



**UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO**

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

**Vermicompostaje como estrategia de reducción de metales pesados  
en lodos residuales**

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

**AUTORES:**

Simpalo Villar, Mayra Migdalia (ORCID: 0000-0001-8065-5848)

Vejarano Paredes, Andres (ORCID: 0000-0002-9811-879x)

**ASESOR:**

Dr. Cruz Monzon, Jose Alfredo (ORCID: 0000-0001-9146-7615)

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Tratamiento y gestión de los residuos

Trujillo – Perú

2020

## Dedicatoria

En memoria de mi padre.

Mayra Migdalia Simpalo Villar

Al apoyo constante e incondicional de mi madre.

Andres Vejarano Paredes

## Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios por ser mi guía, a mi madre y a mis abuelos por brindarme su amor y apoyo incondicional.

A mis docentes por su paciencia y su oportuno asesoramiento ya que gracias a sus conocimientos pude culminar mi proyecto.

A mi compañero de tesis con quien compartimos dificultades y aciertos en el proceso de desarrollo de nuestro proyecto y también por su amistad incondicional.

Mayra Migdalia Simpalo Villar

A mis padres por haberme forjado como la persona que soy; muchos de mis logros se los debo a ustedes entre los que se incluye este, pues son el cimiento para la construcción de mi vida profesional.

Agradecer también a mis docentes por el apoyo constante con sus consejos, vivencias y experiencia profesional.

Resaltar el gran apoyo de mi compañera de tesis en todo el periodo universitario, logrando objetivos constantemente, subiendo cada peldaño para llegar hasta el punto más alto y sentir la sensación del éxito.

Andrés Vejarano Paredes

## Índice de contenidos

Dedicatoria .....	i
Agradecimiento .....	ii
Índice de contenidos.....	iii
Índice de Tablas .....	iv
Índice de figuras .....	v
Resumen.....	vi
Abstract .....	vii
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. METODOLOGÍA .....	11
3.1. Tipo y diseño de investigación.....	11
3.2. Escenario de estudio .....	11
3.3. Participantes .....	11
3.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	11
3.5. Procedimiento .....	12
3.6. Rigor científico.....	14
3.7. Método de análisis de datos.....	14
3.8. Aspectos éticos .....	14
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	15
REFERENCIAS.....	32

## Índice de Tablas

Tabla 1: Criterios de inclusión .....	11
Tabla 2: Artículos seleccionados por base de datos .....	12
Tabla 3: Artículos seleccionados con criterios de duplicidad.....	12
Tabla 4: Selección de documentos con criterios de inclusión .....	13
Tabla 5: Artículos recolectados con criterio de inclusión .....	17

## Índice de figuras

Figura 1: Filtrado con los criterios de inclusión.....	13
Figura 2: Publicaciones por año de artículos según búsqueda primaria. ....	15
Figura 3: Tipos de lombrices estudiadas según búsqueda primaria.....	16
Figura 4: Lombrices usadas durante el vermicompostaje de lodos según artículos de búsqueda selectiva.....	22
Figura 5: Aditivos con los cuales se acondiciono los lodos residuales. ....	24
Figura 6: Metales evaluados según búsqueda selectiva. ....	26
Figura 7: Remoción de metales pesados a diferentes aditivos aplicados. ....	28

## Resumen

El vermicompostaje es un método que tiene como agente interviniente a la lombriz de tierra en conjunto con microorganismos, aportando en la degradación de la materia orgánica, es por ello que en actualidad se ha ido utilizando en el tratamiento de lodos residuales, debido a que estos contienen gran cantidad de contaminantes, entre ellos, los metales pesados. Existe una interrogante por saber cuál de las especies de lombrices de tierra usadas en este proceso es la óptima en la reducción de los metales. Por consiguiente, esta investigación se centró en realizar una revisión sistemática de la literatura existente en las bases de datos Scopus, ScienceDirect, Proquest, Ebsco y ResearchGate, con lo cual se realizó una búsqueda primaria utilizando las palabras clave; “vermicompostaje”, “lodos residuales”, “metales pesados”, “earthworm”, para posteriormente aplicar criterios de selección previamente establecidos, después se lograron identificar 19 artículos con los cuales se realizó la presente investigación. El análisis de la información permite afirmar que la lombriz más usada y reportada en los artículos de acceso abierto es la *Eisenia Fétida* y el uso de estiércol animal como aditivo permite mejorar la capacidad de dicha especie para la reducción de los metales pesados (Zn, Cr y Pb) presentes en lodos residuales.

**Palabras Clave:** Vermicompostaje, lodo residual, metales pesados, lombriz de tierra.

## Abstract

The vermicomposting is a method that has as intervening agent the earthworm together with microorganisms, contributing in the degradation of the organic matter, it is for that reason that at the present time it has been used in the treatment of residual muds, because these contain great amount of pollutants, among them, the heavy metals. There is a question as to which of the earthworm species used in this process is the optimum in the reduction of metals. Therefore, this research was focused on a systematic review of the existing literature in the Scopus, ScienceDirect, Proquest, Ebsco and ResearchGate databases. A primary search was conducted using the keywords; “vermicomposting”, “sewage sludge”, “heavy metals”, “earthworm”, and then selection criteria were applied. The analysis of the information allows us to affirm that the most used and reported worm in the open access articles is *Eisenia Fétida* and that the use of animal manure as an additive allows us to improve the capacity of this species for the reduction of heavy metals present in sewage sludge.

**Keywords:** Vermicomposting, sewage sludge, heavy metal, earthworm.



## I. INTRODUCCIÓN

Uno de los inconvenientes que se presentan en la mayoría de plantas de tratamiento de aguas residuales es la generación de lodos, el cual puede ser lodo y lodo activado, esto será dependiendo del proceso con el que se trabaje (Walid, Ayhan, Gaber, 2017, p. 1). Existen lugares en los cuales se realiza el almacenamiento de estos biosólidos para su futura descomposición. En esta etapa se genera problemas ambientales severos, como son la emisión de gases, entre ellos metano ( $\text{CH}_4$ ), sulfuro de hidrogeno ( $\text{H}_2\text{S}$ ), amoniaco ( $\text{NH}_3$ ), metilamina ( $\text{CH}_3\text{NH}_2$ ) y otros compuestos, a su vez también provoca la contaminación de aguas superficiales, subterráneas, suelo y sub suelo a consecuencia de la lixiviación (Zigmontiené y Liberyté, 2014, pp. 1-2).

Los lodos residuales son materiales muy ricos en nutrientes que pueden utilizarse para la producción de energía o como fertilizantes en la agricultura, esta última se podría considerar una de las opciones más sostenibles para su gestión (Rastetter, Gerhardt, 2016, p. 107). Pero según Tiquia y Col (como se citó en Singh [et al], 2014, p.175) debido a sus olores, metales pesados, patógenos y compuestos orgánicos que contiene, es necesario la aplicación de tratamientos y estabilización antes de su aplicación en el suelo agrícola. Hay criterios importantes que sirven para evaluar la capacidad de los lodos residuales cuando se aplica en la agricultura, además de la contaminación por compuestos nocivos, uno de estos criterios es el contenido de metales pesados (Zigmontiené y Liberyté, 2014, pp. 1-2). La aplicación del vermicompostaje como tratamiento de lodos, aporta en la reducción de metales pesados encontrados en los biosólidos, como Cd, Pb, Co, Cr, Zn, Cu (Kızılkaya y Hepsen, 2014, p. 68). La inmovilización de metales pesados es considerada un proceso obligatorio para disponer los lodos residuales en la agricultura. Para ello, se evalúa la fitotoxicidad de estos elementos metálicos en biosólidos durante el vermicompostaje, de lo contrario estos elementos afectarían drásticamente la composición del suelo e incluso dañar el estado natural de los acuíferos (Wu [et al], 2018, p. 71).

En base a esta problemática, el presente trabajo se planteó la siguiente pregunta de investigación: **¿Qué lombrices utilizadas en vermicompostaje han demostrado efectividad en la reducción de metales pesados en lodos residuales?**, para responder, fue necesario recolectar información que plasme la

eficiencia de distintos tipos de lombrices para la producción de vermicompost y su aporte en la estabilización de metales pesados presentes en el lodo residual.

Existen diversas tecnologías que aportan a la estabilización de lodos y así poder asegurar su futura utilización en la agricultura (Braga, 2017, p. 520), una de estas es el vermicompostaje, el cual es considerado como un proceso biológico ya que para su operación se utilizan distintos tipos de lombrices de tierra, trabajando en asociación con microorganismos nativos, teniendo como objetivo convertir los residuos orgánicos útiles para la agricultura (Sosnecka, Kacprzak y Rorat, 2016, p. 91). Pereira y Arruda (como se citó en He [et al, 2017, p. 8375) mencionan que no solo las lombrices y los microorganismos actúan en el vermicompostaje, también intervienen la materia orgánica, proteínas nucleicas, ácidos grasos y carbohidratos. Por ello es que durante su operación constituye una amplia variedad de residuos orgánicos como estiércol de diferentes tipos de animales, residuos industriales y también los lodos de las aguas residuales, sirviendo como alimento para las lombrices (Raza, Bo, Ali y Liang, 2019, p. 1027). Este método promete adquirir un producto beneficioso usado como abono aplicable a cultivos agrícolas, siendo bueno nutricionalmente, ya que la lombriz ingiere “n” cantidad de sustrato y libera una mayor proporción de N, P, K (componentes importantes para las plantas) (Lugo [et al], 2017, p. 475).

Se han explotado parcelas de vermicompostaje demostrando que es un método de bajo costo, obteniendo un producto acelerado en pequeñas y medianas plantas de tratamiento tanto de agua industrial como municipal; este método es eficiente por el fácil acceso de sus insumos, realizado a través de subproductos como es el lodo residual, estiércol o residuos vegetales, estos permiten la estabilización y el acondicionamiento de las lombrices de tierra a utilizar (Boruszko, 2016, p. 1) (Rorat, 2015, p. 3026). Es por eso que Bozym (2016) resalta que este proceso sería más factible para pequeñas plantas de tratamiento poco industrializadas, ya que requiere un constante monitoreo de la climatización de la lombriz de tierra y de esta manera el valor de los componentes existentes en los lodos se transforme a conveniencia del medio al que se incorporara (p. 619).

Por lo tanto, este trabajo de investigación tuvo por finalidad realizar una revisión sistemática en la literatura existente de acceso libre e identificar la intervención de la lombriz en la reducción de metales pesados presentes en lodos residuales. Y como objetivos específicos, determinar los tipos de lombrices eficientes en la

reducción de metales pesados, identificar los aditivos que potencien la actividad de la lombriz en la reducción de metales durante el vermicompostaje y determinar los metales pesados con mayor porcentaje de remoción aplicando el vermicompostaje utilizando la especie más eficiente reportada.

## II. MARCO TEÓRICO

En base a problemas ambientales generados ante la mala gestión de residuos sólidos de depuradora, se han evaluado nuevas técnicas de tratamiento que demuestran mayor efectividad, evitando secuelas en un medio natural y de bajo costo, una de ellas es el vermicompostaje. (Panday [et al], 2014, p.416).

Liu et al. (2013) al realizar su investigación "Sludge earthworm composting technology by *Eisenia Fétida*", consideran utilizar suelo artificial con una concentración de contaminantes letal media, el cual según sus antecedentes podría reducir máximo un 50% de la población de lombrices durante su periodo de evaluación. Se realizó una comparación del sustrato antes y después de la aplicación de las lombrices para medir el efecto sobre los metales pesados en el medio. Sus resultados indicaron que la humedad, pH y el contenido de materia orgánica disminuyen, así como también el factor de bioacumulación (BAF) muestra el declive del contenido total de cinco metales pesados (Cu, Ni, Cd, Pb y Zn). Concluyeron que el uso de la *Eisenia Fétida* como principal agente interviniente es factible en la estabilización de lodos de depuradora (pp. 486, 487).

