



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Vermicompostaje con *Eisenia foetida* para el tratamiento de lodos
provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales.**

TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE
Bachiller en Ingeniería Ambiental

AUTORES:

Apaico Romero, Arístides (ORCID: 0000-0002-2479-1439)
Santisteban Tineo, Eleazar Nilver (ORCID: 0000-0002-5437-3836)

ASESORES:

Dr. Lloclla Gonzáles, Herry (ORCID: 0000-0002-0821-7621)
Dr. Ponce Ayala, José Elías (ORCID: 0000-0002-0190-3143)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de Residuos

CHICLAYO – PERÚ

2020

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Índice de contenidos	ii
Índice de tablas	iii
Índice de figuras	iv
Resumen.....	v
Abstract	vi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. METODOLOGÍA	4
III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	14
IV. CONCLUSIONES	23
V. RECOMENDACIONES.....	24
REFERENCIAS.....	25
ANEXOS	33

Índice de tablas

Tabla 1. <i>Características fisicoquímicas de los lodos residuales.</i>	14
Tabla 2. <i>Características biológicas de los lodos residuales.</i>	15
Tabla 3. <i>Dosis óptima de lodos y residuos para el vermicompostaje.</i>	17
Tabla 4. <i>Parámetros de calidad del humus.</i>	18
Tabla 5. <i>Comparación de parámetros de los resultados con los estándares de calidad.</i>	19

Índice de figuras

<i>Figura 1:</i> Anatomía de la Lombriz Roja Californiana.	7
<i>Figura 2:</i> Diagrama de flujo del proceso de vermicompostaje (<i>Eisenia foetida</i>) en lodos residuales.	12

Resumen

El objetivo de la presente investigación fue describir la efectividad del vermicompostaje con *Eisenia foetida* en el tratamiento de lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Se llevó a cabo mediante revisión bibliográfica de estudios recientes, el diseño fue no experimental-transversal descriptivo, donde se analizaron diferentes investigaciones respecto a las características fisicoquímicas del lodo residual, los factores ambientales que influyen para el desarrollo de la *Eisenia foetida*, dosis óptima de la mezcla y calidad del abono orgánico. Durante el periodo de evaluación de las diferentes investigaciones se observó que la dosis óptima fue de 50% lodo y 50% materia orgánica, los mejores resultados, con respecto a la calidad nutricional, se enmarcaron dentro de las normas establecidas en el Real Decreto 824/2005, Productos Fertilizantes (2005), pH (6.98), M.O (46.87%), C.E (3.50 mS/cm), humedad (59.9%), N (1.75%), P (1.35%) y K (0.61%). Los resultados obtenidos permitieron concluir que el uso del vermicompostaje con *Eisenia foetida* para la gestión de lodos depende de la previa aplicación de otros sustratos y procedimientos complementarios que permitan alcanzar los límites permisibles para la incorporación de este material en el suelo.

Palabras clave: Lodo residual, vermicompostaje, *Eisenia foetida*, humus.

Abstract

The objective of this research was to describe the effectiveness of vermicomposting with *Eisenia foetida* in the treatment of sewage sludge from sewage treatment plants. It was carried out through a bibliographic review of recent studies, the design was non-experimental-descriptive, cross-sectional, where different investigations were analyzed regarding the physicochemical characteristics of the residual sludge, the environmental factors that influence the development of *Eisenia foetida*, optimal dose of the mix and quality of the organic compost. During the evaluation period of the different investigations, it was observed that the optimal dose was 50% sludge and 50% organic matter, the best results, with respect to nutritional quality, were framed within the standards established in Royal Decree 824 / 2005, Fertilizer Products (2005), pH (6.98), MO (46.87%), EC (3.50 mS / cm), humidity (59.9%), N (1.75%), P (1.35%) and K (0.61%). The results obtained allowed to conclude that the use of vermicomposting with *Eisenia foetida* for sludge management depends on the prior application of other substrates and complementary procedures that allow reaching the permissible limits for the incorporation of this material in the soil.

Keywords: Sewage sludge, vermicomposting, *Eisenia foetida*, humus.

I. INTRODUCCIÓN

El aumento poblacional a nivel mundial no solo ha generado el excesivo crecimiento en la generación de diferentes residuos orgánicos sino también la generación de extensas unidades de aguas residuales y por ello la demanda de implementar más PTAR.

El Perú posee 163 PTAR, donde la cantidad de aguas tratadas es proporcional a las unidades de lodos que se obtienen; además, la existencia de solo existen 9 rellenos sanitarios y 2 rellenos de seguridad generan consecuencias directas como el deposito, de estos residuos en zonas inadecuadas, denominados botaderos (OEFA, 2014, p.20); esto genera distintos contaminantes donde se perciben olores desapacibles al medio ambiente que pueden llegar a producir enfermedades, al estar en exposición directa a las personas vulnerables (Castañeda, 2018, p. 11).

De otro lado, la disposición de estos biosólidos ha generado un problema para las plantas de tratamiento, originado de un mal manejo y administración de estos establecimientos. Por otro lado, es necesario implementar más infraestructuras o áreas apropiadas para su almacenamiento y aprovechamiento (Ortiz, 2017, p. 17).

Herrera, (2018) mencionó que un PTAR, genera un promedio de 5000 kg de lodos mensualmente y anualmente 60.000 kg de lodos que no son depositados de manera adecuada en un relleno de seguridad y tampoco buscan darle un aprovechamiento. Además, detalló que anualmente en países como México, se producen aproximadamente 640.000 ton/año de lodos residuales con una proyección para el 2030 de 880.000 ton/año de lodos residuales (p. 5).

Otro punto es, la generación de residuos orgánicos en los distintos mercados del país, uno de ellos es el mercado Moshoqueque que genera un aproximado de 81% de residuos orgánicos provenientes de puestos de frutas, verduras y carnes necesitan un aprovechamiento óptimo o una disposición final adecuada para así mitigar impactos negativos al ambiente.

El tratamiento de estos lodos residuales contempla la separación o eliminación de diferentes contaminantes a través de diversas técnicas con el propósito de transformar sus características perjudiciales en un residuo beneficioso para el suelo.

El vermicompostaje con *Eisenia foetida*, es un método que mediante la degradación de ciertos sustratos permitirá disminuir sustancias contaminantes de los lodos, por otro lado, se aprovechará este residuo mediante la producción de un bioabono (Avilés, 2011, p. 3).

Después de haber realizado un análisis de la realidad problemática, se plantea el problema general de la investigación ¿Cuál es la efectividad del vermicompostaje con *Eisenia foetida* en el tratamiento de lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales?

El presente estudio de investigación se justifica porque busca solucionar vacíos dentro del ámbito ambiental como es la acumulación incontrolada de grandes concentraciones de lodos residuales, dispuestos por plantas de tratamiento de aguas residuales. Además, solucionar el problema de residuos orgánicos generados en distintos mercados a nivel nacional, ya que son problemas frecuentes que requieren de una gestión adecuada de residuos sólidos y de lodos residuales.

En el aspecto económico, el aprovechamiento de biosólidos y residuos orgánicos se puede establecer como abono orgánico, en vista de la alta carga de materia orgánica que contiene, esto se hace posible por medio del vermicompostaje con la especie *Eisenia foetida* que permitirán la producción de abono orgánico que puede ser comercializado a los agricultores y reducirían costos en fertilizantes.

Finalmente, en el aspecto social, mejora la calidad de vida de las personas, ya que de esta manera se evitaría la evacuación de estos lodos en un botadero; así mismo la incorporación del humus generado del lodo residual, para el cultivo de hortalizas; optimizando la producción y de esta manera promover la agricultura orgánica.

El objetivo general fue describir la efectividad del vermicompostaje con *Eisenia foetida* en el tratamiento de lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales. Para llegar a ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Describir las características fisicoquímicas y biológicas de los lodos residuales que influyen en el vermicompostaje.
- Describir los factores ambientales óptimos para la *Eisenia foetida* en el tratamiento de lodos residuales.
- Definir la dosis óptima de lodos residuales y residuos orgánicos para la producción de humus de calidad.
- Evaluar la calidad de abono orgánico producido a partir del vermicompostaje con *Eisenia foetida* en el tratamiento de lodos residuales.

II. METODOLOGÍA

Según Lv, Xing y Yang, (2018), en su artículo “Explorando los efectos de las lombrices de tierra en bacterias perfiles durante el proceso de vermicompostaje de lodos de depuradora y estiércol de ganado con secuenciación de alto rendimiento”- Alemania. Reveló los efectos de las lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) en perfiles bacterianos durante el proceso de vermicompostaje de lodos de depuradora y estiércol de ganado con la tecnología de secuenciación de alto rendimiento, a a partir de ello, concluyó que las lombrices de tierra pueden acelerar la degradación orgánica y mejorar el proceso de estabilización. Además, la actividad de las lombrices de tierra tuvo efectos significativos en la estructura de la comunidad bacteriana, ya que afectaron las propiedades físicoquímicas de los sustratos, promoviendo así el crecimiento de algunos microorganismos, como *Flavobacteria*, *Acid Bacteria* y *Planctomycetes* (p. 20).

