el tratamiento de lodos residuales mediante la vermiestabilización, se obtuvo valores de 0.287 g ml<sup>-1</sup> en el tratamiento (TC), 0.270 g ml<sup>-1</sup> para el tratamiento (T1), 0.280 g ml<sup>-1</sup> para el tratamiento (T2) y 0.250 g ml<sup>-1</sup> para el tratamiento (T3), valores que indican que no se cumplen con lo establecido en la normativa.

Los resultados para densidad aparente indican influencia directa decreciente con respecto a los tratamientos (TC: *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + restos orgánicos 1,250 kg), T1: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0.500 kg + lodos estabilizados 0.250 kg [20 %] + restos orgánicos 1.000 kg [80 %] y T3: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,750 kg [60 %] + restos orgánicos 0,500 kg [40 %]); sin embargo, es creciente en el T2: lombriz *Eisenia foetida* y tierra 0,500 kg + lodos estabilizados 0,500 kg [40 %] + restos orgánicos 0,750 kg [60 %] lo que indica que a mayor masa de lodos estabilizados, existe decrecimiento para conductividad eléctrica en los tratamientos TC, T1 y T3 y creciente en el tratamiento T2.

#### 4.2. Análisis de resultados

Las presentes pruebas de normalidad se realizaron con el programa SPSS Statistics 2.5. Mediante las pruebas de Shapiro-Wilk para muestras menores o iguales a 50.

#### 4.2.1. Prueba de hipótesis para parámetros fisicoquímicos del humus

##### 4.2.1.1 Prueba de normalidad para (Nt)

- Ho: La distribución de los resultados de nitrógeno total como resultado final de la vermiestabilización sigue una distribución normal.
- Ha: La distribución de los resultados de nitrógeno total como resultado final de la vermiestabilización no sigue una distribución normal.

**Tabla 26. Prueba de normalidad para nitrógeno total.**

Prueba de Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	sig.
Nt-TC	0.923	3	0.463
Nt-T1	0.750	3	0.000
Nt-T2	0.750	3	0.000
Nt-T3	0.980	3	0.726

Regla de decisión:

Sig.  $\leq$  0,05 se rechaza la Ho

Sig.  $>$  0,05 se acepta la Ho

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que no sigue una distribución normal con un nivel de significancia del 95 %, se toma esta decisión debido a que al menos un sig.-p es menor a 0,05. Por ello, se realiza una prueba no paramétrica.

##### 4.2.1.2 Prueba no paramétrica para (Nt)

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales para nitrógeno total no influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales para nitrógeno total influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

**Tabla 27. Prueba de Kruskal-Wallis para Nt.**

Estadísticos de prueba <sup>a, b</sup>	
	Resultados
H de Kruskal-Wallis	8,377
gl	3
Sig. asintótica	0,039

a. Prueba de Kruskal-Wallis  
b. Variable de agrupación: tratamiento

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna a un nivel de significancia del 95 %, donde indica que existe evidencia suficiente para afirmar que con un valor-sig.-p de 0,039 los lodos residuales influyen para el parámetro de nitrógeno total en la producción de humus de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### 4.2.1.3 Comparación de medias para Nt

**Tabla 28. Comparación de medias de Kruskal-Wallis**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Desviación
1	T3	1,44	0,021
2	T2	1,42	0,006
3	T1	1,33	0,052
4	TC	1,26	0,121

De la anterior tabla, se observa que el tratamiento T3, es estadísticamente superior a los demás con una media de 1,44 lo que indica que tiene mayor concentración de nitrógeno total, consecuentemente los tratamientos T2, T1 y TC siguen descendentemente con media de 1,42; 1,33 y 1,26 cada uno.

#### 4.2.1.4 Prueba de normalidad para (MO)

- Ho: La distribución de los resultados de materia orgánica como resultado final de la vermiestabilización sigue una distribución normal.
- Ha: La distribución de los resultados de materia orgánica como resultado final de la vermiestabilización no sigue una distribución normal.

**Tabla 29. Prueba de normalidad para materia orgánica**

<b>Prueba de Shapiro-Wilk</b>			
	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>sig.</b>
Mo -TC	0,998	3	0,921
Mo -T1	0,900	3	0,384
Mo -T2	0,876	3	0,311
Mo-T3	0,838	3	0,209

Regla de decisión:

Sig. $\leq$ 0,05 se rechaza la Ho

Sig. $>$ 0,05 se acepta la Ho

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que sigue una distribución normal con un nivel de significancia del 95 %, se toma esta decisión debido a que todos los sig.-p son mayores a 0,05. Por ello se realiza una prueba paramétrica.

#### **4.2.1.5 Prueba paramétrica para MO**

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales para materia orgánica no influye en la producción del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales para materia orgánica influye en la producción del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

**Tabla 30. Prueba de Anova para materia orgánica**

<b>Prueba Anova de un factor</b>	
<b>F</b>	<b>p</b>
0,789	0,533

De acuerdo con la prueba de Anova de un factor, se puede decir que no influye la MO ( $p > 0,05$ ), en la producción de humus de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### **4.2.1.6 Prueba de normalidad para relación (C/N)**

- Ho: La distribución de los resultados para relación carbono nitrógeno como resultado final de la vermiestabilización sigue una distribución normal.

- Ha: La distribución de los resultados para relación carbono nitrógeno como resultado final de la vermiestabilización no sigue una distribución normal.

**Tabla 31. Prueba de normalidad para relación carbono nitrógeno**

Prueba de Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	sig.
C/N-TC	0,914	3	0,432
C/N -T1	0,784	3	0,078
C/N -T2	0,946	3	0,552
C/N -T3	0,912	3	0,423

Regla de decisión:

Sig.  $\leq$  0,05 se rechaza la Ho

Sig.  $>$  0,05 se acepta la Ho

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que sigue una distribución normal con un nivel de significancia del 95 %, se toma esta decisión debido a que los valores de sig.-p son mayores a 0,05. Por ello se realiza una prueba paramétrica.

#### 4.2.1.7 Prueba paramétrica para relación (C/N)

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales para relación (C/N) no influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales para relación (C/N) influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

**Tabla 32. Prueba de Anova para relación C/N.**

Prueba Anova de un factor	
F	P
4,612	0,037

**Tabla 33. Prueba de post hoc - comparaciones múltiples para C/N**

	Diferencia de medias	p
TC-T1	0,070	0,996
TC-T2	0,851	0,103
TC-T3	0,730	0,176
T1-TC	-,070	0,996
T1-T2	0,781	0,141
T1-T3	0,660	0,238
T2-TC	-,851	0,103
T2-T1	-,781	0,141
T2-T3	-,121	0,980
T3-TC	-,730	0,176
T3-T1	-,660	0,238
T3-T2	,121	0,980

*Nota:* la diferencia de medias es significativa a un nivel de significancia al 95 %

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna con un valor-sig.-p de 0,037 dando como resultado que los lodos residuales influyen para C/N en la producción de humus, además en las comparaciones de acuerdo con la prueba de *post hoc*, indican que en todos los tratamientos existe influencia de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### 4.2.1.8 Comparación de medias para relación C/N

**Tabla 34. Comparación de medias – Anova de factor**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio	Desviación
1	TC	11,60	0,500
2	T1	11,53	0,200
3	T3	10,87	0,491
4	T2	10,75	0,111

De la anterior tabla, se observa que el tratamiento TC es estadísticamente superior a los demás con una media de 11,60 lo que indica que tiene mayor concentración de C/N, consecuentemente los tratamientos T1, T3 y T2 siguen descendientemente con media de 11,53; 10,87 y 10,75 cada uno.