Así como también Ahmad, Singh y Pal (2016), presentan su investigación "Effect on growth of earthworm and chemical parameters during vermicomposting of pressmud sludge mixed with cattle dung mixture", con el objetivo de evaluar el crecimiento de la lombriz *Eisenia Fétida*, aplicando el vermicompostaje de lodos residuales + estiércol, con proporciones distribuidas del 0 al 100% en cada uno de los insumos, siendo estos recursos importantes para la adaptación de la especie y reducir su exposición a características fisicoquímicas que puedan alterar su hábitat; como resultados se determina que la mortalidad mínima de lombrices, número de capullos y el peso más alto se observa en la mezcla de 25% de lodos residual y 75% de estiércol, además de ello, los metales pesados presentaron mayor disminución, tanto el Cu y el Cr con un 10.4% y 65% respectivamente, mientras que el valor de concentración de Zn aumento un 88.9% del valor inicial. Se concluye que la mezcla adecuada para el desarrollo de la lombriz se determina observando la tasa de crecimiento, la tasa de mortalidad y la producción de capullos (pp. 425, 428, 429).

Kizilkaya y Hepsen. (2014), en su investigación denominada "Vermicomposting of Anaerobically Digested Sewage Sludge with Hazelnut Husk and Cow Manure by Earthworm *Eisenia Foetida*", evidenciaron la capacidad de la lombriz *Eisenia Fétida*

para trabajar y reproducirse en un medio modificado entre lodo residual, cáscara de avellana y estiércol, enfocándose en el mejor medio para el crecimiento y reproducción de la lombriz, a su vez analizar los metales pesados presentes en el medio antes y después de aplicar el vermicompostaje y por último determinar la concentración de metales pesados en las lombrices. Realizaron la proporción de los insumos, variando desde el 0 al 100% respecto al uso de lodos residual y del 0 al 50% respecto al uso de la cáscara de avellana y estiércol, obteniendo 11 mezclas. De este modo, se concluye que la mayor biomasa de lombrices se encuentra en la mezcla de 20% de lodos residuales, 40% de cáscara de avellana y 40% de estiércol. En el segundo enfoque demostraron que todos los medios de diferentes proporciones redujeron los metales pesados, indicando que el valor final de estos (Zn, Cu, Cd, Pb, Ni y Cr) eran menores a las identificadas en el valor inicial. Por último, el análisis en las lombrices de tierra reveló una considerable bioacumulación de metales pesados en los tejidos de sus cuerpos, probando que, a mayor porcentaje de lodos, mayor era el contenido de metales pesados en las lombrices (pp. 68 – 78).

Asimismo, Rorat et al. (2015) realizaron un estudio con el objetivo de determinar el aporte que tiene la lombriz *Eisenia Fétida* en conjunto con *Eisenia Andréi* en la estabilización de 3 lodos residuales distintos por su contenido de metales pesados. Los lodos fueron mezclados con suelo comercial (abono orgánico), con una proporción de 25% y 75% respectivamente. En total se realizaron 12 tratamientos para identificar la concentración de los metales pesados (Cd, Zn, Cu, Ni y Pb), correspondientes a 4 análisis (control, *E. Fétida*, *E. Andréi* y *E. Fétida + E. Andréi*) de cada uno de los 3 diferentes lodos. Como resultados se obtuvieron que el Cd se redujo en todos los tratamientos, sin embargo, la reducción fue significativa con un 31% en el tratamiento de lodo 1 usando únicamente la lombriz *E. Fétida* (pp. 3027, 3029).

Laurinaitis y Zigmontiené (2016), en su investigación “Vermikomposto įtakos sunkiųjų metalų bioakumulacijai pievinėje miglėje (*Poa pratensis*) tyrimų analizė”, aborda la influencia del vermicompostaje en la bioacumulación de metales pesados (MP) en las Alubias Blancas, para ello prepararon 7 medios en diferentes proporciones, cuyas composiciones eran: suelo (control), vermicompost, suelo contaminado con metales pesados (artificial), vermicompost contaminado con metales pesados (artificial). Dentro de los parámetros analizados se encontraba la

humedad, pH y metales pesados (Pb, Cd, y Cu), estos se analizaron antes y después de insertar los metales en los medios. Para hallar la bioacumulación de estos contaminantes se analizó el sustrato y la planta; la raíz y los brotes se evaluaron por separado para hallar su dispersión de los MP respecto a las condiciones fisicoquímicas en las que se encontraba el medio. Se obtuvieron como resultado que las concentraciones más altas de MP se encontraron en el sustrato con la mezcla de vermicompost + suelo con MP (2:1) y las concentraciones más bajas se hallaron en los brotes de mezcla de vermicompostaje + suelo con MP (1:2). Se concluye que a medida que aumenta la cantidad de vermicompost en la mezcla, aumenta también la concentración de metales pesados en el suelo; y es así que se comprobó que el vermicompost es capaz de bloquear la migración de estos contaminantes a las plantas. Esto se debe al hecho de que la correlación de los MP y en carbono orgánico total muestra que el Pb, Cd y Cu se adhieren a las particulares de materia orgánica creando formas estables de MP y acumulándose en la superficie del suelo. Sin embargo, indican que el pH es un parámetro fundamental ya que al ubicarlo en un rango entre 5 - 3, los MP se pueden dispersar fácilmente porque la carga de cationes metálicos disueltos será más alta (pp. 377 – 379).

Es importante saber que los lodos residuales se forman a partir de las aguas residuales, estas son originadas mayormente por actividades domésticas, actividades comerciales e industriales y su vez por actividades naturales. Asimismo, son generadas internamente en las plantas de tratamiento, llámese por agua de rechazo de deshidratación de lodos, drenaje de lechos de secado de lodos, agua drenada de lechos de secado de lodo, agua de limpieza de filtros y equipos, etcétera. Estos efluentes, están compuestos por dos tipos de contaminantes, los solubles y los sólidos. Los contaminantes sólidos son característicos por sus dimensiones de mayor tamaño, estos son punto objetivo inicialmente en el tratamiento. Los contaminantes solubles, siendo partículas más pequeñas tienen un tratamiento especial mediante el uso de microorganismos aerobios, floculando estos contaminantes y aportando en la sedimentación de estos, obteniendo finalmente lodos residuales (López [et al], 2017, p. 35).

Los lodos residuales son una fase sólida orgánica producidos en la etapa primaria y secundaria del tratamiento de aguas residuales. Algunos lodos también se recogen directamente de tanques sépticos de industrias y pequeñas comunidades.

Los lodos son deshidratados en una Estación Depuradora de Aguas Residuales (EDAR) o en otros espacios adaptados para ello mediante la deshidratación solar a temperatura ambiente. Cuando no hay una EDAR, los lodos generalmente se usan para producir compost en un periodo a largo plazo (Sternbeck [et al], 2011, p.12).

El tratamiento de lodo residual puede elevar un 30% del costo final de un proceso de tratamiento de aguas residuales. Para evitar ese efecto, es crucial conocer sus características físicas, químicas y biológicas, así como también su procedencia. Posterior a su identificación, ocupa un menor costo en su tratamiento (Tyagi [et al], 2009, p.6).

Estos residuos se pueden clasificar de tres maneras: aprovechables, no aprovechables y peligrosos.

- Lodos Aprovechables: Son lodos que han pasado por un tratamiento y al no contar con propiedades nocivas para el suelo, podrán ser usadas como abono.
- Lodos No Aprovechables: Son lodos con características que pueden alterar la composición natural del suelo.
- Lodos Peligrosos: Son lodos que cuentan con sustancias que pueden causar un impacto negativo en la salud humana o al medio ambiente (Hurtado, 2015, p. 19).

Los tipos de lodos de aguas residuales son los siguientes:

- Lodo crudo: Es aquel que no ha sido estabilizado ni tratados, contando con propiedades generadoras de mal olor.
- Lodo primario: Generados durante el tratamiento primario de una planta de tratamiento de aguas residuales, usualmente contiene alta concentración de materia orgánica.
- Lodo activado o secundario: Se produce en el tratamiento secundario. Normalmente en este lodo su concentración de sólidos volátiles es entre un 70 a 80 %. En él se encuentra biomasa viva, es decir, microorganismos y bacterias, así como también biomoléculas.
- Lodo terciario o fisicoquímico: En este proceso se le aplican tratamientos fisicoquímicos, se le adicionan sales como aluminio y cal para reducir las concentraciones de materia orgánica en suspensión y también precipitar ciertas biomoléculas.
- Fango y lodo deshidratado: Son sometidos a procesos fisicoquímicos y térmicos

para su pérdida de agua. Se denomina fango deshidratado si contiene menos del 80% de humedad, mientras que el lodo deshidratado se le denomina al tener menor del 70% (Tyagi [et al], 2009, p.6).

El vermicompostaje, es una eco-tecnología capaz de tratar los lodos residuales, siendo un proceso de compostaje en el cual se requiere el uso de lombrices de tierra, estas provocan un proceso de bio-oxidación aeróbica, es decir, trabajan con un contenido de oxígeno considerable en la que se presentan condiciones termófilas, de esta manera se llega a descomponer biológicamente los residuos orgánicos existentes en el vermicompostaje (Singh y Singh, 2015, p.2) (Solis, Espinoza y Esteller, 2012, p.11) (Velasco [et al], 2016, p. 46), por otra parte este proceso es muy conocido por la gran diversidad de microorganismos benéficos que contiene a diferencia del compostaje común, se debe tener en cuenta que la lombriz no actúa sola en el proceso de descomposición de la materia orgánica, en otras palabras, esta trabaja conjuntamente con microorganismos como hongos, bacterias, entre otros (Yadav y Singh 2014, p. 36). Asimismo, es importante mencionar que este método se caracteriza por su bajo costo de aplicación (Singh y Singh, 2015, p.80). Para que este proceso se lleve adecuadamente se requiere ciertas condiciones, las cuales ayudan a la supervivencia y crecimiento de las lombrices de tierra que son inoculadas y también para los microorganismos presentes en el vermicompostaje. Entre ellas tenemos:

pH, comúnmente dentro del vermicompostaje este tiende a ser ácido o neutro oscilando entre los valores de 5 y 7 (Edwards, Arancon y Sherman, 2010, p.36) (Barik [et al], 2011, p. 175).

- Temperatura, en el vermicompostaje debe mantenerse entre unos 25 a 35°C (Singh y Singh, 2015, p.51) (Edwards, Arancon y Sherman, 2010, p.36) (Barik [et al], 2011, p. 175).
- Humedad, durante el proceso de vermicompostaje la humedad debe mantenerse entre 60 y 70% ya que al variar podría ser perjudicial para la lombriz (Barik [et al], 2011, p. 176) (Singh y Singh, 2015, p.51)
- Relación de C/N, es importante ya que evitará a que el nitrógeno se volatilice, para ello es importante tener en cuenta que la relación entre el carbono y el nitrógeno, esta debe oscilar entre 25 y 30% en su concentración inicial (Barik [et al], 2011, p. 175)

La lombriz de tierra es una especie que pertenece a los oligoquetos y a la misma



vez es el grupo más desarrollado dentro de los anélidos (Compagnoni y Putzolu, 2018, p. 10), tienen una gran capacidad para descomponer desechos orgánicos debido a sus características fisiológicas, que son los cortos ciclos de vida, su rápida reproducción, y además de ello su resistencia la cual le permiten trabajar adecuadamente dentro del vermicompostaje, cabe mencionar que no todas las especies tienen la capacidad óptima para poder adaptarse a ambientes que se podrían considerar hostiles; distintos investigadores hacen mención a 5 tipos de lombrices que son usadas comúnmente dentro del proceso de vermicompostaje, entre ellas tenemos a la *Eisenia Fétida*, *Eisenia Andréi*, *Dendrobaena Veneta*, *Perionyx Exacavatus* y por último a la *Eudrilus Eugeniae* (Edwards, Arancon y Sherman, 2010, p. 29).