García, E.; García, O. y Ruiz (2005), ilustraron el aprovechamiento de los lodos de plantas depuradoras con una tecnología de vermicompost (humus de lombriz) de tres materias primas diferentes: segado del césped de la ciudad, desechos de agromercados y lodos provenientes de la planta depuradora. Entre los resultados de mayor interés sobre el uso de la lombricultura para la gestión de lodos provenientes de plantas depuradoras es una tecnología viable, se debe continuar desarrollándose, ya que los resultados con el uso de lodos provenientes de plantas depuradoras, como materia prima, son similares a los obtenidos utilizando otros materiales orgánicos (p.48).

Así mismo Avilés, (2011, p. 32), realizó, a escala piloto, un sistema de vermiestabilización, con la finalidad de reducir coliformes fecales y huevos de helminto viables en lodos, obteniendo un humus libre de buena calidad, el autor logró reducir dichos parámetros, sin haber varianza significativa de las cantidades de los insumos con los que el sistema fue nutrido.

Ortiz, (2017, p. 31), obtuvo humus a partir de lodo residual proveniente de una PTAR del Cantón Ambato, este lodo se analizó físicoquímico y microbiológicamente de manera preliminar para establecer un ensayo mediante el vermicompostaje. El tratamiento T4 se considera bioabono, en vista que cumplió con los estándares

indicados en la NOM-004-SEMANART-2002, clasificado como sustrato C, aplicación específicamente forestal, puede ser utilizado como una fuente de minerales y demás nutrientes.

Mientras que Lugo, et al., (2016), utilizó cuatro porcentajes de estiércol equino y lodo residual durante 90 días bajo condiciones de invernadero. La relación más óptima fue 70% de estiércol y 30% de lodos residual, presentó un equilibrio de C y N, baja concentración para Cu, Zn, Ni y Cd, el nivel de P aumentó y el número de lombrices fue mayor (1790), respecto a los otros tratamientos, debido a estos indicios, el autor concluye que es adecuada para su utilización como bioabono (p. 55).

Por otro lado, Castañeda (2018), realizó el análisis químico del humus producido, obteniendo que el valor de T3 (50% lodo + 50% residuos orgánicos+ 50 lombrices) fue el que más se acercó al rango establecido por la normativa mexicana para humus, los valores comprenden: pH (6.82), C.E. (3.52 dS/m), M.O. (46.9%), humedad (59.93%), N (1.76%). P (1.28%) y K (0.6%). (p. 62).

Castro (2016), caracterizó el lodo obteniendo 69 No/ 4g de huevos de helminto, por lo que evaluó tres tratamientos con distintas proporciones de lodo, compost, estiércol de vaca, estiércol de caballo y lombrices en cada tratamiento, los resultados fueron 14 No/ 4g, 11 No/ 4g y 9 No/ 4g. El autor, concluyó entonces, que la lombriz *Eisenia foetida* fue efectiva en la disminución de huevos de helminto y puede ser utilizado como abono (p. 70).

Bacilio (2016, p. 52), evaluó si el estiércol de bovino interviene en el lodo residual para la producción del bioabono. Los resultados señalaron que, sí existe influencia, de manera que el balance para la mejor tención de humus, fue 1400g de estiércol con 600 g de lodo seco y al 80% de humedad.

Los lodos residuales son sólidos aglomerados y separados de las aguas residuales, denominados subproducto de mayor relevancia por la gran cantidad en la que estos son producidos; estos contienen porcentajes de sustancias químicas, organismos patógenos y materia orgánica que afectan al suelo si no cuenta con algún tratamiento. Existen tratamientos mediante un proceso de deshidratación natural,

para eliminar las sustancias y organismos contaminantes que pueden existir en el lodo (Ortiz, 2017, p. 23).

La Agencia de Protección Ambiental (EPA, 1993), manifiesta que el lodo es el sólido, semisólido o líquido residual producido en medio del tratamiento de residuos domésticos, desarrollado en una planta de tratamiento. Estos contienen, espuma o sólidos retirados en los diferentes procesos y de material derivado de los lodos.

Según Limón (2013, p. 19), para el tratamiento de lodos residuales se deberá tener en cuenta en primer lugar el origen del lodo, al igual que las características físicas, químicas y microbiológicas que contiene; además, Ortiz, (2013, p.27) señala que se deberá tener en cuenta la conductividad eléctrica, porcentaje de humedad (físicas), pH, porcentaje de nitrógeno, materia orgánica, calcio, fósforo, potasio, relación C:N (químicas) y microorganismos patógenos, bacterias (biológicas).

El porcentaje de materia orgánica en el lodo es muy importante por la razón que ayuda en el mejoramiento de las propiedades del suelo, adicionalmente es un alimento requerido para los microorganismos que habitan en el suelo (Espinoza, 2007, p. 170).

Ortiz (2013, p. 30), señala que las características biológicas, son utilizados como indicadores de contaminación por lo que su presencia es numerosa y fácil de identificar con respecto a los organismos patógenos (bacterias, virus y parásitos). También menciona que la deshidratación y el secado de lodos disminuyen la humedad facilitando su aprovechamiento y disposición final como un semisólido.

El vermicompostaje es una técnica de producción de abono orgánico empleando a la especie, *Eisenia foetida*, utilizada para el reciclaje de residuos orgánicos biodegradables, por medio de su ingestión las lombrices facilitan la obtención de materia orgánica muy estable en un tiempo corto. Una técnica mayormente utilizada es la cría en cajones, es un manejo previo, debido a que las lombrices son puestas en cajones de madera, se separa una porción de lombrices en otro, el compost obtenido puede ser conservado en cajones que superen el 30 a 40 porcentaje de humedad (Díaz, 2002, p. 7).

El humus de lombriz es la sustancia obtenida del proceso digestivo y la excreción que las lombrices realizan al consumir materia orgánica principalmente. La dosis de comida que ingieren diariamente las lombrices es equivalente a su propio peso, el 60% es utilizado para su mantenimiento y reproducción y el 40% es transformado en humus (Avilés, 2011, p. 42). Además, su alta solubilidad, por la composición enzimática y bacteriana, otorga veloz asimilación por las raíces de las plantas; genera hormonas como el ácido indol acético y ácido giberélico, que incrementa el crecimiento y las funciones vitales de las plantas (García et al. 2005, p. 29).

La lombriz roja (*Eisenia foetida*) es un anélido hermafrodita de piel rojiza oscura, aplanada ligeramente con respiración cutánea, no posee ojos, pero sí células sensibles a la luz en el cuerpo, su dieta regularmente se basa en hongos (Díaz, 2002, p. 46). La anatomía de la lombriz roja, se muestra en la figura 2. Además, la clasificación taxonómica está conformada: Reino: Animal, División: *Anélidos*, Clase: *Clitelados*, Orden: *Oligoquetos*, Familia: *Lombrícidos*, Género: *Eisenia*, Especie: *foetida*.

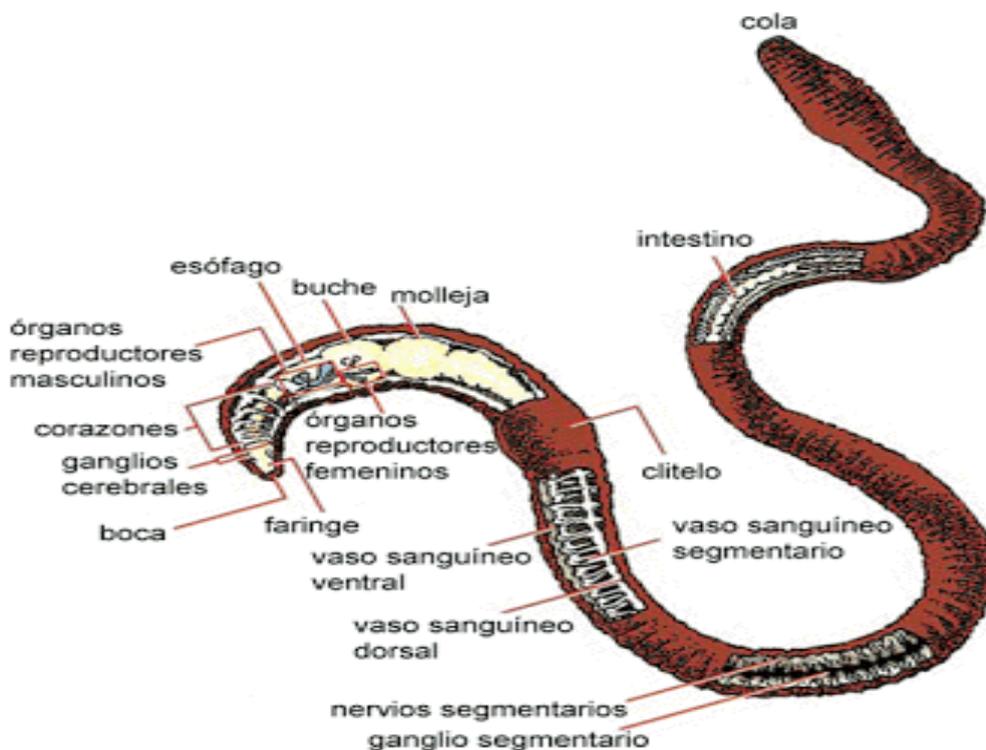


Figura 1: Anatomía de la lombriz Roja Californiana.

