



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Aplicación de Vermicompost para la remediación de suelos
contaminados por metales pesados: Revisión Sistemática**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Arenaza Fababa, Sergio (0000-0001-5228-7531)

ASESOR:

Dr. Valdiviezo Gonzales, Lorgio Gilberto (0000-0002-8200-4640)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y Gestión de los Residuos

LIMA – PERÚ

2021

DEDICATORIA

Dedicado a Dios, al Señor de los Milagros y a la Virgen de la Candelaria.

Dedicado para mis padres Juan y Adela, quienes me han apoyado todo momento, a pesar de las diferentes circunstancias presentadas durante el trascurso del desarrollo de mi carrera, dándome fortaleza, confianza y ánimo para seguir adelante.

Dedicado para mi hermana menor Hanny Nicole y a mi sobrina Domenica quienes han sido fuente de motivación para no rendirme y poder llegar a culminar mis estudios para ser un ejemplo para ambas.

AGRADECIMIENTO.

Agradezco a los ingenieros Lorgio Valdiviezo y Fernando Sernaqué por la capacidad de enseñanza y apoyo para el desarrollo de la presente tesis.

Agradezco a mi alma mater Universidad César Vallejo.

Agradezco a mi jefe Diego Vivanco y compañeros por su apoyo y confianza mostrada hacia mi persona.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
RESUMEN	6
ABSTRACT	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. MARCO TEÓRICO.....	11
III. MÉTODO.....	22
3.1 Tipo y diseño de investigación	22
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística	22
3.3 Escenario de estudio	24
3.4 Participantes.....	24
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	24
3.6 Procedimientos.....	24
3.7 Rigor científico.....	26
3.8 Método de análisis de información	27
3.9 Aspectos éticos	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	28
V. CONCLUSIONES	40
VI. RECOMENDACIONES	41
BIBLIOGRAFIA	42
ANEXOS	53

INDICE DE TABLAS

<i>Tabla 1 – Nutrientes de vermicompost (vc) vs compost (c)</i>	14
<i>Tabla 2 – Principales hallazgos de los antecedentes de investigación</i>	18
Tabla 3 - Matriz de categorización apriorística	23
<i>Tabla 4 - Procedimiento de búsqueda y filtración de artículos científicos.</i>	25
Tabla 5 - Principales materias primas usadas en los artículos revisados	28
Tabla 6 – Conteo de materia prima según condición de aplicación	29
Tabla 7 - Días de pre compostaje según artículos revisados	31
<i>Tabla 8 - Propiedades de la muestra inicial y propiedades finales del suelo estudiado</i>	34
Tabla 9 - Porcentaje de reducción de metales pesados en el suelo	37

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Proceso de obtención de vermicompost</i>	12
<i>Figura 2 - Fases para la obtención del vermicompost</i>	13
<i>Figura 3– Sistemas de elaboración de vermicompost</i>	17
Figura 4 – Cantidad de artículos que presentan días de pre compostaje	30
Figura 5 - Lombrices de tierra empleadas	32

RESUMEN

Se realizó una revisión sistemática de la aplicación del vermicompost para remediar suelos contaminados por metales pesados, de los cuales se analizó la relación entre la materia prima y características del vermicompost y las características finales del suelo luego de la aplicación de vermicompost, para ello, se consideraron 26 investigaciones. La literatura demostró que las materias primas más utilizadas son el estiércol de vaca y los residuos de plantas, también demostró qué factores como el pH, humedad, conductividad eléctrica y la relación C/N, afectan el proceso de vermicompostaje positivamente e influyen en las características finales del vermicompost, asimismo, demuestra que la lombriz *Eisenia fétida* se usa frecuentemente en el proceso, debido a su gran capacidad de degradación y supervivencia. Adicionalmente, se puede afirmar que la aplicación de vermicompost, mejora las características del suelo y reduce la disponibilidad y/o movilidad de los metales pesados en el suelo, por lo que se considera altamente eficiente. Frente a los resultados obtenidos, se recomienda establecer las fuentes de materia prima, especie de lombriz y días de pre-compostaje que se designaron para la obtención del vermicompost para realizar un estudio más profundo a nivel nacional y establecer su viabilidad, respecto al tiempo y costo.