Se han presentado investigaciones evidenciando la capacidad de las lombrices para acumular metales pesados esenciales y no esenciales en el crecimiento de las plantas y desarrollo de suelos que van desde no contaminados hasta aquellos que son altamente metalíferos por actividades antropogénicas. La acumulación de metales pesados, es parte del instinto descomponedor de la lombriz de tierra, junto con sus paredes corporales altamente permeables y un extenso tejido compuesto por cloragocitos con orgánulos capaces de secuestrar altas concentraciones de ciertos metales en estados relativamente insolubles. Sin embargo, el pH del suelo, así como también el contenido de materia orgánica contribuye significativamente a la acumulación de ciertos metales, especialmente Pb y Cd, pero no otros. (Edwards, Arancon y Sherman, 2010, p.267). Esto es por la correlación que tienen los metales pesados y el carbono orgánico total. Ambos elementos metálicos se adsorben en partículas de materia orgánica, creando formas estables de los metales y acumulándose en la superficie del suelo. Es decir, a medida que aumenta la carga orgánica en el suelo, los metales pesados se acumularan en él. (Laurinaitis y Zigmontiené, 2016, p. 379).

Los metales pesados, son referidos a todo metal que tenga una densidad mayor a la del agua, por lo tanto, tienden a sedimentar, tanto en agua o suelo y la importancia de conocer sus características es porque se encuentra presente en el medio ambiente por razones de actividades antropogénicas, recalcando que estas actividades han ejercido un efecto considerable en la concentración y en la movilización de los metales pesados, siendo en su mayoría provocadas por actividades industriales. La variedad de definiciones de estos elementos repercute

en su identificación, sin embargo, muchas investigaciones apuntan como metales pesados a los siguientes: Plomo, Cobre, Cromo, Cadmio, Zinc (Khan [et al], 2019, p. 598) (Babié [et al], 2016, p. 12154). Un porcentaje significativo en la presencia de estos metales se encuentran en los fertilizantes minerales usados en la actividad agrícola, es por ello que se ha tomado en consideración la vermiestabilización como solución a este problema (Yadav y Singh, 2014, p. 7).

### III. METODOLOGÍA

#### 3.1. Tipo y diseño de investigación

La presente investigación fue básica, ya que las conclusiones aportaran información para otras investigaciones. El diseño de la investigación fue no experimental, revisión sistemática cualitativa sin metaanálisis.

#### 3.2. Escenario de estudio

Estuvo conformado por los artículos que formaron parte en la presente investigación y que fueron seleccionados de bases de datos ProQuets, Ebsco, ResearchGate, Scopus y ScienceDirect, siendo estos de acceso libre y que estaban relacionados con el tema de investigación.

#### 3.3. Participantes

Se recolecto un total de 418 artículos que comprenden sobre el vermicompostaje de lodos residuales con metales pesados, sin embargo, solo se seleccionaron 19 artículos los cuales especifican el tratamiento de metales pesados aplicando el vermicompostaje de lodos de aguas residuales municipales.

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

Se realizó una revisión sistemática con información obtenida de las 5 diferentes bases de datos antes mencionadas, utilizando palabras clave como “vermicomposting” (vermicompostaje), “sewage sludge” (lodo residual), “heavy metals” (metales pesados), “earthworm” (lombriz de tierra).

Se efectuó la selección de criterios indicados en la tabla 1, con el objetivo de identificar los documentos pertinentes según el enfoque de la investigación.

Tabla 1: Criterios de inclusión

Criterios	Inclusión
Años evaluados	2013 – 2020
Tipo de literatura	Artículo de revista indexada
Acceso de la literatura	Acceso abierto
Residuo utilizado	Lodo residual de depuradora municipal
Contaminante	Metales pesados

Fuente: Elaboración propia

### 3.5. Procedimiento

El procedimiento de recolección y selección de información se dividió en 3 fases, la primera fase consistió en una búsqueda primaria en la cual se obtuvieron todos los artículos posibles con las palabras claves mencionadas anteriormente.

Tabla 2: Artículos seleccionados por base de datos

Base de Datos	N° artículos
ProQuets	48
Ebsco	129
ResearchGate	118
Scopus	73
ScienseDirect	50
Total	418

Fuente: Elaboración propia

En la segunda fase se descartaron los artículos por duplicidad, siendo encontrados los mismos en las 5 diferentes bases de datos seleccionados para la búsqueda primaria. Subsiguiente a ello, se clasificaron por procedencia presentando un total de 308 artículos.

Tabla 3: Artículos seleccionados con criterios de duplicidad

Base de Datos	N° de artículos seleccionados
ProQuets	42
Ebsco	83
ResearchGate	73
Scopus	61
ScienseDirect	49
Total	308

Fuente: Elaboración propia

Tras el proceso de selección (Figura 1), usando los criterios de inclusión, se clasificaron 19 documentos como tercera fase, con su respectiva base de datos

presentados en la tabla 4, los cuales cuentan con características adecuadas para el cumplimiento del objetivo de este proyecto de investigación.

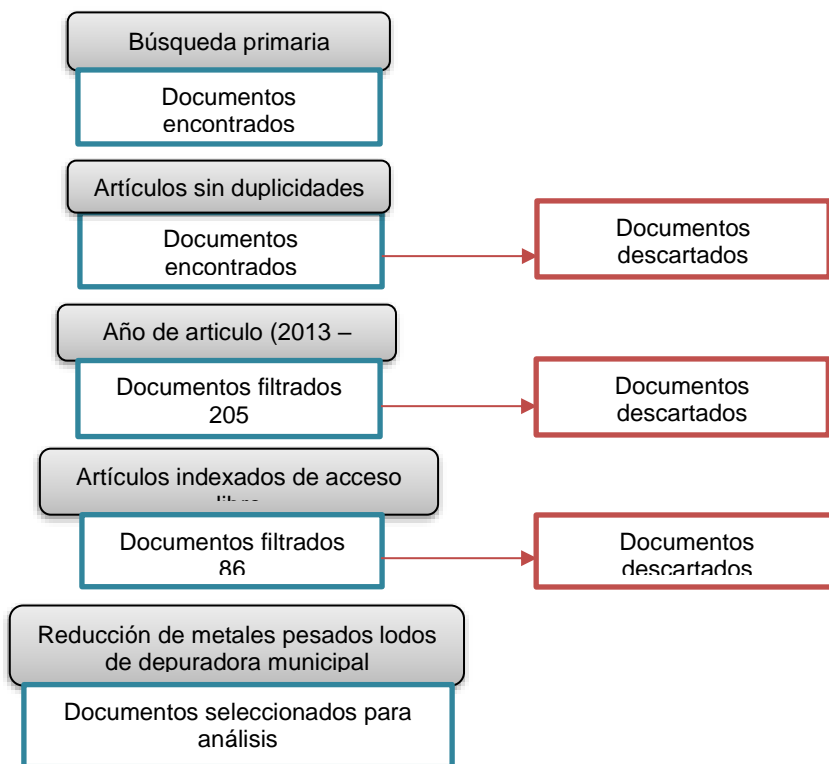


Figura 1: Filtrado con los criterios de inclusión

Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Selección de documentos con criterios de inclusión

Base de datos	Nº artículos seleccionados
ProQuets	4
Ebsco	5
ResearchGate	2
Scopus	7
ScienseDirect	1
<b>Total</b>	<b>19</b>

Fuente: Elaboración propia

### 3.6. Rigor científico

Los artículos pertenecen de bases indexadas realizando una selección rigurosa siendo pertenecientes a revistas indexadas, con años de publicación que oscilan entre el 2013 al 2020, y de esta manera obtener datos con respaldo científico y actualizados.

### 3.7. Método de análisis de datos

Para estructurar y ejecutar el análisis de los datos se formularon sub preguntas derivadas de la pregunta de investigación<sup>1</sup>. La información se organizó a través de tablas y figuras.

- ¿Cuáles son las lombrices de tierra utilizadas en la reducción de metales pesados según búsqueda primaria?
- ¿Cuáles son las lombrices utilizadas en los artículos seleccionados según búsqueda selectiva?
- ¿Cuáles son los aditivos para potenciar la actividad de las lombrices en la remoción de metales pesados aplicando el vermicompostaje?
- ¿Cuáles son los metales pesados con mayor porcentaje de remoción utilizando la especie más eficiente reportada en la búsqueda selectiva?

### 3.8. Aspectos éticos

Este proyecto de investigación se desarrolló teniendo en cuenta los principios de veracidad, honestidad, y originalidad, respetando los derechos de autor para la obtención y manipulación de datos, basándose en información confiable ya que se respetaron las normas establecidas en el ISO 690.

---

<sup>1</sup> ¿Qué lombrices utilizadas en vermicompostaje han demostrado efectividad en la reducción de metales pesados en lodos residuales?

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los artículos de las bases de datos consultadas según búsqueda primaria sin criterios de inclusión, se lograron identificar 418 artículos, los cuales 48 son correspondientes a ProQuets, 129 a Ebsco, 118 a ResearchGate, 73 a Scopus y 50 a ScienceDirect, resultados que se consolidaron por año de publicación presentes en la figura 2.

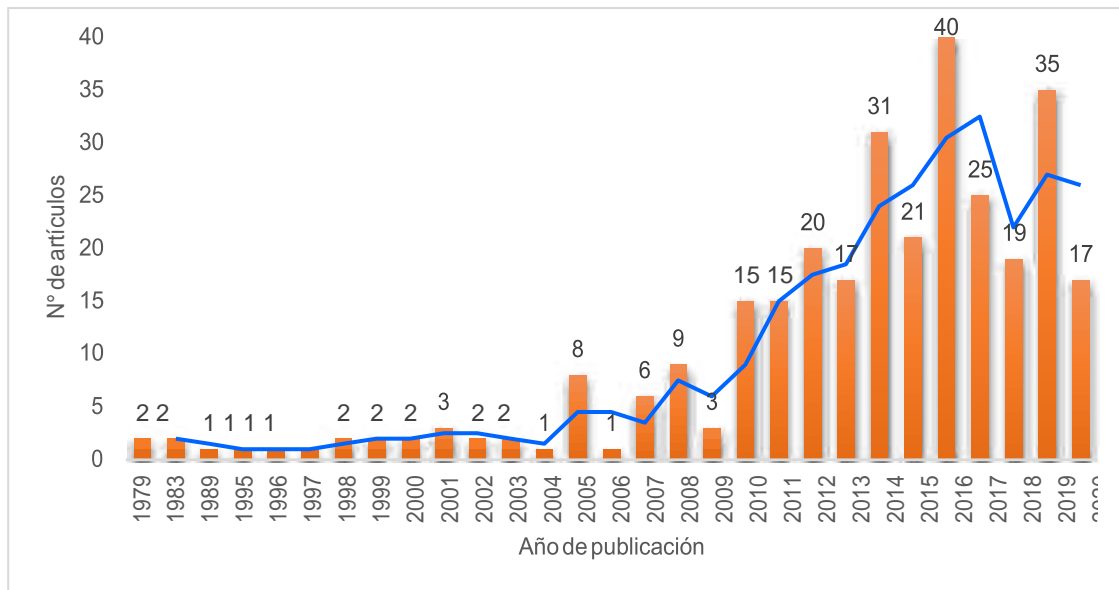


Figura 2: Publicaciones por año de artículos según búsqueda primaria.