Fuente: Barbado, José. Cría de lombrices, 2003.

Pesa aproximadamente 1,4 g con 6 a 8 cm de largo. Suele residir en los primeros cincuenta centímetros del suelo, es muy sensible a los cambios de temperaturas. Los rayos ultravioletas pueden perjudicarla gravemente (fotofóbica), además del excesivo porcentaje de humedad, la acidez de su medio y la inadecuada alimentación (García et al., 2005, p. 32).

Existen numerosos experimentos con la *Eisenia foetida* en diferentes países del mundo, en distintas condiciones de clima y altitud, habitando en cautiverio sin huir de su lecho. Es muy prolifera, madura sexualmente entre el segundo y tercer mes de vida. Su población puede duplicarse cada 45-60 días y consume desechos orgánicos de la industria como variedad de desechos agropecuarios.

Los factores ambientales necesarios para el desarrollo de la lombriz *Eisenia foetida* deben considerarse:

Humedad: Debe ser óptima para la supervivencia en un rango de 70%, de lo contrario se provocaría la muerte de las lombrices, debido a que ellas succionan su alimento, y existir una reducida humedad, esta operación sería imposible (Labrador, 2001, p. 44).

Temperatura: Al verse expuestas a luz solar, las lombrices, intentan emigrar a un ambiente acondicionado para ellas, y en el transcurso mueren, es por ello que se debe conservar las camas a una temperatura entre 12 y 25 °C (Labrador, 2001, p. 46).

pH del sustrato: Tiene que mantenerse entre pH 5 (ácido) a pH 8,4 (alcalino), siendo el óptimo pH 7 (Castañeda, 2018, p.18).

Relación carbono/nitrógeno: Si es baja, se dan pérdidas de nitrógeno por volatilización de amoníaco, y si es elevado, el nitrógeno disminuye, alargando la composición. Se debe tratar que esta relación sea media, para que todos los nutrientes estén disponibles. La cual debe oscilar entre 20-25 partes de carbono por uno de nitrógeno (Labrador, 2001, p. 43).

En la Norma Oficial Mexicana de la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales del 2003, se señalan los parámetros y los estándares permitidos de contaminantes en lodos y biosólidos, aprovechamiento de biosólidos y LMPs para patógenos y parásitos en lodos y biosólidos se detallan en los anexos 3, 4 y 5 respectivamente.

El rango de valores de los parámetros agronómicos de un vermicompostaje se detalla en el Real Decreto 824/ 2005, del Boletín Oficial del Estado Español y en la Norma mexicana para humus NMX-FF-109-SCFI-2008, la calidad que debe cumplir el humus de lombriz, se observa en el anexo 6.

Los Gobiernos deben proponer alternativas de tratamiento de residuos orgánicos, de tal manera que se pueda reducir el porcentaje de estos para la disposición final. Así mismo, promover tecnologías limpias relacionados con el aprovechamiento de residuos en la generación de energía, estas deberán contar con sustento técnico previo su implementación.

2.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación.

Es de tipo aplicada, según Rísquez y Col (2002, p. 22), este tipo de investigación se basará en la experiencia y en la observación de los hechos. Se distingue por realizar la búsqueda de la aplicación o utilización de los conocimientos que se obtienen.

Diseño de investigación.

Es no experimental descriptivo – explicativo, en esta investigación se recolectó información sobre las variables de la investigación sin modificarlas, observando cómo se desarrollan los acontecimientos, cómo se desarrollan en su estado natural, con el objetivo de describir variables y analizar su relación de unas sobre otras en un mismo momento.

2.2. Variable y operacionalización

Variable independiente.

Vermicompostaje con *Eisenia foetida*.

Variable dependiente.

Tratamiento de lodos provenientes de PTAR.

2.3. Población, muestra y muestreo

Población: Está comprendida por los lodos residuales desechados de las PTAR, se incluyen los lodos deshidratados del lecho de secado, más no los lodos deshidratados provenientes del proceso de centrifugación ni los expuestos a un tiempo menor a 30 días o mayor a 45 días.

Muestra: La muestra es de un peso de 40 kg. de lodos residual.

Muestreo: No probabilístico por conveniencia.

2.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Se utilizó como técnica la observación indirecta y la revisión bibliográfica. Esta técnica se utilizó para comparar la calidad del vermicompostaje a partir de lodos residuales, con similares investigaciones. Se utilizaron fichas técnicas de recolección, así como ficha de registros de artículos, tesis y revistas científicas.

2.5. Procedimientos

El vermicompostaje ha sido considerado como una técnica eficiente para el tratamiento de desechos orgánicos, acelera la estabilización de las materias orgánicas (Yadav y Garg, 2011, p. 54).

Recolección de lodos

Se toma de la PTAR, con los equipos de protección y recipientes adecuados. Para la elección del lugar de la experimentación se debe de tener una infraestructura abierta que cuente con acceso al agua, personal constante para el monitoreo de los lechos o camas y demás condiciones

óptimas que demande el mejor crecimiento de reproducción de la especie.

Caracterización de lodo residual

Según Castañeda, (2018), la caracterización de la muestra de lodo se dejó secar naturalmente. Luego de obtener un lodo de reducida humedad, se procede a medir sus características químicas, físicas y biológicas. Por otro lado, Ortiz, (2017) llevó los lodos a la cámara de secado para su deshidratación para luego caracterizar (física, química y microbiológica) según las normas que identifican la calidad.

Elaboración de la pre composta

Se deberán fermentar los residuos orgánicos por 4 semanas en promedio, a ello, se le adiciona hojas secas, tierra y agua. En esta etapa se fermentan los residuos y donde interviene la actividad microbiana. En las primeras semanas se controla la temperatura, lo cual indicará si existe alta actividad microbiológica, los cuales descomponen la materia orgánica (Castañeda, 2018, p.30).

Elaboración de humus

Castañeda, (2018), preparó mezclas que contenían proporciones de 50% lodo, 50% residuos orgánicos y lombrices de *Eisenia foetida*. Todas deben tener una base de aserrín para conservar la humedad, se adiciona agua para obtener la humedad deseada y se colocan las lombrices distribuidas uniformemente en las camas.

Análisis de la calidad del bioabono

Se debe de tomar 1 kg de muestra de cada uno de los ensayos, los mismos se deben almacenar a 4 °C así como identificar cada una de las muestras con data específica (Ortiz, 2017, p.51).