#### 4.2.1.9 Prueba de normalidad para humedad

- Ho: La distribución de los resultados para humedad como resultado final de la vermiestabilización sigue una distribución normal.
- Ha: La distribución de los resultados para humedad como resultado final de la vermiestabilización no sigue una distribución normal.

**Tabla 35. Prueba de normalidad para humedad**

Prueba de Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	sig.
Hd-TC	0,798	3	0,111
Hd-T1	0,798	3	0,109
Hd-T2	0,964	3	0,633
Hd-T3	0,972	3	0,677

Regla de decisión:

Sig.  $\leq 0,05$  se rechaza la Ho

Sig.  $> 0,05$  se acepta la Ho

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que sigue una distribución normal con un nivel de significancia del 95 %, se toma esta decisión debido a que todos los sig.-p son mayores a 0,05. Por ello se realiza una prueba paramétrica.

#### 4.2.1.10 Prueba paramétrica para humedad

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales para la humedad no influye en la producción del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales para la humedad influye en la producción del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

**Tabla 36. Prueba de Anova para humedad**

Prueba Anova de un factor	
F	p
5,187	0,028

**Tabla 37. Prueba de post hoc - comparaciones múltiples para humedad**

	Diferencia de medias	p
TC-T1	-,023	1,000
TC-T2	3,220	,068
TC-T3	1,987	,326
T1-TC	,023	1,000
T1-T2	3,243	,066
T1-T3	2,010	,317
T2-TC	-3,220	,068
T2-T1	-3,243	,066
T2-T3	-1,233	,681
T3-TC	-1,987	,326
T3-T1	-2,010	,317
T3-T2	1,233	,681

*Nota:* la diferencia de medias es significativa a un nivel de significancia al 95 %

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna con un valor-sig.-p de 0,028 dando como resultado que los lodos residuales influyen para humedad en la producción del humus de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### 4.2.1.11 Comparación de medias para humedad

**Tabla 38. Comparación de medias de Kruskal-Wallis**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (%)	Desviación
1	T1	52,93	1,752
2	TC	52,91	0,604
3	T3	50,92	1,182
4	T2	49,69	1,013

De la anterior tabla, se observa que el tratamiento T1 es estadísticamente superior a los demás con una media de 52,93 % lo que indica que tiene mayor concentración de humedad, consecuentemente, los tratamientos TC, T3 y T2 siguen descendientemente con media de 52,91 %; 50,92 % y 49,69 % cada uno.



#### 4.2.1.12 Prueba de normalidad para pH

- Ho: La distribución de los resultados de pH como resultado final de la vermiestabilización sigue una distribución normal.
- Ha: La distribución de los resultados de pH como resultado final de la vermiestabilización no sigue una distribución normal.

**Tabla 39. Prueba de normalidad para pH**

Prueba de Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	sig.
pH-TC	,995	3	,862
pH -T1	1,000	3	1,000
pH -T2	,983	3	,747
pH -T3	,999	3	,935

Regla de decisión:

Sig.  $\leq$  0,05 se rechaza la Ho

Sig.  $>$  0,05 se acepta la Ho

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que siguen una distribución normal a un nivel de significancia del 95 % y el sig.-p es mayor a 0,05. Por ello se realiza una prueba paramétrica.

#### 4.2.1.13 Prueba paramétrica para pH

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales para pH no influye en la estabilización del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales para pH influye en la estabilización del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

**Tabla 40. Prueba de Anova para pH.**

Prueba Anova de un factor	
F	p
1,771	0,230

De acuerdo con la prueba de Anova de un factor, se dice que no influye el pH ( $p > 0,05$ ), en la estabilización del humus de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### 4.2.1.14 Prueba de normalidad para CE

- Ho: La distribución de los resultados de CE como resultado final de la vermiestabilización sigue una distribución normal.
- Ha: La distribución de los resultados de CE como resultado final de la vermiestabilización no sigue una distribución normal.

**Tabla 41. Prueba de normalidad para humedad**

Prueba de Shapiro-Wilk			
	Estadístico	gl	sig.
CE-TC	0,895	3	0,370
CE-T1	0,989	3	0,803
CE-T2	0,770	3	0,045
CE-T3	0,963	3	0,631

Regla de decisión:

Sig.  $\leq 0,05$  se rechaza la Ho

Sig.  $> 0,05$  se acepta la Ho

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que no sigue una distribución normal con un nivel de significancia del 95 %, se toma esta decisión debido a que al menos un sig.-p es menor o igual a 0,05. Por ello se realiza una prueba no paramétrica.

#### 4.2.1.15 Prueba no paramétrica para CE

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales para CE no influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales para CE influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

**Tabla 42. Prueba de Kruskal-Wallis para CE**

Estadísticos de prueba <sup>a, b</sup>	
	Resultados
H de Kruskal-Wallis	7,912
gl	3
Sig. asintótica	0,048

a. Prueba de Kruskal-Wallis  
b. Variable de agrupación: tratamiento

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna con un valor-sig.-p de 0,048, dando como resultado que los lodos residuales influyen para CE en la producción del humus de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### 4.2.1.16 Comparación de medias para CE

**Tabla 43. Comparación de medias de Kruskal-Wallis**

Orden de mérito	Tratamiento	Promedio (dSm <sup>-1</sup> )	Desviación
1	TC	7,66	0,312
2	T1	4,71	0,478
3	T2	4,02	0,211
4	T3	3,53	1,309

De la anterior tabla, se observa que el tratamiento TC es estadísticamente superior a los demás con una media de 7,66 dSm<sup>-1</sup> lo que indica que tiene mayor CE, consecuentemente, los tratamientos T1, T2 y T3 siguen descendientemente con media de 4,71 dSm<sup>-1</sup>; 4,02 dSm<sup>-1</sup> y 3,53 dSm<sup>-1</sup> cada uno.

#### 4.2.1.17 Prueba de normalidad para CIC

- Ho: La distribución de los resultados de CIC como resultado final de la vermiestabilización sigue una distribución normal.
- Ha: La distribución de los resultados de CIC como resultado final de la vermiestabilización no sigue una distribución normal.

**Tabla 44. Prueba de normalidad para humedad**

<b>Prueba de Shapiro-Wilk</b>			
	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>sig.</b>
CIC-TC	0,860	3	0,266
CIC-T1	0,750	3	0,000
CIC-T2	0,750	3	0,000
CIC-T3	1,000	3	1,000

Regla de decisión:

Sig.  $\leq$  0,05 se rechaza la Ho

Sig.  $>$  0,05 se acepta la Ho

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que no siguen una distribución normal a un nivel de significancia del 95 % y al menos un sig.-p es menor a 0,05. Por ello se realiza una prueba no paramétrica.