Palabras clave: Vermicompost, metales pesados, parámetros fisicoquímicos del suelo, remediación de suelo.

ABSTRACT

A systematic review of the application of vermicompost was carried out to remedy soils contaminated by heavy metals, of which the relationship between the raw material and characteristics of the vermicompost and the final characteristics of the soil after the application of vermicompost. Was considered 26 investigations. The literature showed that the most used raw materials are cow manure and plant residues, it also showed that factors such as pH, humidity, electrical conductivity and the C/N ratio, affect the vermicomposting process positively and influence the characteristics the end of the vermicompost, also, shows that the *Eisenia fetida* worm is frequently used in the process, due to its great capacity for degradation and survival. Additionally, it can be stated that the application of vermicompost improves soil characteristics and reduces the availability and / or mobility of heavy metals in the soil, which is why it is considered highly efficient. In view of the results obtained, it is recommended to establish the sources of raw material, earthworm species and pre-composting days that were designated for obtaining vermicompost in order to carry out a more in-depth study at the national level and establish its viability, regarding time and cost.

Keywords: Vermicompost, heavy metals, Physicochemical soil parameters, soil remediation.

I. INTRODUCCIÓN

Con el crecimiento demográfico, hay una mayor demanda de la tierra agrícola, mayor demanda de alimentos y mayor uso de suelo para la industrialización, etc. lo cual tiene como principal consecuencia el aumento de la contaminación del suelo, que presenta riesgos para la salud de los seres humanos y el medio ambiente (Chirakkara, Cameselle y Reddy, 2016, p. 1). El uso continuo de productos químicos en los campos también se ha visto en aumento y con ello el contenido de metales pesados en el suelo como cadmio (Cd), plomo (Pb), cobalto (Co), mercurio (Hg), entre otros (Jusselme et al., 2015, p. 279).

A nivel mundial, la contaminación del suelo ha aumentado enormemente en las últimas décadas y se ha convertido en un problema generalizado, por ejemplo, se estima que hay más de 2,5 millones de sitios potencialmente contaminados en Europa (Shi, Tang y Wang, 2017, p. 2). En Asia, en particular países como China, India, Pakistán y Bangladesh, se viene luchando contra más de 20 millones de hectáreas de suelo contaminado (Shah y Daverey, 2020, p. 2), por metales pesados, venidos de las actividades industriales, los gases de escape de los vehículos, la producción de energía y el desarrollo de la tecnología, en consecuencia las nanopartículas metálicas se han utilizado ampliamente y se han liberado al medio ambiente, lo que tiene un efecto negativo en los organismos vivos (Zhang y Chen, 2017, p. 2). En Norteamérica, en Los Estados Unidos, aproximadamente el 90% de zonas industriales están altamente contaminadas, debido a las actividades asociadas con la exploración, transporte y procesamiento de petróleo y la falta de la eliminación de desechos peligrosos (Koshlaf y S Ball, 2017, p. 2).

Refiriéndose al Perú, en general la contaminación antropogénica está bastante extendida, siendo que, las actividades industriales son consideradas como la mayor potencia de fuente de contaminación de los suelos (Morillas et al., 2020, p. 4), la exposición humana a la contaminación por metales pesados es una gran preocupación, como en otras regiones del mundo y revela la necesidad de evaluar la inocuidad del suelo y alimentos con respecto a la presencia de metales no esenciales en las partes comestibles de los cultivos alimentarios. Altas concentraciones de Cu, Zn, Pb, As y otros han sido reportados desde varios sitios

(Custodio et al., 2021, p. 2). Por ejemplo, cerca de una mina de oro en Arequipa, se mostró exposición a As, Cd y Pb, cerca de comunidades a una mina artesanal se mostró exposición al Hg, lo mismo en Madre de Dios (Román-Ochoa et al., 2021, p. 2, cita a Constantin y Mayta Coaguila, 2015 y Wyatt et al., 2017), cerca del río Tumbes se encontró exposición al As, mientras que en Piura se indicó altas concentraciones de Cd (Mondal et al., 2020, p. 5).