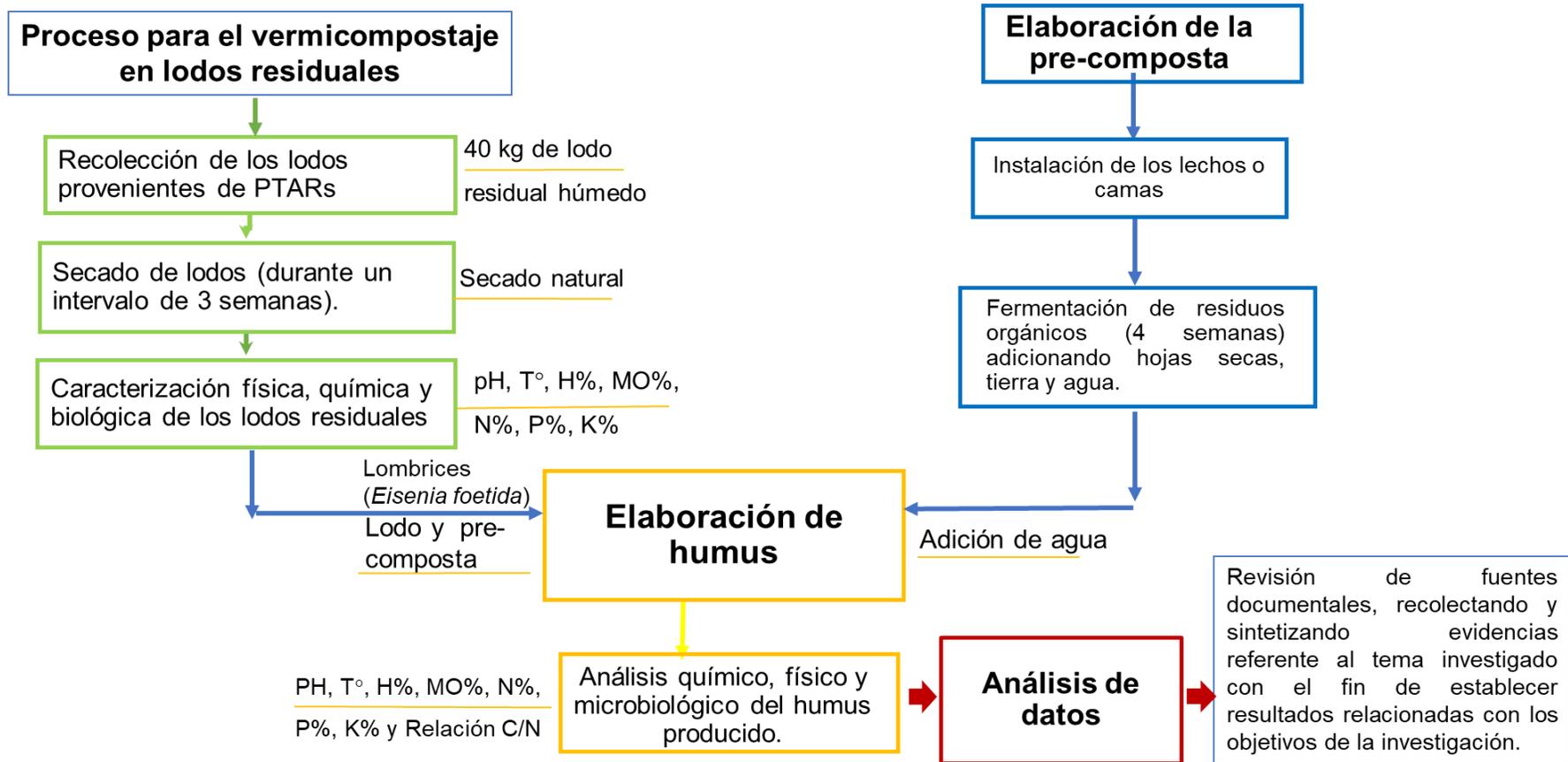


Figura 2: Diagrama de flujo del proceso de vermicompostaje (*Eisenia foetida*) en lodos residuales.

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica.

2.6. Método de análisis de datos

Se tuvo como objetivo la revisión de fuentes documentales, habiendo recolectado, evaluado y sintetizado evidencias del tema investigado, con el propósito de instaurar conclusiones referentes con los objetivos del estudio realizado. Se buscó especificar las características del proceso que será sometido a análisis, evaluando los aspectos, dimensiones o componentes del estudio, en este se seleccionaron y midieron cada uno de ellos independientemente para describir lo que se investigó (Hernández y Col, 2006, p. 74).

Los resultados se clasificaron e interpretaron según la ficha de recolección de datos teniendo en cuenta los criterios de la operacionalización de variables, estos se desarrollaron en el software Excel Professional Plus 2016.

2.7. Aspectos éticos

En todo el desarrollo del estudio se respetó la propiedad intelectual, derechos de autor, principios éticos del profesional, lineamientos y protocolos dispuestos por la Universidad César Vallejo. Además de la veracidad de la información encontrada en tesis y/o artículos obtenidos de bases de datos reconocidas.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Descripción de las características fisicoquímicas y biológicas de los lodos residuales.

Un número sustancial de estudios han evaluado las características fisicoquímicas y biológicas de los lodos para su posterior utilización en el proceso del vermicompostaje teniendo como agente a la *Eisenia foetida*. En la investigación se tomaron como referencias los datos de diferentes investigaciones, habiendo comparado las características halladas por los diferentes autores y así determinar el nivel de toxicidad de los lodos.

Tabla 1. Características fisicoquímicas de los lodos residuales.

Autor	pH	Humedad (%)	C.E. (mS/cm)	M.O (%)	Relación C:N	N (%)	P (%)	K (%)
Boruszko, 2020	5.07	-	-	21.3	-	0.98	0.21	-
Avilés, 2011	7.70	55	4.5	15.30	-	4.52	2.29	0.89
Ortiz, 2017	6.31	60.53	3.27	7.12	1.87	0.51	14.3	0.21
Castañeda, 2018	5.72	85.73	11.8	24.93	-	3.02	2.8	0.36
Llumiquinga & Parra, 2018	6.32	81.35	0.4	74.54	52.73	0.82	0.16	0.01
Marquina & Martínez, 2016	8.4	72.3	0.623	-	-	4.58	1.4	7.85
Gonzales, 2017	8.58	-	0.96	20.7	72.8	0,16	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica.

En la tabla 1, observamos las características fisicoquímicas del lodo según los diferentes autores, Boruszko (2020) obtuvo un 21.3% de materia orgánica, seguido de Avilés (2011) con un 15.30%, porcentajes similares señalaron Castañeda (2018) y Gonzales (2017) obteniendo 24.93% y 20.7 % respectivamente. Un porcentaje menor fue el de Ortiz (2017) con 7.12%. En base a los datos descritos se señala a continuación que el mayor porcentaje de materia orgánica fue obtenido por Llumiquinga & Parra (2018) con 74.54%.

Tabla 2. *Características biológicas de los lodos residuales.*

Autor	Coliformes totales (NMP/g)	Coliformes fecales (NMP/g)	E. Coli (NMP/g)
Avilés, 2011	-	17600	-
Ortiz, 2017	61 216	129 252	-
Castañeda, 2018	1 100	1100	1100

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica.

En la tabla 2, se detallan las características biológicas del lodo según los diferentes autores, Avilés, (2011) tuvo como resultado del nivel de concentración de coliformes totales, 17600 NMP/g mientras que Castañeda, (2018) asumió valores de 1100 NMP/g. No obstante, el mayor nivel de coliformes fecales en lodos fue el de Ortiz, (2017) con 129 252 NMP/g. Siendo estos valores, aceptables para el vermicompostaje.

3.2. Describir los factores ambientales óptimos para la *Eisenia foetida* en el tratamiento de lodos residuales.

Dentro de las investigaciones revisadas, los autores consideraron diferentes factores ambientales que influyeron en el desarrollo y reproducción de la *Eisenia foetida* y así lograr óptimos resultados en el proceso del vermicompostaje, entre los cuales se detallan pH, humedad (%), temperatura (°C) y conductividad eléctrica (mS/cm).

Materia orgánica:

Es el componente que influye en el desarrollo del *Eisenia foetida* ya que es el alimento esencial en su nutrición, la sobrevivencia va a depender del porcentaje de materia orgánica presente en el medio, es así que se puede considerar como óptimo o adecuado a porcentajes mayores de 6%. Ortiz (2017).

pH:

Según Avilés (2011), Castañeda (2018) argumentaron que la mezcla debe de mantenerse en un pH 7, que corresponde a un nivel neutro siendo este el óptimo, el cual es el nivel adecuado para el desarrollo y reproducción de la *Eisenia foetida*.

Humedad:

Avilés (2011), Castañeda (2018) y Barbado (2003) señalaron que la humedad óptima para el crecimiento de la *Eisenia foetida* fue de 70%. Sin embargo, el porcentaje de humedad según González (2005) fue de 51.99 %, el cual fue clasificado como aceptable, en un estudio similar, Martínez y García (2005) sostienen que la humedad debe de mantenerse en un rango promedio de 40%.

Conductividad eléctrica:

Se establece un valor igual a 3.27 mS/cm considerado como ligeramente salino, favorable para el crecimiento de la lombriz *Eisenia foetida* (Ortiz y Hernández, 1994).

Temperatura:

Castañeda (2018), Romero (2008) y Barbado (2003) sostienen que lombrices consiguen el óptimo crecimiento y pueden desarrollarse adecuadamente en temperaturas comprendidas entre 12° C y 25 °C. Así mismo, Avilés (2011) considera que la temperatura más adecuada para la supervivencia de la especie es de 23°C.

3.3. Definir la dosis óptima de lodos activados y residuos orgánicos para la producción de humus de calidad.

Se debe tener en cuenta una dosis óptima que asegure la obtención de un subproducto que cumpla con las normas que lo califiquen como apto para ser utilizado en diferentes cultivos. Para la cual se consideran concentraciones de otros sustratos como son el estiércol, hierbas verdes y aserrín.

Tabla 3. *Dosis óptima de lodos y residuos para el vermicompostaje.*

Autor	Dosis Óptimas		
	Lodo	Residuos orgánicos	Estiércol
Xing, et al. 2018	40%	-	60%
Avilés, 2011	33%	33%	33%
Ortiz, 2017	30%	70%	-
Castañeda, 2018	50%	50%	-

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica.

En la tabla 3, observamos las dosis óptimas de lodos y residuos orgánicos para el vermicompostaje según los autores Xing et al. (2018) utilizó en su mezcla 40% y 60% de estiércol, Avilés, (2011) por su parte empleó un porcentaje igual (33%) para los componentes de la mezcla incluyendo lodo, residuos orgánicos y estiércol.