#### **4.2.1.18 Prueba no paramétrica para CIC**

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales para CIC no influye en la producción del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales para CIC influye en la producción del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

**Tabla 45. Prueba no paramétrica para CIC**

<b>Estadísticos de prueba<sup>a</sup></b>	
	<b>Resultados</b>
H de Kruskal-Wallis	7,694
gl	3
Sig. asintótica	0,053
a. Prueba de Kruskal-Wallis	
b. Variable de agrupación: tratamiento	

Se rechaza la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna con un valor-sig.-p de 0,053, dando como resultado que los lodos residuales no

influyen para CIC en la producción de humus de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### 4.2.1.19 Prueba de normalidad para densidad aparente

- Ho: La distribución de los resultados de CE como resultado final de la vermiestabilización sigue una distribución normal.
- Ha: La distribución de los resultados de CE como resultado final de la vermiestabilización no sigue una distribución normal.

**Tabla 46. Prueba de normalidad para humedad**

<b>Prueba de Shapiro-Wilk</b>			
	<b>Estadístico</b>	<b>gl</b>	<b>sig.</b>
DA-TC	0,923	3	0,463
DA-T1	0,750	3	0,000
DA-T2	1,000	3	1,000
DA-T3	0,893	3	0,363

Regla de decisión:

Sig.  $\leq$  0,05 se rechaza la Ho

Sig.  $>$  0,05 se acepta la Ho

De acuerdo con los resultados obtenidos a través de la prueba de Shapiro-Wilk se obtuvo que no sigue una distribución normal con un nivel de significancia del 95 %, se toma esta decisión debido a que al menos un sig.-p es menor a 0,05. Por ello se realiza una prueba no paramétrica.

#### 4.2.1.20 Prueba no paramétrica para densidad aparente

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales para CIC no influye en la producción del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales para CIC influye en la producción del vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

**Tabla 47. Prueba de Kruskal-Wallis para DA.**

Estadísticos de prueba <sup>a, b</sup>	
	Resultados
H de Kruskal-Wallis	3,881
gl	3
Sig. asintótica	0,275

a. Prueba de Kruskal-Wallis  
b. Variable de agrupación: Tratamiento

Se acepta la hipótesis nula y se rechaza la hipótesis alterna con un valor-sig.-p de 0,275 dando como resultado que los lodos residuales no influye para DA en la estabilización del humus de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

#### 4.3. Contrastación de la hipótesis general

- Ho: La vermiestabilización de lodos residuales no influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).
- Ha: La vermiestabilización de lodos residuales influye en la producción de vermicompost de acuerdo con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007).

Para aceptar o rechazar la hipótesis general se partió desde los objetivos específicos, dando como resultado que los lodos residuales cumplen con los parámetros de estabilización, toxicidad química e higienización según la normativa peruana, para posteriormente seguir con la producción del producto final (humus) a través de la técnica de vermiestabilización, por último se compararon los resultados de los parámetros fisicoquímicos con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007), cumpliendo con cinco parámetros mínimos de calidad.

Los 4 tratamientos cumplen con 5 de los parámetros fisicoquímicos (Nt, Mo, C/N, pH y CE en el tratamiento 3) establecidos en la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007), existiendo ligeras variaciones entre ellas, según las pruebas estadísticas indican que en todos los parámetros (Nt, C/N, Hm y CE) existen diferencias significativas y, por otro lado, en los parámetros Mo, pH, CIC y DA, no existen diferencias significativas, indicando que las medias son iguales en cada tratamiento.

De todo ello se concluye y se acepta la hipótesis nula (Ho) que la vermiestabilización de lodos residuales no influye en la estabilización del humus, debido a que los resultados indican en cuatro parámetros que las medias son iguales para todos los tratamientos; sin

embargo, en cuatro parámetros (Nt, Mo, C/N y pH) todas las enmiendas cumplen con los estándares mínimos de calidad del humus, en el parámetro (CE) cumple en el cuarto tratamiento, por lo tanto, este puede ser reaprovechado para agricultura, forestación, reforestación, parques, jardines, entre otros.

#### **4.4. Discusión de resultados**

En el artículo de investigación “Producción de composta y vermicomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro” los autores obtuvieron resultados para humus: pH = 5,7; MO = 48 % y Nt = 1,4 % preparado en un tiempo total de 210 días considerando los 60 días de precomposteo. En la investigación de influencia de la vermiestabilización de lodos residuales de la PTAR Sausa se obtuvo resultados en un tiempo de 61 días de vermiestabilización para pH (TC = 7,807; T1 = 7,330; T2 = 7,070 y T3 = 6,923); MO (TC = 25,250 %; T1 = 26,497 %; T2 = 26,313 % y T3 = 26,973 %) Y Nt (TC = 1,263 %; T1 = 1,333 %; T2 = 1,420 % y T3 = 1,440 %), ambas investigaciones presentan los siguientes resultados: para nitrógeno total no existe una variación debido a que ambas investigaciones presentan un resultado promedio de 1,4 % lo cual indica la similitud entre ellos y además existe influencia entre los tratamientos debido al incremento de lodo estabilizado que a mayor sustrato es mayor la concentración de nitrógeno total, para el parámetro de materia orgánica la investigación que lleva por título “Producción de composta y vermicomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro” tiene una diferencia de 48 %, aproximadamente, con respecto a la investigación, esta es una diferencia considerable debido posiblemente a la falta de la etapa de precomposteo en la investigación, lo que generó la débil presencia de materia orgánica y, finalmente, el pH de la investigación es más cercana a la neutralidad a diferencia del artículo mexicano, en estos dos primeros parámetros no existe diferencia significativa, por lo que se determina que a mayor lodo residual necesariamente no hay un incremento en las concentraciones de MO y pH.

Reforzado en el artículo de investigación “Aprovechamiento de lodos residuales para la elaboración de biocompost” los autores consiguieron un producto que cumplía con la normativa NOM-004-SEMARNAT-2002 para los parámetros fisicoquímicos y microbiológicos con resultados para MO (mes tres = 13,31 %) y Nt (mes tres = 1,96 %) en comparación con la investigación influencia de la vermiestabilización de lodos residuales de la PTAR Sausa, 5 de los parámetros fisicoquímicos más importantes cumplen con la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, con resultados para MO (TC = 25,250 %, T1 = 26,497 %, T2 = 23,313 % y T3 = 26,973 %) cuyos resultados difieren en más del 50 % con relación a los resultados de la investigación, indicando que a mayor tiempo no necesariamente se incrementa la materia orgánica como lo presentan las dos investigaciones en comparación. Donde, lo que

este último presenta es mayor materia orgánica debido a la utilización de restos orgánicos en mayor proporción, Nt (TC = 1.263 %, T1 = 1.333 %, T2 = 1.420 % y T3 = 1.440 %), en relación para nitrógeno total (Nt) la investigación presentada menciona un valor promedio de 1,36 % en el segundo mes, resultados que difieren en no más de 30.61 %, resultados parcialmente semejantes, el incremento de nitrógeno total es debido al tiempo de permanencia de tres meses en comparación a dos meses, lo que genera una mayor mineralización de Nt por acción de los microorganismos presentes en los sustratos.