Fuente: elaboración propia

Los resultados de la figura 2 muestran el interés creciente por el tema de vermicompostaje para reducir metales en lodos residuales, esto se refuerza por el motivo de que el vermicompostaje se ha reportado como un método efectivo y de costo energético casi insignificante (Boruszko, 2016, p. 1), así como el hecho de que las lombrices de tierra han demostrado capacidad de acumular metales pesados Dai et al. y Goswami et al. (como se citó en Mupondi [et al], 2018, p.3), ya que luego de una revisión de las literaturas existentes, podemos afirmar que las concentraciones de los metales pesados estudiados disminuyeron durante este proceso. De igual manera para justificar el interés poco abrupto a diferencia de otros temas de investigación quizá podría ser que para llevar a cabo este proceso a gran escala se necesitaría grandes superficies de terreno, además de ello un control estricto del proceso (Bozym, 2016, p.1).

Para tener una visión más amplia sobre los tipos de lombrices utilizadas durante el vermicompostaje, se realizó la siguiente grafica con toda la información primaria recolectada.

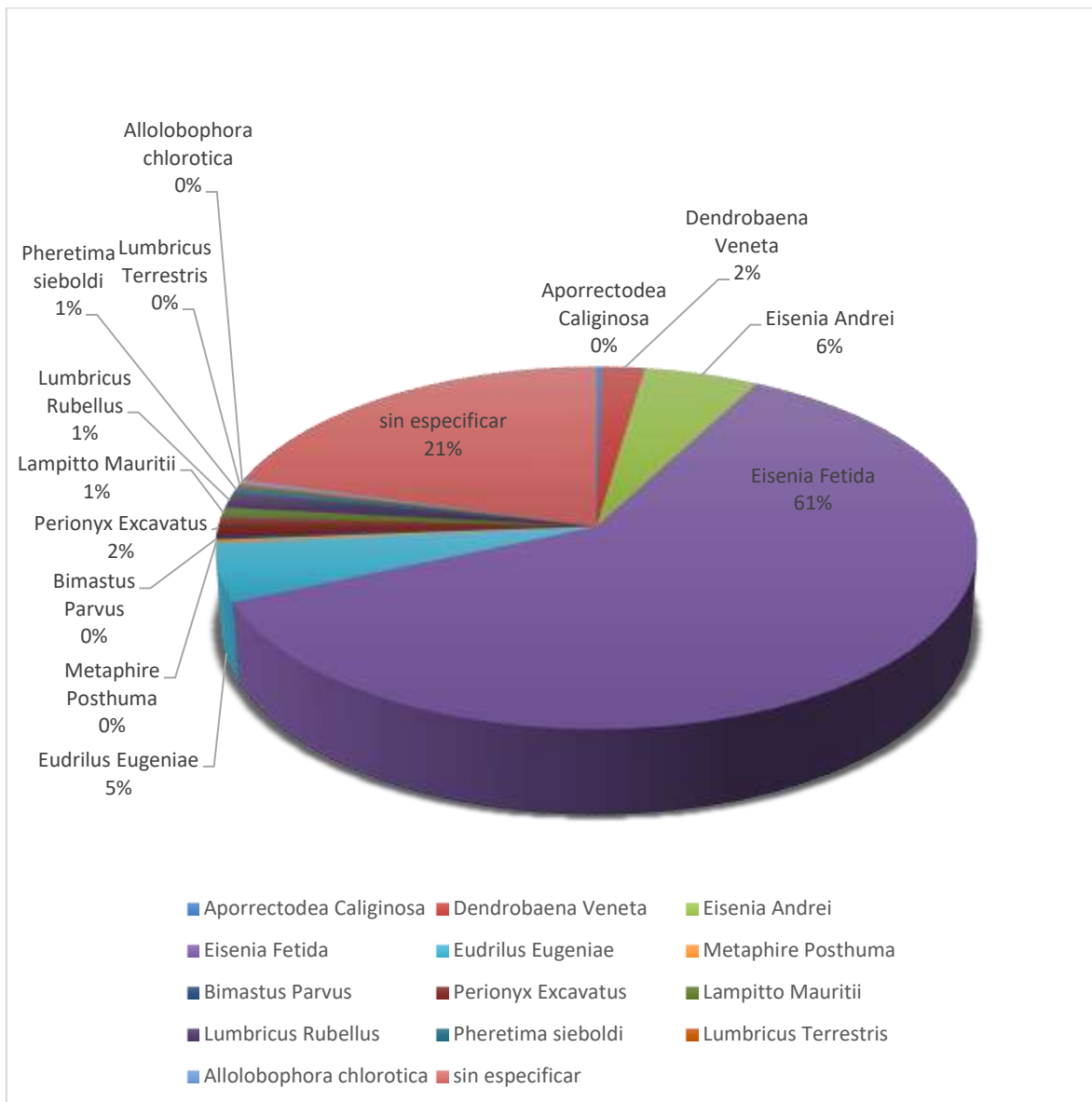


Figura 3: Tipos de lombrices estudiadas según búsqueda primaria

Fuente: elaboración propia

En la figura 3 se puede observar la variedad de lombrices de tierra utilizadas en el tratamiento de lodos de depuradoras mediante la aplicación del vermicompostaje, lo cual se podría explicar por la existencia de una gran variedad de lombrices de tierra disponibles, entre las que destacan, *Eisenia Fétida*, *Eisenia Andréi* y *Dendrobaena Veneta* (Boruszko, 2020, p. 22), (Sosnecka, Kacprzak y Rorat, 2016, p. 95).



Una vez aplicados los criterios de inclusión se lograron retener 19 artículos los cuales se presentan a continuación.

Tabla 5: Artículos recolectados con criterio de inclusión

N°	Nombre	Especie	Metal evaluado	Indicadores		
				Aditivos para acondicionamiento de lodo residual (LR)	Proporción de aditivos	Periodo de tratamiento
A1	Sludge earthworm composting technology by <i>Eisenia Fétida</i>	<i>E. Fétida</i>	Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>Arcilla caolinita (AC)</li> <li>Arena de cuarzo industrial (ACI)</li> <li>Carbonato de calcio (CC)</li> </ul>	AC: 20%	28 días
			Cd		ACI: 69%	
			Cu		CC: 1%	
			Zn		LR: 10 %	
			Ni			
A2	Heavy metals in sunflower fertilized with sewage sludge under different stabilization processes	<i>E. Fétida</i>	Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>Poda de hierba</li> </ul>	No especifica	45 días
			Hg			
			Cu			
			Cd			
			Ni			
			Zn			
A3	Vermicomposting of anaerobically digested sewage sludge with hazelnut husk and cow manure by earthworm <i>Eisenia Foetida</i>	<i>E. Fétida</i>	Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>Cascara de avellana (CA)</li> <li>Estiércol de bovino (EB)</li> </ul>	CA: 50% - EB: 50%	90 días
			Cd		CA: 45% - EB: 45% - LR:10%	
			Cr		CA: 40% - EB: 40% - LR:20%	
			Cu		CA: 35% - EB: 35% - LR:30%	
			Zn		CA: 30% - EB: 30% - LR:40%	
			Ni		CA: 25% - EB: 25% - LR:50%	
		CA: 20% - EB: 20% - LR:60%				

				CA: 15% - EB: 15% - LR:70%		
				CA: 10% - EB: 10% - LR:80%		
				CA: 5% - EB: 5% - LR:90%		
				LR:100%		
A4	Heavy metals (Cr, Cd and Ni) concentrations in sewage sludge and bioaccumulation by californian earthworms in the process of vermicomposting	<i>E. Fétida</i>	Cd Cr Ni	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estiércol de bovino</li> <li>• Paja</li> <li>• Residuos orgánicos</li> </ul>	No especifica	112 días
A5	Towards understanding the effects of additives on the vermicomposting of sewage sludge	<i>E. Fétida</i>	Cu Zn Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estiércol de cerdo (EC)</li> <li>• Estiércol de bovino (EB)</li> </ul>	LR: 25% - EC: 75% LR: 25% - EB: 75% LR: 50% - EC: 50% LR: 50% - EB: 50% LR: 75% - EC: 25% LR: 75% - EB: 25% LR: 100%	56 días
A6	Determining the effectiveness in vermicomposting of sewage sludges and the attempt to increase the effectiveness by applying bacterial microorganisms	<i>E. Fétida</i>	Pb Hg Cu Cd Ni Zn Cr	<ul style="list-style-type: none"> <li>• EM BIO</li> </ul>	No especifica	12 años
A7	Efectos de los lodos residuales y los desechos orgánicos de vermicompostaje en los indicadores orgánicos y la catalasa.	<i>E. Fétida</i>	Cu Zn Ni Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estiércol de bovino (EB)</li> <li>• Residuos domestico (RD)</li> </ul>	LR: 20% - EB: 40% - RD: 40% LR: 20% - EB: 60% - RD: 20% LR:20% - EB: 80%	90 días

A8	Vermicompost from municipal sewage sludge affects growth and mineral nutrition of winter rye ( <i>Secale Cereale</i> ) plants	<i>E. Fétida</i>	Pb Cd Cr Cu Zn Ni Hg	• Aserrín (A)	LR + A (2:1)	252 días
A9	Effects of different ratios of sewage sludge and cattle manure on growth and propagation of <i>Eisenia Fétida</i> .	<i>E. Fétida</i>	Cu Zn Ni Pb	• Estiércol de bovino (EB)	EB: 100% LR: 30% - EB: 70% LR: 50% - EB: 50% LR: 70% - EB: 30% LR: 100%	91 días
A10	Research analysis of vermicompost influence on bioaccumulation of heavy metals in common meadow-grass ( <i>Poa Pratensis</i> )	<i>E. Fétida</i>	Cu Zn Ni Pb	• Ninguno	No especifica	111 días
A11	Effect on growth of earthworm and chemical parameters during vermicomposting of press mud sludge mixed with cattle dung mixture	<i>E. Fétida</i>	Cr Cu Zn	• Estiércol de bovino (EB)	EB: 100% EB: 75% - LR: 25% EB: 50% - LR: 50% EB: 25% - LR: 75%	135 días
A12	Abono orgánico elaborado con lodo residual y estiércol equino a través de vermicomposteo: una propuesta como mejorador de suelos	<i>E. Fétida</i>	Cu Zn Ni Cd Pb	• Estiércol de equino (EE)	EB: 100% LR: 100% E: 85% - LR: 15% E: 70% - LR: 30% E: 55% - LR: 45%	90 días

A13	Vermicompost as a natural adsorbent: evaluation of simultaneous metals (Pb, Cd) and tetracycline adsorption by sewage sludge -derived vermicompost.	<i>E. Fétida</i>	Pb Cd	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tierra</li> <li>• Paja</li> <li>• Cenizas volantes</li> <li>• Aserrín</li> </ul>	No especifica	40 días
A14	<i>Eisenia Fétida</i> and biochar synergistically alleviate the heavy metals content during valorization of biosolids via enhancing vermicompost quality	<i>E. Fétida</i>	Pb Cd Cr Cu Zn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Biochar <ul style="list-style-type: none"> <li>- B. de Pino</li> <li>- B. de Alano</li> <li>- B. de planta de humedales</li> <li>- B. de desechos de jardín</li> </ul> </li> <li>• Residuos de Cocina</li> </ul>	RC: 30% - LR.:70 % (+ 10% de B)	30 días
A15	Vermicomposting as an alternative method of sludge treatment	<i>E. Fétida</i>	Hg Cd Cr	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aserrín</li> </ul>	No especifica	16 años
A16	Interaction effects of salinity, sewage sludge, and earthworms on the fractionations of Zn and Cu, and the metals uptake by the earthworms in a Zn- and Cu-contaminated calcareous soil	<i>E. Fétida</i>	Cu Zn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ninguno</li> </ul>	No especifica	42 días
A17	Vermicomposting as an alternative way of biodegradable waste management for small municipalities	<i>E. Fétida</i> <i>E. Andréi</i>	Cd Cr Cu Ni Pb Zn	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poda de hierba</li> <li>• Residuos orgánicos de desechos municipales</li> <li>• Aserrín</li> </ul>	PD: 35% RO: 10% A :10 % LR: 45%	35 días

A18	Interactions between sewage sludge-amended soil and earthworms--comparison between <i>Eisenia Fétida</i> and <i>Eisenia Andrei</i> composting species	<i>E. Fétida</i> <i>E. Andréi</i>	Cu Zn Ni Pb	<ul style="list-style-type: none"> <li>Tierra preparada (estiércol de bovino, compost orgánico) (TP)</li> </ul>	TP: 75% - LR: 25%	63 días
A19	Effects of sewage sludge vermicompost and mineral fertilizer application on the aboveground biomass and yield of maize ( <i>Zea Mays</i> )	<i>E. Eugeniae</i>	Cd Pb Zn Cu	<ul style="list-style-type: none"> <li>Fertilizante mineral</li> </ul>	No específica	30 días

Fuente: elaboración propia

Luego de realizar la selección de información teniendo en cuenta los criterios de inclusión, se determinó el porcentaje de resultados contando con 19 artículos, los cuales nos muestran los tipos de lombrices utilizadas en el proceso de vermicompostaje de lodos residuales.