Ortiz, (2017), utilizó mayor cantidad de residuos orgánicos que de lodo, optando por 70% y 30% respectivamente. Finalmente, Castañeda (2018) mezcló con una dosis igual de 50% para lodo y residuos orgánicos.

3.4. Parámetros de calidad de abono orgánico producido a partir del vermicompostaje con *Eisenia foetida*.

Se compararon los resultados de los principales parámetros del humus de lombriz producido en cada investigación, para establecer el autor que más se acerca a los estándares de calidad propuestos por el Real Decreto 824, Productos Fertilizantes. (2005).

Tabla 4. *Parámetros de calidad del humus.*

Autor	pH	Humedad (%)	C.E. (mS/cm)	M.O (%)	Relación C:N	N (%)	P (%)	K (%)
Xing et al. (2018)	5.9	-	-	-	12.09	-	1.4	-
Boruszko, (2020)	7.02	-	-	59.0	-	3.11	1.45	-
Avilés, (2011)	7.25	20.50	6.99	35.30	-	2.53	4.80	10.5
Ortiz (2017)	6.98	61.29	3.50	74.0	1.9	0.39	3.01	0.38
Castañeda, (2018)	6.79	59.9	3.53	46.87	-	1.75	1.35	0.61
Llumiquinga & Parra (2018)	7.55	-	-	-	7.86	1,27	1,96	2,73
Gonzales, 2017	7,79	-	0,55	8,4%	21,4	0,22	-	-

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica.

En la tabla 4, se han plasmado los resultados generados por los autores, el porcentaje de materia orgánica ha incrementaron significativamente en todos los casos como Boruszko (2020) Avilés (2011), Ortiz, (2017) y Castañeda (2018) aumentaron a 59%, 35.30% 74% y 46.87% respectivamente, con excepción de Gonzales (2017) que con un nivel de 8.4% es el menor en relación a sus similares. Mientras que Ortiz, (2017) obtuvo el mayor nivel en este parámetro.

Tabla 5. Comparación de parámetros de los resultados con los estándares de calidad.

Autor	C.E. (mS/cm)	pH	Humedad (%)	M.O (%)	N (%)	K (%)
Real Decreto 824/2005, Productos fertilizantes (2005)	≤ 4	7-8.5	35-40	35-45	0.5-2.6	0.4-1.2
Ortiz (2017)	3.50	6.98	61.29	74	0.39	0.38
Castañeda, (2018)	3.53	6.79	59.9	46.87	1.75	0.61

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica.

En la tabla 5, se ha realizado una comparación de los resultados con los 2 autores que se asemejan más a los estándares de calidad del Real Decreto 824/2005, Productos Fertilizantes (2005), de la cual se puede deducir que Castañeda, (2018) obtuvo los mejores resultados respecto a los parámetros de (mS/cm), pH, humedad (%), materia orgánica (%). nitrógeno (%) y fósforo (%). Mientras que Ortiz (2017) solo cumple con conductividad eléctrica, pH y materia orgánica.

Las investigaciones sobre la calidad del vermicompost del lodo de aguas residuales que se ha llevado a cabo durante varios años, son de gran importancia para el campo agrícola, la población inicial de la *Eisenia foetida*, lombriz de tierra, que se inocularon para el vermicompost, cambia significativamente la composición y las propiedades de los lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, por ende, los resultados de la investigación sobre el vermicompost permiten clasificarlo como fertilizante orgánico – mineral, sosteniendo así que la aplicación de poblaciones concentradas de lombrices de tierra en el procesamiento de lodos de aguas residuales municipales en vermicompost de buena calidad puede desempeñar un papel importante en el reciclaje de lodos en el medio ambiente.

La presente investigación buscó describir la efectividad del vermicompostaje con *Eisenia foetida* en el tratamiento de lodos residuales provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales, mediante una revisión bibliográfica de investigaciones anteriormente realizadas, en las cuales los autores tomaron una serie de análisis de sus procesos, obteniendo variedad de resultados las cuales nos llevan al debate e interpretación de los datos.

Dentro de las características fisicoquímicas de los lodos residuales, los autores: Boruszko (2020), Avilés (2011), Castañeda (2018) y Gonzales (2017) obtuvieron porcentajes similares de materia orgánica, a diferencia de Llumiquinga & Parra (2018) en sus análisis obtuvo un 74.54% de materia orgánica puesto que el origen de sus lodos fue un camal municipal, del cual se comenta la generación de alto contenido de residuos orgánicos por esta fuente, el porcentaje de materia orgánica es, en gran medida, un criterio de supervivencia de la lombriz, ya que esta consume en su mayoría, materia orgánica; sin embargo, una gran cantidad de residuos orgánicos por encima del ideal, ralentizaría el proceso.

Así mismo, con referencia a las características biológicas del lodo, Avilés (2011), Castañeda (2018) y Ortiz (2017) cumplen con los límites máximo permisibles (LMP) para la categoría C, uso agrícola y mejoramiento de suelos, teniendo como resultados 17600 NMP/g, 1100 NMP/g y 129 252 NMP/g respectivamente, no obstante, para las categorías A y B, empleos urbanos con contacto directo durante su utilización y empleos urbanos sin contacto directo durante su utilización, respectivamente, ninguno de los autores revisados cumple con dichos parámetros para el aprovechamiento de lodos según la Norma Oficial Mexicana 004, SEMARNAT (2002).

Todos los autores coinciden con los factores ambientales óptimos para la supervivencia *Eisenia foetida* como son temperatura (T°), pH, conductividad eléctrica (C.E) y materia orgánica (M.O), sin embargo, en el factor de humedad existen diferencias en los resultados, Avilés (2011), Castañeda (2018) y Barbado (2003) señalaron que la humedad óptima para el crecimiento de la *Eisenia foetida* fue de 70% facilitando su alimentación y desplazamiento. A diferencia de González (2005) que obtuvo 51.99% de humedad el cual, lo denota como aceptable, en un estudio similar, Martínez y García (2005) sostienen que la humedad debe de mantenerse en un rango promedio de 40% para evitar la degradación de sus propiedades.

Asimismo, Avilés (2011), Castañeda (2018) y Barbado (2003) comprobaron que para un crecimiento óptimo y buen desarrollo de las lombrices debe estar oscilando en temperaturas de 12 a 25°C, además debe estar a una humedad del 70% y un pH óptimo de 7, que facilite su desplazamiento y su alimentación, aspectos que han sido considerados en monitoreos permanentes anteriormente. Por otro lado, los factores ambientales como temperatura, humedad, densidad, el número de lombrices y la disponibilidad de alimento que básicamente es materia orgánica en descomposición, dependerán de la sobrevivencia y desarrollo de la lombriz.

Xing et al. (2018) para la elaboración del humus, utilizó en su mezcla porcentajes variables entre 40% y 60% de estiércol, de la cual se obtuvieron resultados muy alejados del Real Decreto 824/2005, Productos Fertilizantes (2005), el cual mide los estándares de calidad de humus producidos de lombriz.

Avilés, (2011) por su parte empleó un porcentaje igual (33%) para los componentes de la mezcla. Ortiz, (2017), utilizó mayor cantidad de residuos orgánicos que de lodo, optando por 70% y 30% respectivamente. A diferencia de Castañeda (2018) mezcló una dosis igual a 50% de lodo y 50% de residuos orgánicos, además de agregarle un porcentaje de aserrín en la base de las camas con el objetivo de regular la humedad. Siendo así está la dosis la más óptima para el vermicompostaje, debido al empleo de mayor cantidad de lodo y obtención de mejores resultados.

La tabla 5 señala la comparación de parámetros de los resultados con los estándares de calidad según la norma Real Decreto 824/2005, Productos Fertilizantes, 2005 (Anexo 5), donde se establece que el pH este entre 5.5 y 8.5 y la Conductividad eléctrica entre $\leq 4\text{dS/m}$, y para su aprovechamiento de biosólidos de tipo C según la norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, ver anexo 4.

Asimismo, la excesiva cantidad de materia orgánica concuerda con las investigaciones que realizaron Boruszko (2020) Avilés (2011), Ortiz, (2017) y Castañeda (2018) quienes concluyen que el valor de M.O para su humus resultante debe establecerse entre 70-80%.

Así mismo, en la tabla 4 se observa el análisis físico-químico del humus, que comparado los distintos autores sobre el análisis inicial del lodo (ver tabla 1) tuvo un aumento considerable para el porcentaje de materia orgánica y nutrientes disponibles para las plantas, en vista de ello, puede establecerse que el humus producido será un excelente mejorador de suelo.

Finalmente, el humus de lombriz elaborados por Castañeda, (2018) y Ortiz, (2017) ha cumplido con la mayoría de los parámetros establecidos por el Real Decreto 824, productos fertilizantes (2005) como son los factores ambientales para la *Eisenia foetida* y la dosis más adecuada, a diferencia de Boruszko (2020), Avilés (2011) y Gonzales (2017) que con sus resultados se alejaron y no cumplieron con las normas establecidas para ser catalogadas por ser un humus de lombriz de buena calidad.