En la investigación titulada “Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de *Pinus Radiata* D. DON. – San Pedro de Saño” da como resultado que el tratamiento 3 con una concentración de 25 % lodo + 75 % residuos orgánicos tiene los mejores resultados a los 120 días después de haber aplicado el tratamiento de vermiestabilización, en donde evaluaron los parámetros de calidad del humus: pH de 7.42, concentración de materia orgánica 20,36 % y relación de C/N 26,78; mientras que la presente investigación “Influencia de la vermiestabilización de lodos residuales de la PTAR Sausa para la producción de humus” el tratamiento 3 presenta los mejores resultados, ya que se estaría aprovechando una mayor cantidad de lodos residuales con una concentración T3 (1.8 kg de lodos estabilizados + lombriz *Eisenia foetida* con 0,500 kg + restos orgánicos con 1.2 kg), teniendo como resultado para pH 6.923, concentración de materia orgánica 26.973 % y relación C/N 10.867. Ambas investigaciones presentan resultados casi semejantes para el parámetro de pH con 7,42 y 6.923 respectivamente y cumplen con la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, para el parámetro de concentración de materia orgánica existe una diferencia de 24.52 %, esto debido al incremento de restos orgánicos y además de la materia orgánica presentes, los lodos residuales ya estabilizados cumplen con la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007; por último, para el parámetro de relación C/N en la investigación de vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de *Pinus Radiata* D. DON. – San Pedro de Saño da como resultado 26,78 %, lo que indica que estarían incumpliendo con la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 que establece una relación de C/N de  $\leq 20$ , mientras que en la investigación “Influencia de la vermiestabilización de lodos residuales de la PTAR Sausa en la producción de vermicompost” el parámetro de relación C/N se obtuvo como resultado 10.867 % cumpliendo con la normativa, esta diferencia de resultado es posiblemente debido a la cantidad de sustrato de los residuos orgánicos, además existe diferencias significativas lo que indican que a mayor lodo residual existe menos concentración de C/N, esto es por el incremento de nitrógeno presente en los lodos residuales lo que disminuye la concentración de dicho parámetro.



En la investigación “Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices *Eisenia foetida* a partir de los lodos residuales de la planta de aguas residuales de Carapongo Lima-Perú” los autores obtuvieron como resultado que la cama 3 con 50 kg lodo + 0,5 kg de lombriz + 50 kg de estiércol de conejo, presenta mejores resultados a las 16 semanas, de acuerdo a los análisis de pH 6,9; C.E 6,66 dS/m; M.O 38,51 %; N 1,97 %; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 4,14 %; K<sub>2</sub>O 0,65 %; CaO 6,36 %; MgO 1,32 %; Hd 62,58 %; Na 0,17 %, basándose de acuerdo con los parámetros de la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación, (SAGARPA) cumplen con todos los parámetros designados a excepción de los óxidos de fósforo. Para la investigación “Influencia de la vermiestabilización de lodos residuales de la PTAR Sausa en la producción de humus” el tratamiento 3 aprovecha una mayor cantidad de lodos residuales, con una concentración de T3 (1.8 kg de lodos estabilizados + lombriz *Eisenia foetida* con 0,500 kg + restos orgánicos con 1.2kg), teniendo como resultado para pH 6.923, CE 3.530 dS m<sup>-1</sup>, materia orgánica 26,973 % y humedad con 50.920 % y se toma como referencia la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007. Ambas investigaciones presentan resultados casi semejantes para el parámetro de pH con 6,9 y 6.923, dentro de la normativa, materia orgánica con 38,51 % y 26,973 % parámetro que no influye en los cuatro tratamientos, indicando que a mayor lodo residual no necesariamente incrementa la materia orgánica; sin embargo, ambas investigaciones cumplen con la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007, para el parámetro de conductividad eléctrica existe una diferencia de 3.13 dS m<sup>-1</sup>, único parámetro que cumple en el tercer tratamiento con la normativa mexicana vigente NMX-FF-109-SCFI-2007 con  $\leq 4$  dS m<sup>-1</sup>, además este parámetro influye en cada uno de los tratamientos, donde en el tratamiento control tiene una media de 7,66 dS m<sup>-1</sup> lo que se concluye que los lodos residuales disminuye las sales presentes en los sustratos y en el producto final que es el humus.

## CONCLUSIONES

1. Se concluye que las dosis del lodo de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Sausa (0 kg, 0.250 kg, 0.500 kg, y 0.750 kg) no influyen significativamente en la estabilización del humus a través de la técnica de la vermiestabilización; sin embargo, cinco parámetros se cumplen con los estándares mínimos de calidad del humus de acuerdo con la mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007), por lo tanto, el humus de todos los tratamientos indican de buena calidad y pueden ser reaprovechados para agricultura, forestación, reforestación, parques, jardines, entre otros.
2. El tratamiento T3 (lombriz *Eisenia foetida* con 0,500 kg + lodos estabilizados 0.750 kg y restos orgánicos 0.500 kg) es el óptimo debido a que este reaprovecha una mayor cantidad de lodos residuales. A continuación, se detallan los valores de los resultados:
  - El contenido de nitrógeno total tiene un valor de 1.440 % este se encuentra dentro del rango establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (1 a 4 %).
  - El contenido de materia orgánica tiene un valor de 26.973 %, este se encuentra dentro del rango establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (20 a 50 %).
  - El contenido de la relación C/N tiene un valor de 10.867 %, este se encuentra dentro del rango establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 ( $\leq 20$  %).
  - El contenido de pH tiene un valor de 6.923, este se encuentra dentro del rango establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (5,5 a 8,5).
  - El contenido de humedad tiene un valor de 50.920 %, este no se encuentra dentro del rango establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (20 a 40 %).
  - El contenido de conductividad eléctrica tiene un valor de 3.530 dS m<sup>-1</sup>, este se encuentra dentro del rango establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 ( $\leq 4$  dS m<sup>-1</sup>).