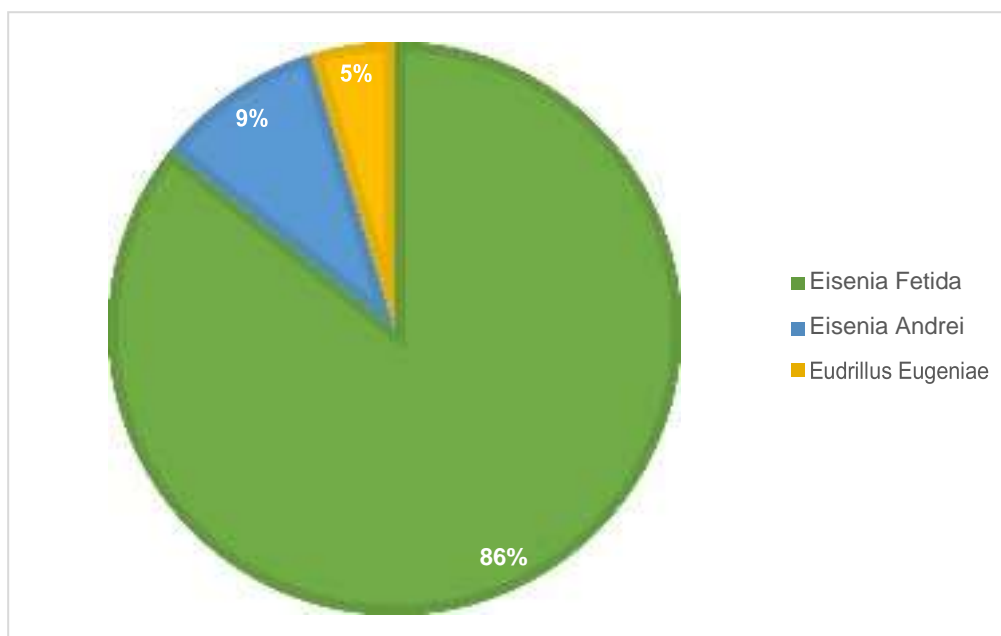


Figura 4: Lombrices usadas durante el vermicompostaje de lodos según artículos de búsqueda selectiva

Fuente: elaboración propia

En la Figura 4 podemos observar que en los artículos recolectados de la presente investigación, ubican a las lombrices *Eisenia Fétida*, *Eisenia Andréi* y *Eudrilus Eugeniae*, posiblemente por sus características físicas y biológicas como son, su corto tiempo de madurez, su acelerada reproducción así como la rápida formación de capullos (Boruszko, 2020, p.22) (Liu [et al], 2013, p. 485), de igual manera estas especies son altamente resistentes a los cambios bruscos de temperatura, como también resistentes a los ambientes hostiles los cuales mayormente contienen metales pesados (Boruszko, 2020, p.22).

En la presente investigación se optó por analizar la lombriz con mayor porcentaje de uso según la literatura, la lombriz *Eisenia Fétida* ubicada en 16 artículos de los 19 recolectados en la búsqueda selectiva, es la especie que más se emplea en la producción de vermicompostaje y reducción de metales pesados presentes en lodos residuales municipales, esto se debe a que sobrepasa la tasa de reproducción

de las demás especies al igual que sus condiciones de adaptabilidad, también es importante saber que su porcentaje de supervivencia de esta especie oscila en 98% siendo de esta manera que su tasa mortalidad se encuentra en un 2% (Liu [et al], 2013, p. 485), pero más importante es su óptima sensibilidad a una amplia gama de tóxicos posicionándola como una de las mejores especies para el tratamiento de lodos residuales que contengan metales pesados (Li [et al], 2016, p. 10), no obstante a esto, existen estudios los cuales hablan sobre la bioacumulación que realiza la lombriz en cuanto a los metales pesados, y es aquí donde cabe resaltar que la *E. Andréi* demuestra mayor capacidad para acumular algunos metales pesados como el Cd y Cu, a diferencia de la *E. fétida* que tiende a aumentar estos metales durante el vermicompostaje, por consiguiente, podría ser posible que la especie *E. Andréi* demuestre mayor acumulación a diferencia de la *E. Fétida* en ciertos metales pesados debido a sus características fisiológicas (Rorat, 2015, pp. 3030, 3033). Cuando hablamos del crecimiento y reproducción de la lombriz decimos que está ligada netamente al tipo de aditivo y las proporciones con las que se apliquen en su alimentación, ya que la *Eisenia Andréi* ha demostrado un crecimiento más acelerado posicionándose como una competencia directa de la *Eisenia Fétida*, (Li [et al], 2016, p.7), en pocas palabras la falta de materia orgánica en la dieta de la lombriz provocará una disminución de su peso al igual que su crecimiento y reproducción como se menciona anteriormente (Xing [et al], 2014, p 4649). Finalmente haciendo referencia al trabajo de las lombrices de tierra en el tratamiento de lodos decimos que al ser expuestas al vermicompostaje de lodos, este cambia su composición y características convirtiéndose a un fertilizante orgánico con muchas propiedades benéficas para la agricultura y el suelo (Boruszko, 2016, p. 58), y en cuanto la *Eisenia Fétida* y la *Eisenia Andréi* podemos aclarar que son las lombrices más usadas durante este proceso por sus características individuales en ambientes adversos, además de ello, las dos especies brindan un impacto positivo al tratamiento de lodos durante el vermicompostaje gracias a sus cualidades de bioadsorción de químicos con las que cuentan los lodos, ayudando a disminuir significativamente los metales pesados (Sosnecka, Kacprzak y Rorat, 2016, p. 95).

Para el análisis del proceso de vermicompostaje en la reducción de metales pesados se tuvo en cuenta a los aditivos que acondicionaron los lodos para poder mantener a la lombriz activa en el consumo de materia orgánica.

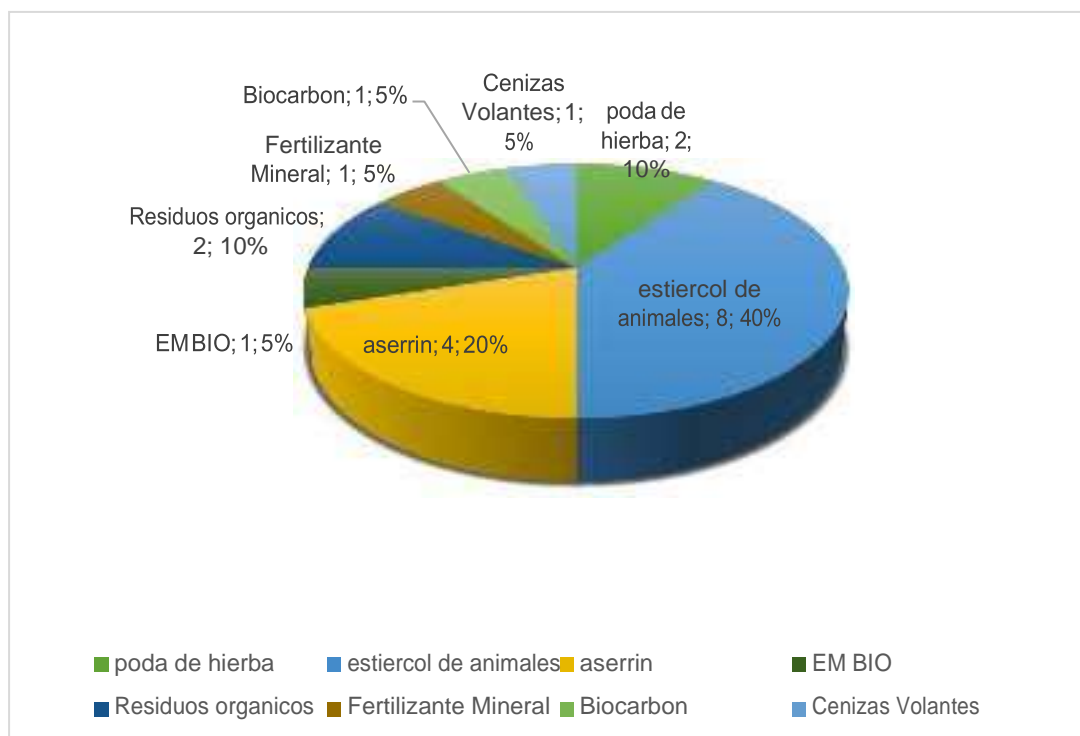


Figura 5: Aditivos con los cuales se acondiciono los lodos residuales.

Fuente: elaboración propia

En la Figura 5 se muestra cuáles son los aditivos que se utilizaron durante el vermicompostaje de lodos residuales, claramente se observa que los aditivos más utilizados es el estiércol animal y los residuos orgánicos, para esto tenemos que enfatizar que la cantidad de lombrices al igual que su crecimiento y reproducción va a depender de ciertas condiciones a las que se someta el sistema como son la humedad, el tipo de lombriz, la densidad, la temperatura y lo más importante las características del alimento o dieta a la cual se exponga la lombriz de tierra (Lugo [et al], 2017, p.481). Dentro de los aditivos con los cuales se acondiciona el vermicompostaje también encontramos a los EM (microorganismos eficaces), las pruebas realizadas sobre ello, indican que la dosis aceptable y de buen rendimiento es de 5L de EM en una 1 tonelada de masa seca de lodo (Boruszko, 2016, p.54), de esta manera podríamos decir que el proceso de vermicompostaje con la aplicación de EM demuestra gran validez y respaldo en el tratamiento de lodos, quizá por la razón de que puede acelerar el proceso