IV. CONCLUSIONES

1. El uso del vermicompostaje con *Eisenia foetida* para la gestión de lodos de plantas de tratamiento, es una tecnología viable, la efectividad va a depender de la previa aplicación de otros sustratos o procedimientos adicionales que permitan llegar a los LMP para la aplicación al suelo.
2. Los análisis iniciales que los autores han realizado han contribuido con el propósito de identificar las características físico químicas y biológicas de los lodos a trabajar para poder proceder a la realización del vermicompostaje y de esta manera enmarcarse a cumplir con los parámetros establecidos como aceptables.
3. Los factores ambientales que influyen para el desarrollo de la *Eisenia foetida* en el proceso del vermicompostaje son de vital importancia, así como la temperatura 23°C, pH de 7, humedad 70%, conductividad eléctrica 3.27 mS/cm y materia orgánica 45%, dosis óptimas para este proceso.
4. Se planteó la dosis óptima para el vermicompostaje considerando que los resultados obtenidos de las diferentes investigaciones, se asemejen más a los parámetros establecidos por Real Decreto 824/2005, Productos Fertilizantes (2005), y la utilización de mayor cantidad de lodo. Siendo así, 50% de lodo y 50% de residuos orgánicos, la dosis la más óptima para el vermicompostaje, además de la adición de aserrín en la base de las camas para la regulación de humedad.
5. Los parámetros fisicoquímicos evaluados en el vermicompostaje como la disminución del porcentaje de humedad, el incremento de porcentaje de M.O., incremento de porcentaje de compuestos químicos y un pH óptimo de 7, permitieron establecer que el humus es un excelente mejorador de suelo, estos deben obedecer a los parámetros señalados en las normativas referenciadas.

V. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda realizar investigaciones experimentales en base a las dosis óptimas descritas en la investigación para su corroboración y así mismo probar con otras dosis.
2. Realizar investigaciones que detallen la conducta de los metales pesados en los lodos al incorporar al vermicompostaje, adicionalmente evaluar el rendimiento de las plantas y añadirles el humus obtenido.
3. Realizar un proceso de estabilización de microorganismos, previo a ejecutar el vermicompostaje. sin que los compuestos presentes en el lodo residual se vean alterados.
4. Difundir el tratamiento con vermicompostaje a un rango real puesto que además de tratar el lodo residual, produce un biofertilizante que mejora la capacidad productiva del suelo, previene la erosión, colabora a la nutrición de plántulas y su rendimiento, además de ser un nuevo ingreso económico.

REFERENCIAS

ABBAS, Biabani; [et al]. Eficiencia de reproducción de *Eisenia foetida* y cambios de sustrato durante la vermicompostaje de materiales orgánicos, *Compost Science & Utilization* [en línea]. 2018, vol. 26, n.º3. [Consultado: 20 de julio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/1065657X.2018.1463877>.

AIRA, Manuel y DOMÍNGUEZ, Jorge. Las lombrices de tierra y los microorganismos: desentrañando la caja negra del vermicompostaje. *Acta zoológica mexicana* [en línea]. 2010, vol. 26, n.º2. [Consultado: 20 de julio de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=s0065-17372010000500029. ISSN: 2448-8445.

ALI, Usman. [et al.] A review on vermicomposting of organic wastes. *Environmental Progress & Sustainable Energy* [en línea]. 2015, vol. 34, n.º4, p. 1050–1062. [Consultado: 20 de julio de 2020]. Disponible en <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=108498408&lang=es&site=ehost-live>.

AVILÉS, Estefanía. Determinación de la efectividad del proceso de lombricultura como tratamiento para la estabilización de lodos residuales provenientes de una planta de tratamiento de aguas. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental), Universidad Politécnica Salesiana, Cuenca, 2011. Disponible en: <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/1511/14/UPS-CT002101.pdf>.

BACILO, Leyli. Influencia del lodo seco PTAR Covicorti - Trujillo en estiércol bovino para la obtención de humus orgánico, usando Lombriz Roja Californiana. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental) Universidad César Vallejo Lima, 2016. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/6599>.

BANSAL, Sudha y KAPOOR, K. Vermicompostaje de residuos de cultivos y estiércol de ganado con *Eisenia foetida*. *Tecnología Bioresource* [en línea]. 2000, vol. 73, n.º2. [Consultado: 22 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096085249900173X>.

BARBADO, José. Cría de Lombrices: Lombricultura. *Journal of the Selva Andina Research Society* [en línea]. 2011, vol. 2, n.º2. [Consultado: 19 de junio de 2020]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3613/361333624004.pdf>. ISSN: 2072-9294.

BENITEZ, Edwar, [et al.]. Actividades enzimáticas como indicadores de la estabilización de los lodos de aguas residuales compostando con *Eisenia foetida*. *Tecnología Bioresource* [en línea]. 1999, vol. 67, n.º3. [Consultado: 25 julio 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852498001175#>.

BORUSZKO, Dariusz. Vermicomposting as an Alternative Method of Sludge Treatment, *Journal of Ecological Engineering* [en línea]. 2020, vol. 21, n.º2. [Consultado 19 junio 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.12911/22998993/116352>.

CANALES, A. [et al.] Crianza de *Eisenia foetida* (lombriz roja) en diferentes sustratos de desarrollo biológico. *Ecología Aplicada* [en línea]. vol. 19, n. 2, 2020. [Consultado 19 junio 2020]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=147708518&lang=es&site=ehost-live>.

CASTAÑEDA, Wendy. Uso de la Lombriz Roja (*Eisenia Foetida*) en lodos activados de la PTAR "San Antonio de Carapongo" y residuos orgánicos para la producción de humus-Lima 2018. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental) Universidad César Vallejo Lima, 2018. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/34590>.

CASTRO, Sharol. Vermicompostaje utilizando *Eisenia Foetida* y bioabonos para la reducción de Huevos de Helminto de lodos residuales - planta de tratamiento CITRAR 2016. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2016. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/883>.

DAS, Daniel., [et al.]. Bioconversión y biodinámica de *Eisenia foetida* en diferentes residuos orgánicos a través de tecnologías de vermicompostaje microbianas enriquecidas. *Ingeniería Ecológica* [en línea]. 2016, vol. 86. n.º2. [Consultado: 18 julio 2020]. Disponible en <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925857415302743>.

DE FERRARI, Luis. Evaluación del vermicompostaje como tratamiento de lodos provenientes de industria de celulosa. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental). Universidad Andrés Bello. 2017. Disponible en: <http://suelosustentable.cl/wp-content/uploads/2017/10/TESIS-final-Luis-DeFerrari.pdf>.

DÍAZ, Eduardo. Guía de Lombricultura. Lombricultura una alternativa de producción. *Agencia de Desarrollo Económico y Comercio Exterior*. Municipio de La Rioja. Argentina. [En línea] 2002. [Consultado: 7 de junio de 2020.] Disponible en: <http://www.biblioteca.org.ar/libros/88761.pdf>.

DOMÍNGUEZ, Jorge; GÓMEZ, María; y LAZCANO, Cristina. Propiedades bioplaguicidas del vermicompost. *Acta zoológica mexicana* [en línea]. 2010, vol. 26, n.º2. [Consultado: 20 de julio de 2020]. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0065-17372010000500028 ISSN: 2448-8445.

DURAN, Lolita y HENRIQUEZ, Carlos. Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. *Agronomía Costarricense* [en línea]. 2009, vol. 33, n.º2, [Consultado: 20 de julio de 2020]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=58624281&lang=es&site=ehost-live>.

GALLEGOS, Paola y SEGURA, Andrea. Uso de *Eisenia foetida* (oligoquetos: *lumbricidae*) para la producción de bioabono, *RIAA* [en línea]. 2019, vol. 10, n.º2. [Consultado: 19 de julio de 2020]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6966532>.

GARCÍA, E.; GARCÍA, O. y RUIZ, A. Uso de la lombricultura. Aplicación en el tratamiento de lodos de plantas depuradoras. *Rev. Transporte, Desarrollo y Medio Ambiente* [en línea]. 2005, vol. 25, n.º 1. [Consultado: 19 julio 2020].

GARCÍA, Mary, [et al.]. Obtención de humus y lombrices de tierra (*Eisenia foetida*) a partir de residuales porcinos y desechos de la industria azucarera. *Rev. Comp. Prod. Porc.* [en línea]. 1996, vol. 3, n.º7. [Consultado: 25 julio 2020]. Disponible en: <http://www.iip.co.cu/RCPP/31/Art%C3%ADculo%201.pdf>.

GARG, Payal; GUPTA, Asha; y SATYA, Santosh. Vermicomposting de diferentes tipos de residuos utilizando *Eisenia foetida*: Un estudio comparativo. *Tecnología Bioresource* [en línea]. 2006, vol. 97, n.º3. [Consultado: 22 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852405001707>.