- El contenido de capacidad de intercambio catiónico tiene un valor de 25.600 Cmol kg<sup>-1</sup>, este no se encuentra dentro del rango establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (>40 Cmol kg<sup>-1</sup>).
  - El contenido de densidad aparente tiene un valor de 0.250 G mL<sup>-1</sup>, este no se encuentra dentro del rango establecido por la normativa mexicana NMX-FF-109-SCFI-2007 (0,40 a 0,90 G mL<sup>-1</sup>).
3. De acuerdo con los resultados del parámetro de toxicidad química: As 39,3 mg/kg MS; Cd 1,2 mg/kg MS; Cr 5,68 mg/kg MS; Cu 49,6 mg/kg MS; Pb 47,85 mg/kg MS; Hg < 1 mg/kg MS; Ni 3,14 mg/kg MS; Zn 401,6 mg/kg MS, se llega a la conclusión de que se cumplió con los valores indicados de acuerdo con la normativa (D. S. 015-2017-Vivienda), y puede ser reaprovechada. Para el parámetro de estabilización se omitió este análisis, ya que los lodos residuales obtenidos cumplen con la concentración de materia orgánica ( $SV \leq 60$  % de materia seca (ST)), al provenir de una laguna de oxidación.
4. Se cumple con la higienización de los lodos residuales a través de la técnica del compostaje y la evaluación de los parámetros de *Escherichia coli* con 933NMP/g ST y huevos de helminto con <1 huevos/4 g ST, por lo que se concluye que no hay restricciones sanitarias para que el lodo residual pueda ser reaprovechado, de acuerdo con el D. S. 015-2017-Vivienda.

## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda variar la dosis de lodo residual y además alargar el tiempo de vermicompostaje dependiendo de las condiciones climáticas del lugar en el proceso de compostaje para que exista una mayor influencia en el humus.
2. Para el parámetro de estabilización y toxicidad química se recomienda revisar el D. S. 015-2017-Vivienda para evaluar si los lodos residuales pueden ser reaprovechados.
3. Para el parámetro de higienización del lodo residual se recomienda mantener una temperatura superior a los 55 °C del compostaje durante 15 días, a fin de eliminar los agentes patógenos como la *Escherichia coli* y los huevos de helminto.
4. En relación con los parámetros fisicoquímicos del humus como producto final, se recomienda trabajar con la normativa mexicana (NMX-FF-109-SCFI-2007) ya que cuenta con especificaciones completas para evaluar la calidad del humus de lombriz *Eisenia foetida*.

## LISTA DE REFERENCIAS

1. **CALDERÓN, Elizabeth Jacqueline; RODRÍGUEZ, Mayra Isabel; VICENCIO DE LA ROSA Rosa, MORALES DE CASAS María del Socorro.** Lodos residuales: métodos de tratamiento, estabilización y aprovechamiento. *Vidsupra*. 2014.
2. **HUAYLLANI HILARIO, Kael Omar.** Influencia de microorganismos eficaces (Em-compost) en la producción de compost de lodos de la planta de tratamiento, Concepción, 2016. 2016. p. 84.
3. **LOPEZ HERNANDEZ, Rodrigo; HERRERA, Kathleen Lourdes.** Planta de tratamiento de aguas residuales para reúso en riego de parques y jardines en el distrito: Hidráulica. *Repositorio Upao*. 2015. No. PTAR, p. 141.
4. **AGUERO CRUZ, Andrea Antone; ROJAS VITOR, Lucio.** *Tratamiento de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales domésticas con la aplicación de la lombricultura en la Compañía Minera Chungar – 2019.* Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión, 2019.
5. **VASQUEZ ALEMAN, Juan Pablo; VARGAS MARTINEZ, Gabriela.** *Aprovechamiento de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales del municipio de Funza, como insumo de cultivo y mejoramiento del suelo.* 2018.
6. **Instituto Nacional de Innovación Agraria.** Tecnología-Lombricultura “Techo a dos aguas.” *Manual técnico*. 2013. p. 69.
7. **ALBORNOZ PINEDA, Angie Mabel; ORTEGA VALENCIA, Elmer Mauricio.** *Evaluación de la eficiencia de la lombriz roja californiana E. Foetida para estabilización de lodos residuales de la PTAR Salitre.* 2017.
8. **CHÁVEZ PORRAS, Álvaro; VELÁSQUEZ CASTIBLANCO, Yessica Liceth; CASALLAS ORTEGA, Nicolás David.** Características fisicoquímicas de humus obtenido de biosólidos provenientes de procesos de tratamiento de aguas residuales. *Informador Técnico*. 2017. Vol. 81, no. 2, p. 122. DOI 10.23850/22565035.939.
9. **ACOSTA DURÁN, Carlos Manuel; SOLÍS PÉREZ, Ofelia; VILLEGAS TORRES, Oscar Gabriel; CARDOSO VIGUEROS, Lina.** Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*. 1969. Vol. 37, no. 1, p. 127–139. DOI 10.15517/rac.v37i1.10718.
10. **VICENCIO-DE LA ROSA, Guadalupe; PÉREZ-LÓPEZ, Elena; MEDINA-HERRERA, Elizabeth; MARTÍNEZ-PRADO, Adriana.** Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un Rastro. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 2011. Vol. 27, no. 3, p. 263–270.

11. **REYES ARAUJO, Diana Yatzil; MORA HERRERA, Martha Elena; LUGO, Jorge; DEL ÁGUILA, Pedro.** Stabilization of sewage sludge by vermicomposting applied in the productivity of basil. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. 2020. Vol. 36, no. 2, p. 371–381. DOI 10.20937/RICA.53537.
12. **LÓPEZ CALERO, Claudia; HERRERA GONZÁLEZ, Yolanda.** Aprovechamiento de lodos residuales para la elaboración de Biocompost. *Angewandte Chemie International Editio*. 1967.
13. **SANDOVAL RODRÍGUEZ, Fanny.** *Degradación de lodos residuales provenientes del tratamiento de aguas residuales municipales por medio de la vermicomposta para obtener humus líquido*. 2011.
14. **DROPPELMANN, Carmen Verónica; GAETE, Carolina Pia; MIRANDA, Paulina.** Remoción mediante vermicomposteo de los coliformes fecales presentes en lodos biológicos. *Revista Facultad de Ingeniería*. 2009. No. 49, p. 124–128.
15. **MARQUINA TRIGOSO, Leonidas Flavio; MARTINEZ FLORES, Jhohans Pelayo.** *Obtención de abonos orgánicos por medio de las lombrices Eisenia foetida partir de los lodos residuales de la planta de tratamiento de aguas residuales San Antonio de Carapongo Lima-Perú.*. 2016.
16. **HUAMAN CHIROQUE, Leidy Magaly.** Tratamiento de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas residuales a través del vermicompostaje como tecnología ambiental. *Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur*. 2019. Vol. 1, p. 1–74.
17. **HUAMÁN ALFARO, Jackeline Diana; HUAMÁN CAMPOS, Hector Manuel.** *Análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles.*. 2019.
18. **APAICO ROMERO, Arístides; SANTISTEBAN TINEO, Eleazar Nilver.** *Vermicompostaje con Eisenia foetida para el tratamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales*. 2020.
19. **POMALAZA SALINAS, Janice; RAMOS PAUCAR, Jacob Fernando.** *Vermiestabilización de lodos activados para la obtención de compost y su efecto en el índice de calidad de plántulas de pinus radiata d. Don. – San Pedro de Saño.*. San Pedro de Saño : Universidad Nacional del Centro del Perú, 2016.
20. **Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú.** *DS-015-2017-VIVIENDA*. Online. 2017. Perú. Available from:  
<https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-supremo-n-015-2017-vivienda/>
21. \_\_\_\_\_. *DS-015-2017-VIVIENDA-norma legales.pdf*. 2017.
22. \_\_\_\_\_. *Protocolo de monitoreo de biosólidos*. 2018.