de vermicompostaje y a su vez potenciar la mineralización y la humificación de los lodos (Boruszko, 2016, pp. 58). Otro aditivo utilizado que se considera importante es la poda de hierba, cabe recalcar que muchas investigaciones sobre el vermicompostaje de lodos residuales, adecuan a la lombriz en un proceso de pre-composteo para que tengan mayor efectividad en los resultados de remoción de metales (Nascimento, 2014, p. 696), la poda de hierba sirve como buen acondicionador y potenciador en el trabajo de las lombrices de tierra, comúnmente al realizar la mixtura para el vermicompostaje se aplica un 35% de este aditivo, 45% de lodo residual, 10% de residuos municipales y 10% de aserrín (Sosnecka, Kacprzak y Rorat, 2016, p .92), en el proceso las lombrices demuestran una mayor productividad, aumentando el número de capullos y la tasa de mortalidad de la lombriz puede disminuir a un 0%, a pesar de lo dicho anteriormente, cuando se trata de la reducción de metales pesados, estos elementos tienden a aumentar, esto sucede debido a la disminución de la biomasa (Sosnecka, Kacprzak y Rorat, 2016, p .93). Cuando nos referimos al aserrín como aditivo dentro del vermicompostaje, podemos indicar que este se utiliza en pequeñas cantidades o como complemento, siendo de manera contraria a la idea primaria ya que se creía que quizá este aditivo tendría mejor acción dentro del vermicompostaje, pero sin embargo su uso mayormente se debe a que regula la relación C/N (Boruszko, 2020, p. 24) (Karlsons, 2014, p. 2)(He [et al], 2017, p. 8377). En relación a los aditivos que se usan en las investigaciones tenemos también al biocarbón, con el cual se presentan en 5 tipos, fabricados a partir de diferentes materiales, entre ellos tenemos al biocarbón de pino (PTB), biocarbon de álamo (PPB), biocarbon de plantas de humedales (WPB) y biocarbon de desechos de jardín (YWB), todos estos sirvieron como aditivos en el vermicompostaje de lodos residuales con metales pesados, sin embargo, el que mostró un mayor aporte sobre la potencialidad de la lombriz fue el biocarbon de planta de álamo, el cual ayudo en su crecimiento y su reproducción, pero lo más importante es que aumenta el nivel de supervivencia de la especie. (Khan [et al], 2019, pp. 599, 603). Finalmente, el estiércol animal como aditivo es uno de los más utilizados gracias a su abundante contenido de materia orgánica provocando una potencialización significativa a la estabilización de lodos residuales (Serrano [et al], 2016, p.178). Una de las relaciones que demuestra mayor efectividad en la reducción de toxicidad del lodo es aplicando el 70% de estiércol y 30% de lodo residual y como resultado de estas proporciones, la lombriz de tierra demuestra un mejor desarrollo, reproducción y adaptación, es así que la calidad del vermicompost obtenido será adecuada para

usarse en la agricultura (Lugo [et al], 2017, p. 482) (Xing [et al], 2014, p. 4650). Es importante tener en cuenta que la inoculación directa de la lombriz de tierra a los lodos residuales provocaría su intoxicación y muerte, esto se refuerza con el hecho que estudios existentes evidencian que la tasa de mortalidad aumenta cuando se les agrega altos contenidos de lodos, estos se caracterizan por su alto porcentaje de metales pesados, asimismo enfatizamos que en algunos casos cuando se trabaja con residuos orgánicos estos presentan cantidades considerables de Cd (cadmio) pudiendo interferir en el proceso que realiza la lombriz durante el vermicompostaje (Kizilkaya y Hepsen, 2014, p. 72). Para concluir, debemos aclarar que a pesar de que los aditivos potencian significativamente las condiciones de la lombriz, estos también contienen metales pesados que pueden interferir o beneficiar su reducción, para avalar ello, investigaciones definen como los metales que tienden a aumentar al Zn, Pb, Cu (Xing [et al], 2014, 4645) (Li [et al], 2016, p. 13) (Kizilkaya y Hepsen, 2014, p. 73). Además, para respaldar la importancia de los aditivos en el vermicompostaje, la lombriz al ser inoculada directamente en lodos que contengan metales pesados podría sufrir una intoxicación y posterior a ello morir, mayormente esto se define como la letalidad media (Lc50) (Liu [et al], 2013, p. 484)

De acuerdo a las investigaciones recuperadas según búsqueda selectiva, se identifican los siguientes metales pesados los cuales son de interés de estudio:

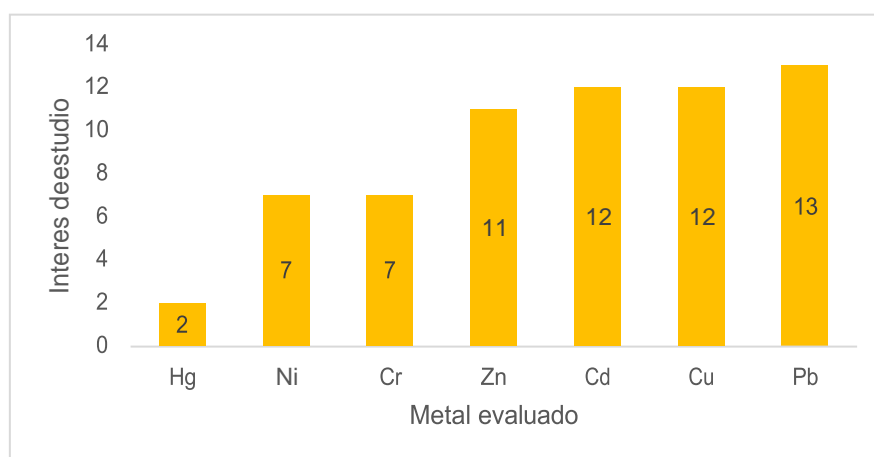


Figura 6: Metales evaluados según búsqueda selectiva.

Fuente: elaboración propia.

En la figura 6 se muestran los metales pesados que fueron analizados con mayor frecuencia durante el proceso de vermicompostaje. Parte de estos elementos pueden ser esenciales para el desarrollo del suelo y las plantas, se pueden presentar tanto de manera natural como por actividad antropogénica, es ahí cuando se altera su concentración volviéndose nocivas para un medio (Liu, et al, 2013, p. 486).

La lombriz de tierra ha demostrado gran capacidad para la acumulación de metales pesados y en especial el Pb y Cd (Serrano [et al], 2016, p.176), es por ello que podríamos decir que encabezan el número de metales más evaluados durante el vermicompostaje de lodos residuales, sin embargo otro de los metales estudiados es el Cu que de cierta manera en algunos casos tiende a aumentar su concentración al igual que el Zn, y el Ni (Rorat [et al], 2015, p. 3030) (Khan [et al], 2019, p. 603). Respecto al Cd, cabe resaltar que es uno de los metales con los cuales la lombriz tiene mayor afinidad, por lo tanto esto podría explicar que al momento de analizar los resultados finales del proceso de vermicompostaje, el Cd no es detectable ya que se debería a que la lombriz lo acumula en su cuerpo con facilidad (Rorat [et al], 2015, pp. 3030, 3033) (Kizilkaya y Hepsen, 2014, p. 78)(Zigmontien y Liberyt, 2014, p.4) (Lugo [et al], 2017, p. 481), por último cabe enfatizar que el aumento de Zn podría deberse a las condiciones a las que se someta la especie, es decir que dependerá de la mezcla de aditivos y también el contenido en el suelo al que se aplique (Rorat [et al], 2015, p. 3030).

Siendo importante el reconocimiento de los distintos aditivos que han sido utilizados en la adaptabilidad de la especie *Eisenia Fétida* en los lodos residuales municipales, se tomó una muestra de 3 artículos con los aditivos que presentan mayor eficiencia en la reducción de metales y son reportados en la siguiente gráfica:

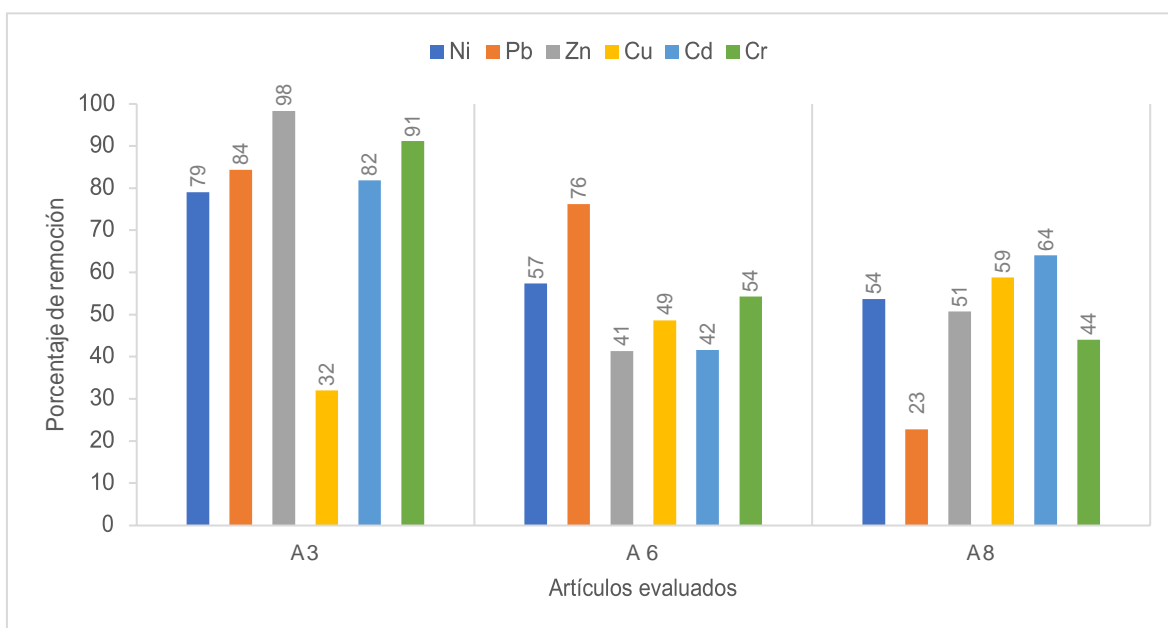


Figura 7: Remoción de metales pesados a diferentes aditivos aplicados.

Fuente: elaboración propia

En la figura 7, se observan los elementos metálicos considerados en los 3 artículos seleccionados por los autores, estas investigaciones tienen como factor común el uso de la especie *Eisenia Fétida*, sin embargo, cada uno de ellos cuentan con distintos aditivos de acondicionamiento de lodos residuales. El artículo 3 (A3) según la tabla 6, presenta como aditivos a la cascara de avellana y al estiércol de bovino, siendo esta la estrategia con mejores resultados en la reducción de metales pesados entre los artículos seleccionados. Esto se debe al uso de la proporción óptima para realizar el vermicompost (Lauritaitis y Zigmontiené, 2016, p. 2016), ya que una proporción mayor del 60% de lodos residuales en las mezclas causan la disminución de la supervivencia y crecimiento de la lombriz. Es decir, a mayor porcentaje de lodos la toxicidad se eleva y esto puede estar relacionado con altas concentraciones de  $\text{NH}_4^+$  y Zn presentes en el medio (Kızılkaya y Hepsen 2014, p. 72). En esta investigación el Zn era el metal con mayor concentración y le seguía el Cu, el Cr, el Pb, el Ni y el Cd. Como es de esperar, la especie cumple con una característica fundamental de bioacumulación (BAF), siendo un bioindicador de las concentraciones de los metales pesados posterior al proceso del vermicompostaje (Karimi, Rahimi y Kolahchi, 2017, p. 14), es por ello que se clasificó como BAF de los seis metales

pesados en el vermicompostaje durante el periodo de investigación por la lombriz *E. Fétida*: Zn > Cr > Pb > Cd > Ni > Cu (Kızılkaya y Hepsen 2014, p. 72). Sin embargo, aparte de los acondicionamientos de lodos también influye el medio natural donde será evaluado el vermicompostaje, es decir, se ha evidenciado que la bioacumulación de metales pesados en las lombrices puede variar dependiendo de la carga de sales presentes en el suelo; el Zn y el Cu son los metales que presentan mayor bioacumulación en este medio salino, teniendo en cuenta las proporciones óptimas de lodo residual (Karimi, Rahimi y Kolahchi, 2017, p. 15). Con respecto al artículo 6 (A6) según la tabla 6, presenta como aditivo un producto llamado “EM BIO”, siendo este un fertilizante comercial, proporcionando micro y macro elementos al suelo, así como también potenciando a los microorganismos en su rol de degradación y transformación de materia orgánica. Sin embargo, en la figura 7 se observa una variación notable respecto a la investigación ya mencionada (artículo A3), señalando como el segundo mejor reductor de metales pesados de los 3 artículos seleccionados, conteniendo entre 41% - 62% de fertilizante orgánico comercial y 21.3% - 48.3% de vermicompost en su medio (Boruszko, 2016, p. 56), considerando un porcentaje no mayor a 30% de lodo residual de la masa seca en el vermicompostaje (Lugo [et al], 2017, p. 482) (Xing, 2014, 4650). Por el contrario, en el tercer artículo presentado (A8), cuyo análisis es referido a un reactor compuesto por vermicompostaje de lodos residuales + arena pura, es decir, no presentan un aditivo que potencie la carga orgánica. En el reactor contenido tanto con vermicompostaje como en arena pura, dio lugar a un aumento lineal de la concentración de brotes de Zn. Sin embargo, la concentración de Cu en el medio no respondió de manera significativa a la sustitución completa del vermicompost por arena pura. El nivel de metales pesados Cd, Ni, Pb, Cr en todas las muestras analizadas estaba por debajo del límite de detección. Esto quiere decir que el metal pesado con mayor dependencia a los aditivos que se apliquen en un medio es el Zn, ya que se demostró mayor variabilidad en las tres investigaciones seleccionadas con distintas composiciones en el medio.