GUZMÁN, Tania María; PÉREZ, Olga. y VALDÉS, Oderlaise. Biodegradación de residuos sólidos urbanos utilizando cultivos microbianos y biofiltro estático de *Eisenia foétida*. *Tecnología Química* [en línea]. 2020. vol. 40, n.º 1. [Consultado: 20 de junio de 2020]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=144787984&lang=es&site=ehost-live>.

HARTENSTEIN, Roy; NEUHAUSER, Edward y KAPLAN, David. Potencial reproductivo de la lombriz de tierra *Eisenia foetida*. *Oecologia* [en línea]. 1979, vol. 43, n.º3. [Consultado: 25 julio 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007%2FBF00344959>.

HERRERA, Lizbeth; Eficiencia en la producción de carbón activado por pirolisis a partir de lodos provenientes de la planta de tratamiento de aguas residuales, Carapongo. Tesis (Título de Ingeniería Ambiental). Lima: Universidad César Vallejo, 2018. Disponible en: <http://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/37910>.

KAPLAN, David, [et al.]. Requisitos fisicoquímicos en el medio ambiente de la lombriz de tierra *Eisenia foetida*. *Biología del Suelo y Bioquímica*, [en línea]. 1980,

vol. 12, n.º4. [Consultado: 20 de julio de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S038071780900085>.

LLUMIQUINGA, Yesenia y PARRA, Flavio; Estudio piloto para la estabilización de lodos generados en la planta de tratamiento de aguas residuales del camal metropolitano de Quito mediante vermicompostaje. 2018. Tesis (Título de Ingeniería Civil y Ambiental). Quito, 2018. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/19402>.

LÓPEZ, Carlos, [et al.]. Influencia de diferentes sustratos orgánicos en la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Tecnociencia Chihuahua* [en línea]. 2013, vol. 7, n.º2. [Consultado: 25 julio 2020]. Disponible en: <https://vocero.uach.mx/index.php/tecnociencia/article/view/662>

LOH, T.C., et al. Vermicompostaje de estiércol de ganado y cabra por *Eisenia foetida* y su rendimiento de crecimiento y reproducción. *Tecnología Bioresource* [en línea]. 2005, vol. 96, n.º1. [Consultado: 25 julio 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852404000938>

LUGO, Jorge, [et al.] Abono orgánico elaborado con lodo residual y estiércol equino a través de vermicomposteo: una propuesta como mejorador de suelos. *Revista internacional de contaminación ambiental*. [en línea]. 2017, vol. 33, n.º3. [Consultado: 19 julio 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.20937/rica.2017.33.03.10>. ISSN: 0188-4999.

LV, Baoyi; XING, Meiyang; YANG, Jian. Exploring the effects of earthworms on bacterial profiles during vermicomposting process of sewage sludge and cattle dung with high-throughput sequencing, *Investigación en ciencias ambientales y contaminación* [en línea]. 2018, vol. 25, n.º13. [Consultado: 19 julio 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1520-6>.

MUNIRAJ, S. [et al.] Effective Utilization of Fly Ash for Vermicompost Production by Employing *Eisenia foetida*. *Nature Environment & Pollution Technology* [en línea]. 2020, vol. 19, n.º 2. [Consultado: 19 de julio de 2020]. Disponible en

[http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=143642564&lang=es&site=ehost-live.](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=143642564&lang=es&site=ehost-live)

MUPAMBWA, Hupenyu Allan y MNKENI, Pearson. Optimizing the vermicomposting of organic wastes amended with inorganic materials for production of nutrient-rich organic fertilizers: a review. *Environmental Science & Pollution Research* [en línea]. 2018, vol. 25, n.º 11. [Consultado: 19 de julio de 2020]. Disponible en [http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=129021348&lang=es&site=ehost-live.](http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=129021348&lang=es&site=ehost-live)

NEUHAUSER, Edward; HARTENSTEIN, Roy y KAPLAN, David. Crecimiento de la lombriz de tierra *Eisenia foetida* en relación con la densidad de población y el racionamiento de alimentos. *Oikos* [en línea]. 1980. [Consultado: 19 de julio de 2020]. Disponible en: [https://www.jstor.org/stable/3544730?seq=1.](https://www.jstor.org/stable/3544730?seq=1)

Organismo De Evaluación y Fiscalización Ambiental. Fiscalización ambiental en residuos sólidos. Ciclo de manejo de residuos sólidos municipales [en línea]. 2014, vol. 19. [Consultado: 19 de julio de 2020]. Disponible: [https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471.](https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=6471)

ORTIZ, Lisseth. Obtención de bioabono a partir de lodo residual procedente de una planta de tratamiento de aguas residuales domésticas. Tesis (Título de Biotecnología Ambiental). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, 2017. Disponible: [http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7010.](http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/7010)

PABÓN, Sandra y GÉLVEZ John. Arranque y operación a escala real de un sistema de tratamiento de lodos activos para aguas residuales de matadero. *Ingeniería e Investigación* [en línea]. Agosto de 2009, vol. 29, n.º2. [Consultado: 18 de julio de 2020]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/img/revistas/iei/v29n2/v29n2a08.pdf.](http://www.scielo.org.co/img/revistas/iei/v29n2/v29n2a08.pdf)

POMA, Deybi; VERA, Gisela; y JUSTO, Edgar. Eficiencia de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) en el tratamiento de aguas residuales domésticas. *Revista ciencia y tecnología-Para el Desarrollo-UJCM* [en línea], 2019, vol. 4.

[Consultado: 25 de julio de 2020]. Disponible en: <https://revistas.ujcm.edu.pe/index.php/rctd/article/view/115>.

QUIROGA, Julián y LÓPEZ, Fabio. Tratamiento de aguas residuales mediante lodos activados a escala laboratorio. *Journal of Technology* [en línea]. Diciembre de 2008, vol. 7, n.º2. [Consultado: 18 de julio de 2020]. Disponible en: https://www.sistemamid.com/panel/uploads/biblioteca/2017-01-27_02-59-21139703.pdf. ISSN:1692-1399.

RAMNARAIN, Yvonne; ANSARI, Abdullah y ORI, Lydia. Vermicompostaje de diferentes materiales orgánicos utilizando la lombriz epigética *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* [en línea]. 2019, vol. 8, n.º1. [Consultado: 23 de julio de 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s40093-018-0225-7>.

RAVINDRAN, Balaraman, [et al.]. Vermicompostaje de residuos sólidos generados por industrias del cuero utilizando lombriz de tierra epigética *Eisenia foetida*. *Bioquímica aplicada y biotecnología* [en línea]. 2008, vol. 151, n.º2-3. [Consultado: 23 de julio de 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12010-008-8222-3>.

ROMANO, C. O. R. [et al.]. Evaluación de sustratos para la producción de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*). *Revista Centro Agrícola* [en línea]. 2018 vol. 45, n.º 4. [Consultado: 15 de junio de 2020]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=133148341&lang=es&site=ehost-live>.

ROMERO, Jairo. Tratamiento de Aguas Residuales, Tercera Edición, Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería [en línea]. p. 108-218. Colombia, 2004. [Consultado 19 de junio de 2020]. ISSN: 978-958-8060-83-5.

SAURABH, Chandra, [et al.]. Potencial de *Eisenia foetida* para la vermicompostaje sostenible y eficiente de cenizas volantes. *Contaminación del agua, el aire y el suelo* [en línea]. 2005, vol. 163, n.º1-4. [Consultado: 23 de julio de 2020]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11270-005-0722-y>.

SOSNECKA, Aleksandra.; KACPRZAK, Malgorzata y RORAT, Agnieszka. Vermicomposting as an Alternative Way of Biodegradable Waste Management for Small Municipalities. *Journal of Ecological Engineering* [en línea]. 2016. vol. 17, n.º 3. [Consultado: 23 de julio de 2020]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=142174159&lang=es&site=ehost-live>.

TOCCALINO, Poulet, [et al.]. Comportamiento reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) según estación del año y tipo de alimentación. *Revista Veterinaria* [en línea]. 2004, vol. 15, n.º2, [Consultado: 20 de julio de 2020]. Disponible en: <https://revistas.unne.edu.ar/index.php/vet/article/download/2002/1749>.

VILCHEZ, Eneida y NUÑEZ, Eneida. Efecto de residuos de leguminosas sobre estadios de una población de lombrices (*Eisenia foetida*) y caracterización biológica del humus obtenido. *Cultivos Tropicales* [en línea]. vol. 21, n.º3. [Consultado: 20 de julio de 2020]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=26305465&lang=es&site=ehost-live>.

VILLEGAS, Víctor y LAINES, José. Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* [en línea]. 2017, vol. 8, n.º2. [Consultado: 22 de julio de 2020]. Disponible en: <https://doi.org/10.29312/remexca.v8i2.60>. ISSN: 2007-0934.