23. **Asociación Mexicana de Lombricultores.** NMX-FF-109-SCFI-2007 Humus de Lombriz (lombrocompota)-especificaciones y métodos de prueba. *Norma Oficial Mexicana*. 2007.
24. **MACHUCA, Rogelio Nogales; TABOADA, Esperanza; GÓMEZ, Manuel Jesús.** *De Residuo a Recurso el camino hacia la sostenibilidad..* Madrid : Red Española de Compostaje, 2011.
25. **MURCIA, P; DOLORES, María.** *Estudio del vermicompostaje de compost de residuos orgánicos de distinta naturaleza..* [no date].
26. **SZTERN, Daniel; PRAVIA, Miguel A.** Manual para la elaboración de compost, bases conceptuales y procedimientos.
27. **ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María; PANTOJA, Alberto.** *Manual de Compostaje del Agricultor experiencias en América Latina..* 2013. ISBN 978-92-5-307844-8.
28. **DEL LOPEZ CALERO, Claudia; HERRERA GONZALES, Yolanda; LOPEZ BENAVIDEZ, Kenny.** Aprovechamiento de lodos residuales para la elaboración de Biocompost. *Revista de la Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua*. 2015.
29. **VICIENCIO DE LA ROSA, Guadalupe, PÉREZ LÓPEZ, Elena, MEDINA HERRERA, Elizabeth and MARTÍNEZ-PRADO, Ma Adriana.** Producción de comosta y vermicomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un rastro. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*. 2011.
30. **OLVERA LOBO, Sonia.** *UF0289:Operaciones para la gestión de residuos industriales..* Málaga, 2017. ISBN 978-84-8364-785-1. Certificación de profesionalidad en gestión de residuos industriales
31. **ROMÁN, Pilar; MARTÍNEZ, María; PANTOJA, Alberto.** *Manual de compostaje del agricultor..* 2013. arXiv: 1011.1669v3 ISBN: 9789253078448 ISSN: 1098-6596
32. **JONES, Phil; MARTIN, Marc.** A Review of the Literature on the Occurrence and Survival of Pathogens of Animals and Humans in Garden Compost.. January 2003.
33. **Centro Tecnológico Nacional de la Conserva y Agro Waste and Alimentación.** Vermicompostaje. *CSI*. 2017.
34. **SOMARRIBA REYES, Ricardo José; GUZMÁN GUILLÉN, Fidel.** Guía de Lombricultura. *Lombricultura una alternativa de producción*. 2004. No. 4, p. 20.
35. **GARCÍA CONDE, Mary Ruth.** *MANUAL CRÍA DE LA LOMBRIZ DE TIERRA: una alternativa ecológica y rentable..* 2005. ISBN 978-958-8233-32-1.
36. **Infoagro.** La lombricultura. 1ª parte. Online. [Accessed 21 August 2021]. Available from: <https://www.infoagro.com/abonos/lombricultura.htm>
37. **MIKOLIC, Carlos; ANDREONI, Isabel; RUFFINELLI, Silvia; GÓMEZ, Alberto; DÁRDANO, Beatriz; BASILE, Daniel; JORGE ESCUDERO, Gabriella.** Manual de Vermicompostaje. *MontevideoAmbiente*. 2018. Vol. 1, no. 2, p. 1–208.

38. **Fundación Hogares Campesinos Juveniles.** *Manual cría de la lombriz de tierra: una alternativa ecológica y rentable* - Google Libros. Online. 2014. [Accessed 11 August 2021]. Available from: [https://books.google.com.ec/books?id=uHIB89\\_Y\\_P0C&pg=PA30&dq=fragosos+anelidos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiWj8vJ3a3qAhXGg-AKHVNkABYQ6AEwAHoECAEQAg#v=onepage&q=fragosos+anelidos&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=uHIB89_Y_P0C&pg=PA30&dq=fragosos+anelidos&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwiWj8vJ3a3qAhXGg-AKHVNkABYQ6AEwAHoECAEQAg#v=onepage&q=fragosos+anelidos&f=false)
39. **GONZALES VIDAL, Ana Lucila; SÁNCHEZ VELÁSQUEZ Shanell Gabriela.** *Universidad Nacional Del Santa..* Univerdidad Nacional del Santa, 2019.
40. **Cocoon.** Humus de lombriz sólido.. No. 045, p. 1–4.
41. \_\_\_\_\_. Humus líquido de lombriz. *Cocoon.* 2011.
42. **Biological Wastewater Treatment: Principles, Modeling and Design** - Google Libros.
43. **HUAMAN CHIROQUE, Leidy Magaly.** *Tratamiento de lodo residual proveniente de una planta de tratamiento de aguas residuales a traves de vermicompostaje como tecnología ambiental..* Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, 2019.
44. **RODRIGUEZ GAMARRA, Juan.** Tratamiento de aguas residuales en pequeñas comunidades. *Academia.* 2017.
45. **Theme Horse.** Lagunas de oxidación ¿Que son? – Tratamiento del Agua. Online. [Accessed 5 February 2022]. Available from: <https://www.tratamientodelagua.com.mx/lagunas-de-oxidacion-que-son/>
46. **DURAN, Lolita; HENRIQUEZ, Carlos.** Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sutratos orgánicos. *Agronomía Costarricense.* 2009. Vol. 33, no. 2, p. 275–281.
47. **HERNÁNDEZ SAMPIERI, Roberto; FERNÁNDEZ COLLADO, Carlos; BAPTISTA LUCIO, Pilar.** *Metodología de la Investigación.* 2014. ISBN 978-1-4562-2396-0.
48. **CABALLERO ROMERO, Alejandro E.** *Metodología de la Integral Innovadora para Planes y Tesis..* 2011. ISBN 978-612-45192-0-8.
49. **ARROYO CANALES, Margot; BALTAZAR CANCHARI, Yelizan; BAZÁN BÁSQUEZ, Liz; CATAY ORDOÑEZ, Janeth; HUAYTA ASTOPILLO, Doris.** *Análisis y tratamiento de lodos residuales generados en la planta de tratamiento de aguas residuales de Cajabamba para la obtención de compost y ladrillos combustibles.* 2019.