#### IV. CONCLUSIONES

Según la búsqueda selectiva en la literatura de acceso abierto, se llegó a identificar las diferentes lombrices con la capacidad de bioacumular y reducir los metales pesados presentes en lodos residuales de depuradora municipal; entre ellas la más reportada fue la lombriz *Eisenia Fétida*, sin embargo, se deduce que con algunos metales pesados no cumple la misma eficiencia, siendo dependiente de las condiciones en las que se encuentre el medio tratado.

El aditivo que demostró tener mayores cualidades para estabilizar el nivel de toxicidad que se presentan en los lodos residuales es el estiércol de ganado, esto es debido a su alta composición de materia orgánica, la cual se muestra como dieta empleada para la lombriz de tierra por distintas investigaciones, además de ello, provoca una rápida mineralización de los residuos, así como también mayor reproducción y crecimiento de la lombriz.

Finalmente se concluye que los metales pesados con mayor reducción según la literatura son el Zn, Cr y Pb usando la especie *Eisenia Fétida* con un medio acondicionado con estiércol y una proporción de lodo residual no mayor al 30% de masa seca en el vermicompostaje.

## V. RECOMENDACIONES

Con respecto a los trabajos de revisiones sistemáticas es importante considerar que las investigaciones recolectadas sean de bases indexadas para que de esta manera los datos que se obtengan cuenten con mayor validez y soporte.

Realizar un estudio en el cual se identifique las características fisiológicas de las lombrices de tierra *E. Fétida* y *E. Andréi* para poder explicar a detalle por qué existen metales pesados que son reducidos con mayor proporción en una especie y en otra.

Por otro lado, las investigaciones futuras deben ampliar sus estudios sobre la bioacumulación y bioconcentración de la lombriz, es decir reconocer la concentración ubicada en los tejidos de la lombriz y lo que acumula en su interior y de esta manera mejorar la definición de sus características como bioindicador de la contaminación por metales pesados presentes en un medio.

## REFERENCIAS

AYHAN, Demirbas, GABER, Edris, WALID, M. Alalayah. Sludge production from municipal wastewater treatment in sewage treatment plant. *Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization and Environmental Effects*. [en línea]. Vol. 39, n° 2. abril 2017. [Fecha de consulta: [16 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/316172618\\_Sludge\\_production\\_from\\_municipal\\_wastewater\\_treatment\\_in\\_sewage\\_treatment\\_plant](https://www.researchgate.net/publication/316172618_Sludge_production_from_municipal_wastewater_treatment_in_sewage_treatment_plant) ISSN: 15567036

AHMAD, Sartaj, SINGH, Jaswinder, PAL, Adarsh. Effect on Growth of Earthworm and Chemical Parameters during Vermicomposting of Pressmud Sludge Mixed with Cattle Dung Mixture. *Procedia Environmental Sciences*. [en línea]. Vol. 35. 2016. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/305888927\\_Effect\\_on\\_Growth\\_of\\_Earthworm\\_and\\_Chemical\\_Parameters\\_During\\_Vermicomposting\\_of\\_Pressmud\\_Sludge\\_Mixed\\_with\\_Cattle\\_Dung\\_Mixture](https://www.researchgate.net/publication/305888927_Effect_on_Growth_of_Earthworm_and_Chemical_Parameters_During_Vermicomposting_of_Pressmud_Sludge_Mixed_with_Cattle_Dung_Mixture) ISSN: 18780296

BABIÉ, S. [et al]., Fabiola [et al]. Sewage sludge toxicity assessment using earthworm *Eisenia fetida*: can biochemical and histopathological analysis provide fast and accurate insight? *Environmental Science and Pollution Research*. [en línea]. Vol. 23. marzo 2016. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=2&sid=cd786773-0d95-475d-8380-533993efd360%40sessionmgr4008&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=115900528&db=eih> ISSN: 14154366

BARIK, T. [et al]. Production of Vermicompost From Agricultural Wastes- A Review. *Agricultural Review*. [en línea]. Vol. 31, n°3. 2011. [Fecha de consulta: 4 de julio de 2020]. Disponible en: <http://www.indianjournals.com/ijor.aspx?target=ijor:ar&volume=31&issue=3&article=002> ISSN: 09760741



BRAGA, Fabiola [et al]. Chemical characterization of sewage sludge vermicompost with different proportions of diatomaceous earth. *Revista Brasileira De Engenharia Agricola E Ambiental* [en línea]. Vol. 21, n° 8. Agosto 2017. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662017000800519&script=sci\\_arttext](https://www.scielo.br/scielo.php?pid=S1415-43662017000800519&script=sci_arttext) ISSN: 14154366

BORUSZKO, Dariusz. Vermicomposting as an Alternative Method of Sludge Treatment. *Journal of Ecological Engineering* [en línea]. Vol. 21, n° 2. Febrero, 2020. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85081241974&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Vermicomposting+as+an+alternative+method+of+sludge+treatment&st2=&sid=d590ce61105744ee6f257d14236aa61b&sot=b&sdt=b&sl=75&s=TITLE-ABS-KEY%28Vermicomposting+as+an+alternative+method+of+sludge+treatment%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=> ISSN: 22998993

BORUSZKO, Dariusz. Determining the effectiveness in vermicomposting of sewage sludges and the attempt to increase the effectiveness by applying bacterial microorganisms. *Journal of Ecological Engineering* [en línea]. Vol. 17, n° 3. julio 2016. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976866403&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Determining+the+effectiveness+in+vermicomposting+of+sewage+sludges+and+the+attempt+to+increase+the+effectiveness+by+applying+bacterial+microorganisms&st2=&sid=9149feb626951388c329880eea8fd39f&sot=b&sdt=b&sl=164&s=TITLE-ABS-KEY%28Determining+the+effectiveness+in+vermicomposting+of+sewage+sludge+s+and+the+attempt+to+increase+the+effectiveness+by+applying+bacterial+microorganisms%29&relpos=0&citeCnt=2&searchTerm=> ISSN: 22998993

BOZYM, Marta. Vermicomposting of sewage sludge. *Chemik* [en línea]. Vol. 10. 2016. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en:

[https://www.researchgate.net/publication/311387768\\_Vermicomposting\\_of\\_sewage\\_sludge](https://www.researchgate.net/publication/311387768_Vermicomposting_of_sewage_sludge) ISSN: 00092886

COMPAGNONI, L, PUTZOUL, G. Cría moderna de las lombrices y utilización rentable del humus. [en línea]. Estados Unidos: De Vecchi Ediciones, 2018 [fecha de consulta: 03 de julio de 2020]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliocv/reader.action?docID=5510077&query=vermicompostaje> ISBN: 9781683255901

Edwards, Clive A., Arancon, Norman Q. y Sherman Rhonda L. Vermiculture Technology : Earthworms, Organic Wastes, and Environmental Management [en línea]. 1.a ed. Estados Unidos: Taylor & Francis Group, 2010 [fecha de consulta: 03 de julio de 2020]. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/bibliocv/reader.action?docID=665575&query=vermicompostaje> ISBN: 9781439809884

HE, Xin [et al]. Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials. *Bioresource Technology*. [en línea]. Vol. 218. Octubre 2016. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960852416310239> ISSN: 09608524

HE, Xin [et al]. Vermicompost as a natural adsorbent: evaluation of simultaneous metals (Pb, Cd) and tetracycline adsorption by sewage sludge-derived vermicompost. *Environmental Science And Pollution Research*. [en línea]. Vol. 24, nº 9. marzo 2017. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1986212548/A7D1C3D791804A00PQ/2?accountid=37408> ISSN: 09441344

KARIMI, Fatereh. RAHIMI, Ghasem. KOLAHCHI, Zahra [et al] Interaction effects of salinity, sewage sludge, and earthworms on the fractionations of Zn and Cu, and the metals uptake by the earthworms in a Zn- and Cu-contaminated calcareous soil.

*Environmental Science And Pollution Research*. [en línea]. Vol. 24, n° 9. Marzo 2017. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1986212548/A7D1C3D791804A00PQ/2?accountid=37408> ISSN: 09441344

KARLSONS, Andis [et al]. Vermicompost from municipal sewage sludge affects growth and mineral nutrition of winter rye (*Secale cereale*) plants. *Journal of plant nutrition* [en línea]. Vol. 0 n° 0. septiembre, 2014. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/282972273\\_Vermicompost\\_from\\_Municipal\\_Sewage\\_Sludge\\_Affects\\_Growth\\_and\\_Mineral\\_Nutrition\\_of\\_Winter\\_Rye\\_Secale\\_cereale\\_Plants](https://www.researchgate.net/publication/282972273_Vermicompost_from_Municipal_Sewage_Sludge_Affects_Growth_and_Mineral_Nutrition_of_Winter_Rye_Secale_cereale_Plants) ISSN: 09441344

HURTADO, Maria. Proceso De Transformación De Biosólidos De Las Plantas De Tratamiento De Aguas Residuales (Ptar) Con Vermicompostaje Y Su Aplicación En Germinación, Caso Países Europeos: España, Reino Unido, Francia, Portugal, Italia. Tesis (Ingeniero Ambiental). Bogotá: Universidad Militar Nueva Granada, 2015. Disponible en: <https://repository.unimilitar.edu.co/bitstream/handle/10654/7524/TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf;jsessionid=F9122DF88AE83EDBE59EE60B2FA56B9B?sequence=1>

KIZILKAYA, Ridvan, HEPSEN S. Turkey. Vermicomposting of Anaerobically Digested Sewage Sludge with Hazelnut Husk and Cow Manure by Earthworm *Eisenia foetida*. *Compost Science and Utilization* [en línea]. Vol. 22, n°2. mayo 2014. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1675192165/fulltext/CC1DDE7DCF73443APQ/1?accountid=37408> ISSN: 1065657X

KHAN, Muhammad [et al]. *Eisenia fetida* and biochar synergistically alleviate the heavy metals content during valorization of biosolids via enhancing vermicompost quality. *Science of the Total Environment*. [en línea]. mayo 2019. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en:

<https://www.researchgate.net/publication/333532433> Eisenia fetida and biochar synergistically alleviate the heavy metals content during valorization of biosolids via enhancing vermicompost quality ISSN: 00489697

LI, Yukui [et al]. Effects of Different Ratios of Sewage Sludge and Cattle Manure on Growth and Propagation of *Eisenia Fetida*. *Plos One*. [en línea]. Vol. 11, n° 6. Mayo – junio 2016. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0156492> ISSN: 19326203

LIU [et al]. Sludge earthworm composting technology by *Eisenia fetida*. *Journal of Material Cycles and Waste Management* [en línea]. Vol. 15. Julio, 2013. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=aa600855-3d89-40dd-aca0-ab1b49061ea1%40sessionmgr4006> ISSN: 16118227