XIE, David, [et al.]. Vermicomposting of sludge from animal wastewater treatment plant mixed with cow dung or swine manure using *Eisenia foetida*. *Environmental Science & Pollution Research* [en línea]. 2016, vol. 23, n.º8. [Consultado: 19 de julio de 2020]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=eih&AN=114853361&lang=es&site=ehost-live>.

ANEXOS

Anexo 01. Materiales y equipos e instrumentos para el vermicompostaje.

Materiales	Equipos e instrumentos
Kg. de lodos de PTAR	Balanza
Kg. Residuo orgánico	Tamiz de 0.02 mm
Aserrín	Termómetro digital
Kg. de Lombrices rojas	pH-metro
Composteras	Multiparámetro
Agua	Manta para secado

Fuente: Elaboración propia en base a la revisión bibliográfica.

Anexo 02. Composición física y química típica de un lodo residual.

Concepto	Unidades	Lodo
Sólidos secos totales	%	2 - 8
Sólidos volátiles	% ST	60 - 80
Proteína	% ST	20 - 30
Nitrógeno (N)	% ST	1.5 - 4
Fósforo (P ₂ O ₅)	% ST	0.8 - 2.8
Potasio (K ₂ O)	% ST	0 - 1
pH	und. pH	6 (5 - 8)
Alcalinidad	mg CaC O ₃ / L	500 - 1500

Fuente: Metcalf & Eddy, 1996, p. 871.

Anexo 03. Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.

Límites máximos permisibles para metales pesados en biosólidos.		
Contaminante	Excelentes (mg/kg en base seca)	Buenos (mg/kg en base seca)
Arsénico	41	75
Cadmio	39	85
Cromo	1200	3000
Cobre	1500	4300
Plomo	300	840
Mercurio	17	57
Níquel	420	420
Zinc	2800	7500

Fuente: Norma 004 – SEMARNAT – 2002.

Anexo 04. Aprovechamiento de biosólidos.

Tipo	Clase	Aprovechamiento
Excelente	A	Usos urbanos con contacto público directo durante su aplicación.
Excelente o Bueno	B	Usos urbanos sin contacto público directo durante su aplicación
Excelente o Bueno	C	Usos forestales, Mejoramientos de suelos, Usos agrícolas

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002.

Anexo 05. Límites máximos permisibles para patógenos y parásitos en lodos.

Clase	Indicador bacteriológico de contaminación	Patógenos	Parásitos
	Coliformes fecales NMP/g en base seca	Salmonella spp. NMP/g en base seca	Huevos de helmintos/g en base seca
A	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 1
B	Menor de 1 000	Menor de 3	Menor de 10
C	Menor de 2 000 000	Menor de 300	Menor de 35

Fuente: NORMA Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002

Anexo 06. Valores medios de los parámetros agronómicos de un vermicompostaje.

Obtención de vermicompost	Contenido mínimo en nutrientes	Unidad	Valor
Producto estabilizado obtenido a partir de materiales orgánicos, por digestión con lombrices, bajo condiciones controladas.	Conductividad	mS/cm	≤ 4
	pH	-	7-8.5
	Humedad	%	35-40
	Materia orgánica	%	35-45
	Nitrógeno	%	0.5-2.6
	Potasio	%	0.4-1.2
	Calcio	%	5 -16

Fuente: Real Decreto 824/2005, Productos fertilizantes, 2005, p. 16.

Anexo 07. Matriz de operacionalización de variables.

Variab les	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición		
(VI) Vermicompostaje con <i>Eisenia foetida</i>	El vermicompostaje se define como la utilización de lombrices de tierra como agentes biológicos del proceso de transformación de residuos orgánicos con fines prácticos (Schuldt, 2006).	Los lodos estabilizados por vermicompostaje se analizarán y comprobarán si cumplen con los parámetros establecidos por la norma vigente.	Características químicas	pH	Rango 0-14		
				C.E.	mS/cm		
				N, P, K, M.O	%		
			Características físicas	Temperatura	°C		
				Humedad	%		
			Características biológicas	Coliformes totales	NMP/g		
				C.F	NMP/g		
			Tamaño y cantidad	Tamaño	cm		
				#de lombrices / kg de lodo	unidades		
				Peso en 100 lombrices	kg		
			Características químicas	Una vez el humus sea producido se realizarán los análisis correspondientes para comprobar si cumplen con los parámetros establecidos por la norma vigente.	Características químicas	pH	Rango 0-14
						C.E.	mS/cm
N, P, K, M.O	%						
Relación C/N	%						
Características físicas	Temperatura	°C					
	Humedad	%					
(VD) Tratamiento de lodos provenientes de PTAR	Los lodos residuales deben ser tratados para reducir la presencia de patógenos; eliminar los olores desagradables; y, reducir o eliminar su potencial de putrefacción (Suematsu, 2012).	Recolectados los lodos residuales y RR.SS se acondicionaran en las composteras para introducir las lombrices para realizar el seguimiento correspondiente hasta obtener el producto final.	Características físicas	Color	UPC		
				Temperatura	°C		
				humedad	%		
			Características químicas	pH	Rango 0-14		
				C.E.	mS/cm		
				N, P, K, M.O	%		
			Características biológicas	Coliformes totales	NMP/g		
				C.F	NMP/g		
				E. Coli	NMP/g		

Fuente: Elaboración propia en base a revisión bibliográfica

Anexo 08. Matriz de consistencia.

"Vermicompostaje con <i>Eisenia foetida</i> para el tratamiento de lodos provenientes de plantas de tratamiento de aguas residuales"							
Problema	Objetivos	Operacionalización de variables					
Problema general	Objetivo general	Variables	Definición conceptual	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
¿Cuál es la efectividad del Vermicompostaje con <i>Eisenia foetida</i> en el tratamiento de lodos residuales?	Describir el efecto del vermicompostaje con <i>Eisenia foetida</i> en el tratamiento de lodos residuales.	Vermicompostaje con <i>Eisenia foetida</i>	El vermicompostaje se define como la utilización de lombrices de tierra como agentes biológicos del proceso de transformación de residuos orgánicos con fines prácticos (Schuldt M, 2006)	Los lodos estabilizados a través de vermicompostaje se analizarán para comprobar si cumplen con los parámetros establecidos por la norma vigente.	Características químicas	pH	Rango 0-14
						C.E.	mS/cm
						N, P, K, M. O	%
						Temperatura	°C
						Humedad	%
						Coliformes totales	NMP/g
	Describir las características fisicoquímicas y biológicas de los lodos residuales que influyen en el vermicompostaje	Vermicompostaje con <i>Eisenia foetida</i>	El vermicompostaje se define como la utilización de lombrices de tierra como agentes biológicos del proceso de transformación de residuos orgánicos con fines prácticos (Schuldt M, 2006)	Una vez el humus sea producido se realizarán los análisis correspondientes para comprobar si cumplen con los parámetros establecidos por la norma vigente.	Características físicas	Temperatura	°C
						Humedad	%
						Color	UPC
						Temperatura	°C
						Humedad	%
						pH	Rango 0-14
Describir los factores ambientales óptimas para la <i>Eisenia foetida</i> en el tratamiento de lodos residuales	Tratamiento de lodos provenientes de PTAR.	Los lodos residuales deben ser tratados para reducir la presencia de patógenos; eliminar los olores desagradables; y, reducir o eliminar su potencial de putrefacción. (Suematsu G. 2012)	Recolectados los lodos residuales y RR. SS se acondicionan en las composteras para introducir las lombrices para realizar el seguimiento correspondiente hasta obtener el producto final.	Características químicas	C.E.	mS/cm	
					N, P, K, M. O	%	
					Coliformes totales	NMP/g	
					C.F	NMP/g	
					E. Coli	NMP/g	
Definir la dosis óptima de lodos residuales y residuos orgánicos para la producción de humus de calidad.	Tratamiento de lodos provenientes de PTAR.	Los lodos residuales deben ser tratados para reducir la presencia de patógenos; eliminar los olores desagradables; y, reducir o eliminar su potencial de putrefacción. (Suematsu G. 2012)	Recolectados los lodos residuales y RR. SS se acondicionan en las composteras para introducir las lombrices para realizar el seguimiento correspondiente hasta obtener el producto final.	Características biológicas			
Evaluar la calidad de abono orgánico producido con vermicompostaje con <i>Eisenia foetida</i> en el tratamiento de lodos residuales	Tratamiento de lodos provenientes de PTAR.	Los lodos residuales deben ser tratados para reducir la presencia de patógenos; eliminar los olores desagradables; y, reducir o eliminar su potencial de putrefacción. (Suematsu G. 2012)	Recolectados los lodos residuales y RR. SS se acondicionan en las composteras para introducir las lombrices para realizar el seguimiento correspondiente hasta obtener el producto final.	Características físicas	Temperatura	°C	
					Humedad	%	
					pH	Rango 0-14	
					C.E.	mS/cm	
					N, P, K, M. O	%	
					Coliformes totales	NMP/g	

Fuente: Elaboración propia en base a la revisión bibliográfica.