## **ANEXOS**

**Anexo A**  
**Fotografías**

**A.1. Recolección de muestra de biosólido**



*Figura 14. Secado del biosólido*



*Figura 15. Laguna de oxidación*



*Figura 16. Secado del biosólido*



*Figura 17. Biosólido en proceso de secado*

## A.2. Preparación de vermiestabilización



*Figura 18. Preparación de las camas de vermiestabilización*



*Figura 19. Adición de componentes en las camas*

### A.3. Matriz de operacionalización de variables

Tipo de variable	Dimensiones	Definición conceptual	Indicador	Unidad de media	Tipo de variable	
Variable independiente	Lodo residual	Producto extraído de las plantas de tratamiento de aguas residuales que generalmente tienen altas concentraciones de sólidos volátiles, metales pesados y microorganismos patógenos.	Estabilización de lodos	Materia orgánica (SV) $\leq 60$ % de materia seca (ST)	Cuantitativa o cualitativa	
			Toxicidad química	Arsénico cadmio Cromo Cobre Plomo Mercurio Níquel Zinc	Mg/kg ST Materia seca	Cuantitativa
			Higienización de lodos	El nivel de higienización se puede demostrar con el cumplimiento	<i>Escherichia Coli</i> <i>Salmonella spp</i>	$\leq 1000$ NMP por g en base seca 3 NMP en 4g, en base seca

			de los procesos previstos en el Anexo I y del Anexo II (DS- 015-2017- Vivienda)	<i>Huevos de helminto</i>	1 en 4g, en base seca	Cuantitativa
<b>Variable dependiente</b>	Vermiestabilización	Es un proceso de digestión de la lombriz <i>Eisenia foetida</i> y microorganismos presentes en los sustratos, cuyo producto es el llamado vermicompost o humus de lombriz que cumplen características mínimas para su utilización.	Nitrógeno total		%	Cuantitativa
			Materia orgánica		%	Cuantitativa
			Relación C/N		Adimensional	Cuantitativa
			pH		Adimensional	Cuantitativa
			Humedad		%	Cuantitativa
			Conductividad Eléctrica		dS m <sup>-1</sup>	Cuantitativa
			Capacidad de Intercambio catiónico		Cmol kg <sup>-1</sup>	Cuantitativa
	Densidad aparente		g/cc	Cuantitativa		

## A.4. Resultados de laboratorio



**SAG**

LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL ORGANISMO  
INTERNATIONAL ACCREDITATION  
SERVICE, INC. - IAS  
CON REGISTROS TL-829 Y TL-951



LABORATORIO DE ENSAYO  
ACREDITADO POR EL  
ORGANISMO DE  
ACREDITACIÓN INACAL-DA  
CON REGISTRO N° LE - 047



### INFORME DE ENSAYO N° 154899 - 2021 CON VALOR OFICIAL

**RAZÓN SOCIAL** : RUC: 10764201588  
**DOMICILIO LEGAL** : JR. ANGARAES 1234  
**SOLICITADO POR** : GABRIELA ARLET BALBÍN SURICHAQUI - PAUL ESMITH QUINCHO PÉREZ - MARITZA EVELYN FLORES ALVITES  
**REFERENCIA** : VERMIESTABILIZACIÓN DE LÓDOS RESIDUALES  
**PROCEDENCIA** : HUANCAYO  
**FECHA(S) DE RECEPCIÓN DE MUESTRAS** : 2021-09-07  
**FECHA(S) DE ANÁLISIS** : 2021-09-07 AL 2021-10-05  
**FECHA(S) DE MUESTREO** : 2021-07-09 Y 2021-09-06  
**MUESTREADO POR** : GABRIELA ARLET BALBÍN SURICHAQUI Y MARITZA EVELYN FLORES ALVITES  
**CONDICIÓN DE LA MUESTRA** : LOS RESULTADOS DE ANÁLISIS SE APLICAN A LA MUESTRA(S) TAL COMO SE RECIBIÓ.

#### I. METODOLOGÍA DE ENSAYO:

Ensayo	Método	L.C	Unidades
Escherichia coli	EPA Method 1680 Fecal Coliforms in Sewage Sludge (Biosolids) by Multiple-Tube Fermentation using Lauryl Tryptose Broth (LTB) and EC Medium, 2014 // SM Part 9221 G. (Item 2), 23rd Ed. 2017. Multiple-Tube Fermentation, Technique for Members of the Coliform Group. Other Escherichia coli Procedures (PROPOSED), 2017.	0,1803 <sup>(a)</sup>	NMP/g ST
Eggs of viable helminthes (Huevos de helmintos viables)	Standard Methods for the Recovery and Enumeration of Noodley et al: Helminth Ova in Wastewater, Sludges, Compost and Urine-Diversion Waste in South Africa (Moodley, Archer, Hawksworth, & Leibach, 2008).	1	Huevos /4g ST
Metales: Aluminum (Al), Antimony (Sb), Arsenic (As), Barium (Ba), Boron (B), Beryllium (Be), Cadmium (Cd), Calcium (Ca), Chromium (Cr), Cobalt (Co), Copper (Cu), Iron (Fe), Lead (Pb), Lithium (Li), Magnesium (Mg), Manganese (Mn), Mercury (Hg), Molybdenum (Mo), Nickel (Ni), Phosphorus (P), Potassium (K), Selenium (Se), Silica (SiO <sub>2</sub> ), Silver (Ag), Sodium (Na), Strontium (Sr), Thallium (Tl), Estahio, Titanium (Ti), Vanadium (V), Zinc (Zn), Thorium ( Th), Uranium (U), Tungsten (W)	EPA 3050-B (1996) Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils // SW-846 Method EPA 6010D, Rev. 5, 2018. Inductively Coupled Plasma - Optical Emission Spectrometry (ICP-OES).	---	mg/kg

L.C.: límite de cuantificación.

(a) Límite de detección del método para estas metodologías por ser semicuantitativas.

#### II. RESULTADOS:

Producto declarado	Suelo
Matriz analizada	Suelo
Fecha de muestreo	2021-09-06
Hora de inicio de muestreo (h)	03:30
Coordenadas	476652E 8664717N
Condiciones de la muestra	Conservada
Código del Cliente	COMPOST
Código del Laboratorio	21090531
<b>ENSAYO ACREDITADO ANTE IAS-829</b>	
Ensayo	Unidades
Escherichia coli	NMP/g ST
	Resultados
	933

Resultados de Suelo reportado en base seca.

*Mariú Tello Paucar*  
Ing. Mariú Tello Paucar  
Director Técnico  
C.I.P. N° 219624  
Servicios Analíticos Generales S.A.C.

EXPERTS  
WORKING  
FOR YOU



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA**  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : PAUL ESMITH QUINCHO PEREZ  
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ PILCOMAYO  
MUESTRA DE : HUMUS DE LOMBRIZ  
REFERENCIA : H.R. 78681  
FACTURA : 5552  
FECHA : 16/01/2023

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
924	TC1	7.73	7.54	25.25	1.28	0.85	2.00
925	TC2	7.89	7.42	25.90	1.24	0.85	2.02
926	TC3	7.80	8.01	24.60	1.27	0.85	2.19
927	T1-1	7.41	4.26	26.35	1.34	0.85	1.31
928	T1-2	7.33	5.21	26.19	1.33	0.82	1.34
929	T1-3	7.25	4.65	26.95	1.33	0.85	1.21

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	CIC meq/100g
924	TC1	1.28	0.85	52.21	0.08	26.00
925	TC2	1.24	0.85	53.29	0.08	32.80
926	TC3	1.27	0.85	53.22	0.09	34.00
927	T1-1	1.34	0.85	54.04	0.07	30.00
928	T1-2	1.33	0.82	53.84	0.08	28.00
929	T1-3	1.33	0.85	50.91	0.07	28.80

M.O. por oxidación.