LÓPEZ, C. [et al]. Tratamiento biológico de aguas residuales : principios, modelación y diseño. [en línea]. Hamburgl. WA Publishing, 2017. [fecha de consulta: 03 de julio de 2020]. Capítulo 3. Caracterización de las aguas residuales. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucv/detail.action?docID=5188465&query=biosolidos%2C%20lombrices> ISBN: 9781780409146

LUGO, Jorge [ et al]. Organic fertilizer made with sewage sludge and horse manure through vermicompositing: A proposal as a soil improver. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental* [en línea]. Vol. 33, n°3. abril 2017. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85026733250&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Organic+fertilizer+mado+with+sewage+sludge+and+horse+manure+through+vermicompositing%3a+A+proposal+as+a+soil+improver&st2=&sid=26372e1707dc9dd4b7cf450e481653fe&sot=b&sdt=b&sl=130&s=TITLE-ABS-KEY%28Organic+fertilizer+mado+with+sewage+sludge+and+horse+manure+thro>

ugh+vermicompositing%3a+A+proposal+as+a+soil+improver%29&relpos=0&citeCnt=1&searchTerm= ISSN: 0188-4999

MUPONDI, Lushian [et al]. Vermicomposting manure-paper mixture with igneous rock phosphate enhances biodegradation, phosphorus bioavailability and reduces heavy metal concentrations. *Heliyon*. [en línea]. Agosto, 2018. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/327097962\\_Vermicomposting\\_manure-paper\\_mixture\\_with\\_igneous\\_rock\\_phosphate\\_enhances\\_biodegradation\\_phosphorus\\_bioavailability\\_and\\_reduces\\_heavy\\_metal\\_concentrations](https://www.researchgate.net/publication/327097962_Vermicomposting_manure-paper_mixture_with_igneous_rock_phosphate_enhances_biodegradation_phosphorus_bioavailability_and_reduces_heavy_metal_concentrations) ISSN: 24058440

NASCIMENTO, Altina [et al]. Metais pesados em girassol adubado com lodo de esgoto submetido a diferentes processos de estabilização. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*. [en línea]. Vol. 18, n° 7. Febrero, 2014. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84903439603&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Metais+pesados+em+girassol+adubado+com+lodo+de+esgoto+submetido+a+diferentes+processos+de+estabiliza%c3%a7%c3%a3o&st2=&sid=e4da1ec70c72f681bae746d87ed7f80e&sot=b&sdt=b&sl=118&s=TITLE-ABS-KEY%28Metais+pesados+em+girassol+adubado+com+lodo+de+esgoto+submetido+a+diferentes+processos+de+estabiliza%c3%a7%c3%a3o%29&relpos=0&citeCnt=6&searchTerm=> ISSN: 14154366

PANDAY, Raju [et al]. Bioconcentration Of Heavy Metals In Vermicomposting Earthworms (Eisenia Fetida, Perionyx Excavatus And Lampito Mauritian) In Nepal. *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences*. [en línea]. Vol. 3. n° 5. abril 2014. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=3348c3c5-24ba-43ff-aa3d-a6fcbf35df9e%40sdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=edsbas.9751BEB6&db=edsbas> ISSN: 13385178

RASTETTER, Nadja, GERHARDT, Almut. Toxic potential of different types of sewage sludge as fertiliser in agriculture: ecotoxicological effects on aquatic, sediment and soil indicator species. *Journal of Soils and Sediments*. [en línea]. Vol. 17. Junio, 2016. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.deepdyve.com/lp/springer-journals/toxic-potential-of-different-types-of-sewage-sludge-as-fertiliser-in-6zzyF5oIP9> ISSN: 16147480

RAZA, Syed, [et al]. Vermicomposting by *Eisenia fetida* is a Sustainable and Eco-Friendly Technology for Better Nutrient Recovery and Organic Waste Management in Upland Areas of China. *Pakistan Journal Of Zoology*. [en línea]. Vol. 51, n°3. Junio 2019. [Fecha de consulta: 16 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=4&sid=d4174967-de5f-4f85-9ae7-8915dce4a47c%40sdc-v-sessmgr01&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZl#AN=136247501&db=eih> ISSN: 00309923

RORAT, Agnieszka [et al]. Interactions between sewage sludge-amended soil and earthworms—comparison between *Eisenia fetida* and *Eisenia andrei* composting species. *Environmental Science And Pollution Research*. [en línea]. Vol. 23, n° 4. Febrero 2015. [Fecha de consulta: 08 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1788603743/fulltextPDF/C5ECB90206454B4PQ/1?accountid=37408> ISSN: 09441344

SALLEH, Syahmi, MAJID, Nik, AZIZ, Nor. Effects Of Sewage Sludge Vermicompost And Mineral Fertilizer Application On The Aboveground Biomass And Yield Of Maize (*Zea Mays*). *Malaysian Applied Biology*. [en línea]. Vol. 44, n°1. abril 2015. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=0&sid=382ed21f-7754-4e1f-9a9c-0dca4e19f956%40sessionmgr4007&bdata=Jmxhbm9ZXMmc2l0ZT1IZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=116281514&db=a9h> ISSN: 1268643

SERRANO, Nancy [et al]. Effects of residual sludge and vermicompost organic waste on organic indicators and catalase. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental* [en línea]. Vol. 32. noviembre 2016. [Fecha de consulta: 18 de mayo de

2020]. Disponible en: [https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85031086898&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Effects+of+residual+sludge+and+vermicompost+organic+waste+on+organic+indicators+and+catalase&st2=&sid=42855ec187c23e09a95c7bd65750770b&sot=b&sdt=b&sl=107&s=TITLE-ABS8KEY%28Effects+of+residual+sludge+and+vermicompost+organic+waste+on+organic+indicators+and+catalase%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=\\_\\_\\_\\_\\_](https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85031086898&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Effects+of+residual+sludge+and+vermicompost+organic+waste+on+organic+indicators+and+catalase&st2=&sid=42855ec187c23e09a95c7bd65750770b&sot=b&sdt=b&sl=107&s=TITLE-ABS8KEY%28Effects+of+residual+sludge+and+vermicompost+organic+waste+on+organic+indicators+and+catalase%29&relpos=0&citeCnt=0&searchTerm=_____) ISSN: 01884999

SINGH, Manish y SINGH, Priyanka. Handbook on Vermicomposting: Requirements, Methods, Advantages and Applications. [en línea]. Hamburg: Anchor, 2015. [fecha de consulta: 03 de julio de 2020]. Capítulo 7. PROPERTIES OF VERMICOMPOST. Disponible en: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=4&sid=afa31b5d-09e0-451b-8270-29e0758bc4b2%40pdc-v-sessmgr04&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#AN=1007006&db=e000xww> ISBN: 9783954892761

SINGH, Keshav [et al]. Bioaccumulation of Cobalt and Lead by Earthworm *Eisenia fetida* from Sewage sludge with different cattle dung during Vermicomposting. *Research Journal of Science and Technology*. [en línea]. Vol. 6, n° 4. octubre 2014. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1648968231/290E867B0E43434BPQ/1?accountid=37408> ISSN: 23492988

SOSNECKA, Aleksandra, KACPRZAK, Malgorzata, RORAT, Agnieszka. Vermicomposting as an alternative way of biodegradable waste management for small municipalities. *Journal of Ecological Engineering* [en línea]. Vol. 17, n° 3. Julio 2016. [Fecha de consulta: 09 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84976878575&origin=resultslist&sort=plf-f&src=s&st1=Vermicomposting%20as+an+alternative+way+of+biodegradable+waste+management+for+small+municipalities&st2=&sid=8176bbefdf6086417de0827c04e53666&sot=b&sdt=b&sl=111&s=TITLE-ABS->

KEY%28Vermicomposting%c2%a0as+an+alternative+way+of+biodegradable+wa  
ste+management+for+small+municipalities%29&relpos=0&citeCnt=2&searchTerm  
≡ ISSN: 22998993

STERNBECK, Jhon [et al]. Using sludge on arable land – effect based levels and longterm accumulation for certain organic pollutants.[en línea]. Nordic Council of Ministers, Copenhagen 2011 [fecha de consulta: 03 de julio de 2020]. Disponible en:

<https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucv/reader.action?docID=3383108&query=Sternbeck> ISBN: 9789289321945

SOLIS, Ludibeth, ISLAS, Marina, ESTELLER. Vicenta, Vermicomposting of Sewage Sludge: Earthworm Population and Agronomic Advantages. Compost Science and Utilization. [en línea]. Vol. 20, n°1. 2012. [Fecha de consulta: 04 de julio de 2020]. Disponible en: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=9d9cbcc5-47d2-4f03-9359-ade3148d58b6%40sessionmgr4008> ISSN: 1065657X

TYAGI [et al]. Sustainable Sludge Management : Production of Value Added Products. [en línea]. Estados Unidos:American Society of Civil Engineers, 2009. [fecha de consulta: 03 de julio de 2020]. Capítulo 2: Wastewater Sludge Characteristics. Disponible en: <https://ebookcentral.proquest.com/lib/biblioucv/reader.action?docID=3115241&query=sewage+sludge> ISBN: 9780784472989

VELASCO [et al]. EMISIÓN DE AMONIACO DURANTE LOS PROCESOS DE COMPOSTAJE Y VERMICOMPOSTAJE: ASPECTOS PRÁCTICOS Y APLICADOS. Agroproductividad. [en línea]. Vol. 9, n° 8. agosto 2016. [Fecha de consulta: 04 de julio de 2020]. Disponible en: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=7&sid=11e6c52c-e604-4b1a-8268->



0a88d0c3a82a%40sessionmgr101&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#AN=118231615&db=fua ISSN: 24487546

WU, Daoming [et al]. Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter. *Science of The Total Environment*. [en línea]. Vol. 633. agosto 2018. [Fecha de consulta: 21 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969718309264> ISSN: 00489697

XING, Meiyan [et al]. Towards understanding the effects of additives on the vermicomposting of sewage sludge. *Environmental Science and Pollution Research*. [en línea]. Vol. 22, no. 6. Marzo 2014. [Fecha de consulta: 17 de mayo de 2020]. Disponible en: <https://search.proquest.com/docview/1648968231/290E867B0E43434BPQ/1?accountid=37408> ISSN: 09441344

YADAV, Shweta y SINGH, V. Vermitechnology: Rebuilding of Sustainable Rural Livelihoods. [en línea]. New York : Nova Science Publishers, Inc. 2014. [fecha de consulta: 03 de julio de 2020]. Capítulo 4. Vermitechnology: A Simple Technique Disponible en: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=0&sid=15610485-5de9-4116-ba8b-37b0dd689b3a%40pdc-v-sessmgr02&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#AN=817137&db=e000xww> ISBN: 9781631179433

ZIGMONTIENÉ, Aušra, LIBERYTÉ, Indré. Heavy metals (Cr, Cd and Ni) concentrations in sewage sludge and bioaccumulation by Californian earthworms in the process of vermicomposting. *International Conference on Environmental Engineering* [en línea]. Vol. 9. Mayo 2014 [Fecha de consulta: 18 de mayo 2020]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/269224375> Heavy Metals Cr Cd And

Ni Concentrations in Sewage Sludge and Bioaccumulation By Californian Earthworms in the Process of Vermicomposting ISSN: 0000-2011

ZIGMONTIENÉ, Aušra, LAURINAITIS, Domas. Vermikomposto įtakos sunkiųjų metalų bioakumulacijai pievinėje miglėje (*Poa pratensis*) tyrimų analizė. *Environmental Protection Engineering* [en línea]. Vol. 8. n° 4. 2016 [Fecha de consulta: 18 de mayo 2020]. Disponible en: <http://eds.a.ebscohost.com/eds/detail/detail?vid=7&sid=aa600855-3d89-40dd-aca0-ab1b49061ea1%40sessionmgr4006&bdata=Jmxhbmc9ZXMmc2l0ZT1lZHMtbGl2ZQ%3d%3d#AN=119183513&db=a9h> ISSN: 0324-882