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio





## INFORME DE ANALISIS DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : PAUL ESMITH QUINCHO PEREZ  
 PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ PILCOMAYO  
 MUESTRA DE : HUMUS DE LOMBRIZ  
 REFERENCIA : H.R. 78681  
 FACTURA : 5552  
 FECHA : 16/01/2023

N° LAB	CLAVES	pH	C.E. dS/m	M.O. %	N %	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> %	K <sub>2</sub> O %
930	T2-1	7.00	4.26	24.98	1.36	0.81	0.81
931	T2-2	7.08	3.90	26.79	1.45	0.85	0.93
932	T2-3	7.13	3.89	27.17	1.45	0.80	0.87
933	T3-1	7.01	4.67	25.80	1.33	0.86	0.90
934	T3-2	6.84	2.10	25.25	1.42	0.84	0.63
935	T3-3	6.92	3.82	29.87	1.57	0.89	0.83

N° LAB	CLAVES	CaO %	MgO %	Hd %	Na %	CIC meq/100g
930	T2-1	13.71	0.68	48.58	0.07	25.20
931	T2-2	14.06	0.66	49.91	0.07	24.80
932	T2-3	14.28	0.65	50.57	0.07	25.20
933	T3-1	14.20	0.69	50.69	0.07	25.60
934	T3-2	16.10	0.66	52.20	0.04	24.00
935	T3-3	16.38	0.70	49.87	0.08	27.20

M.O. por oxidación.



*Dr. Constantino Caberón Mendoza*  
 Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



## INFORME DE ANALISIS ESPECIAL DE MATERIA ORGANICA

SOLICITANTE : PAUL ESMITH QUINCHO PEREZ  
PROCEDENCIA : JUNIN/ HUANCAYO/ PILCOMAYO  
MUESTRA DE : HUMUS DE LOMBRIZ  
REFERENCIA : H.R. 78682  
BOLETA : 5427  
FECHA : 05/01/2023

N° LAB	CLAVES	D.A. g/cc
936	DATC1	0.27
937	DATC2	0.31
938	DATC3	0.28
939	DAT1-1	0.28
940	DAT1-2	0.28
941	DAT1-3	0.25
942	DAT2-1	0.26
943	DAT2-2	0.28
944	DAT2-3	0.30
945	DAT3-1	0.27
946	DAT3-2	0.22
947	DAT3-3	0.26



*Constantino Calderón Mendoza*  
Jefe de Laboratorio

## B: Mapas

### B.1. Mapa de ubicación de lagunas de oxidación

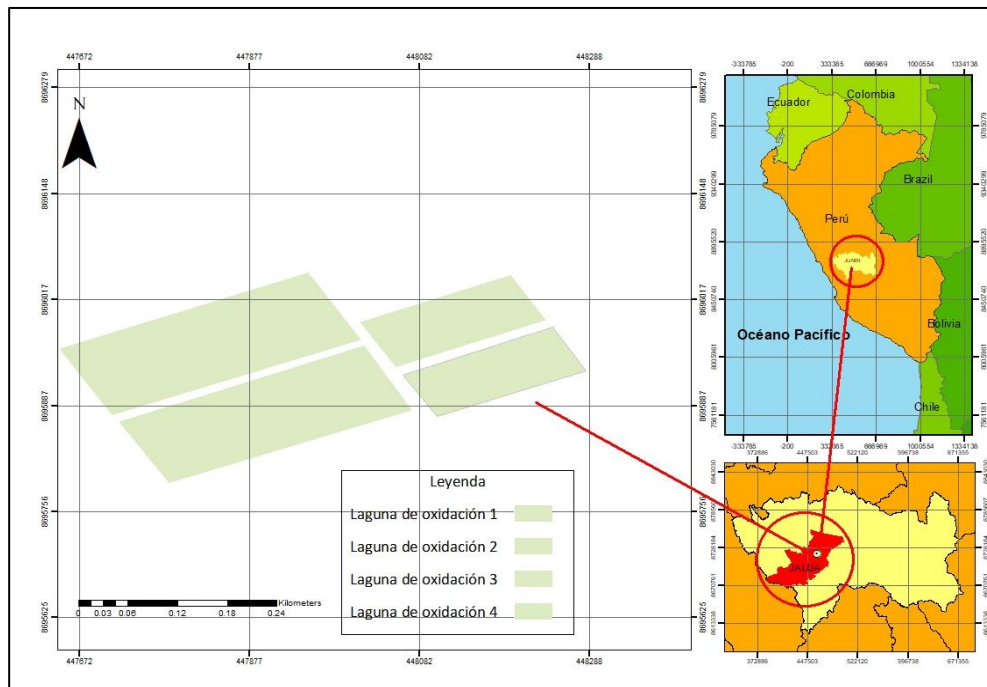


Figura 20. Lagunas de oxidación

### B2. Mapa de ubicación de la experimentación

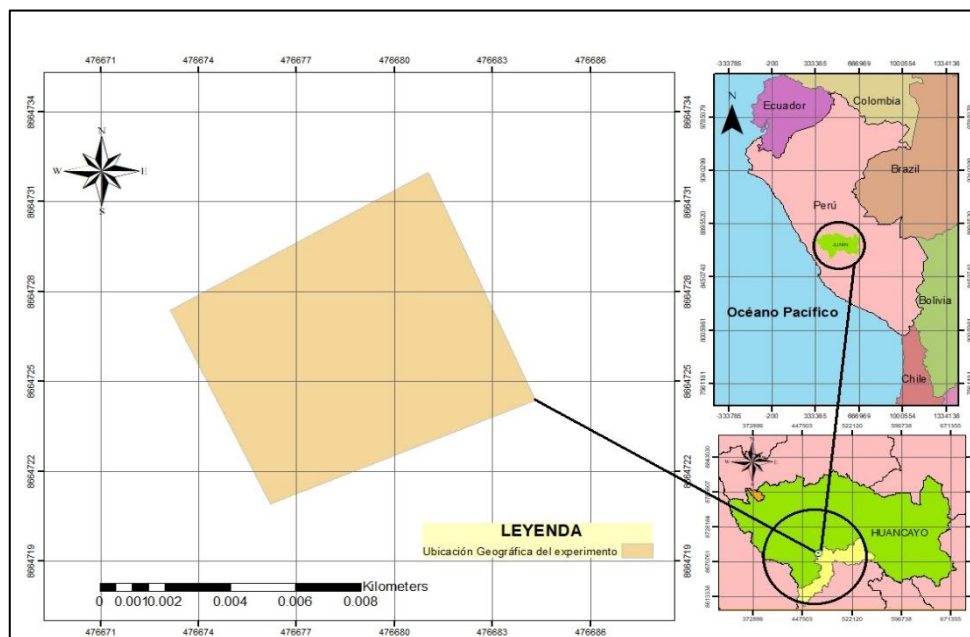


Figura 21. Mapa de ubicación de la experimentación