La creciente demanda de remediación del suelo ha traído consigo el desarrollo de numerosas tecnologías químicas y físicas para el tratamiento o remoción de contaminantes (da Silva y Maranhó, 2019, p. 2), tales como extracción de vapor del suelo, lavado del suelo, estabilización y solidificación, remediación electrocinética, desorción térmica, oxidación química in situ, bombeo y tratamiento, etc. (Chirakkara, Cameselle y Reddy, 2016, p. 2). Sin embargo, la mayoría de estas tecnologías implican mano de obra intensiva, altos costos y cambios irreversibles en las propiedades fisicoquímicas del suelo (Shi et al., 2019, p. 1).

La biorremediación, es una técnica considerada como una opción ecológica y rentable debido a su eficacia y rentabilidad para remediar los suelos (Saini et al., 2020, p. 3), en la que se usan enmiendas de microorganismos y organismos vivos (microbios y las lombrices de tierra), capaz de remediar o degradar diversos contaminantes a sustancias más simples y no tóxicas. Este tipo de remediación de suelo ha demostrado alto potencial para corregir y mejorar las condiciones del suelo (Lim, Lau y Poh, 2016, p. 3).

La técnica del vermicompost, es una de las técnicas de biorremediación más factibles y respetuosas con el medio ambiente, se considera una opción viable (Bhat, Singh y Vig, 2018, p. 2). Muchos autores han informado que el vermicompostaje podría disminuir la disponibilidad de metales pesados tóxicos, su efectividad radica en que los contaminantes sean adsorbidos o se biodegraden para que eventualmente se conviertan en compuestos no tóxicos (Lv, Xing y Yang, 2016, p. 2), además tiene un valor nutricional más alto que los abonos tradicionales, por lo que aporta los nutrientes esenciales para la calidad y mejora del suelo (Hussain y Abbasi, 2018, p. 7-8).

De acuerdo a lo expresado respecto a la contaminación del suelo existe la

necesidad de tomar medidas correctivas para remediación, con técnicas y tecnologías ambientales, efectivas y económicas (Rodríguez Eugenio et al, 2019, p. 75), es de gran importancia que toda medida asumida involucre a toda población y autoridades competentes; siendo estos los gestores de amparar por la preservación y conservación de los ecosistemas (MINAM, 2013, p. 14).

En función de la realidad problemática planteada, se propone el siguiente problema de investigación: ¿Cuáles son los aspectos más relevantes de la aplicación de vermicompost para suelos contaminados por metales pesados? Asimismo, se plantea como problemas específicos: i) ¿Cuáles son las materias primas más usadas y qué relación tiene con las características del vermicompost?, para en seguida conocer, ii) ¿Cuáles son las características finales del suelo luego de la aplicación de vermicompost?

La investigación se justifica teóricamente dado que pretende aportar conocimiento en cuanto a la técnica del vermicompostaje, que se viene ejecutando y aplicando en otros países y que es escasa su aplicación en el Perú, se presenta las definiciones y los complementos necesarios para comprender la teoría de acuerdo al tema de la investigación (Borggaard et al, 2019, p. 10).

Bajo lo indicado, se plantea el objetivo general: i) Sistematizar las investigaciones más recientes sobre la aplicación del vermicompost como medio para remediar suelos contaminados por metales pesados. Consecutivamente, los objetivos específicos son: i.i) Analizar la relación entre las materias primas más usadas y las características del vermicompost y i.ii) Analizar las características finales del suelo luego de la aplicación de vermicompost.

II. MARCO TEÓRICO

Los metales pesados se producen naturalmente en la corteza terrestre, pero las actividades antropogénicas son la causa principal de la contaminación generalizada en el medio ambiente (Mudhoo et al., 2020, p. 2). La contaminación por metales pesados se considera un problema global generado principalmente por actividades humanas (Zhang et al., 2019, p. 2), uno de los factores más importantes, es el avance de algunas actividades industriales que forman parte de un riesgo moderado del impacto negativo al ambiente (Guzmán-Morales et al., 2019, p. 2), siendo la industria de minería y las actividades de procesamiento, las fuentes de más influencia en la contaminación de suelos (Mondal et al., 2020, p. 5).

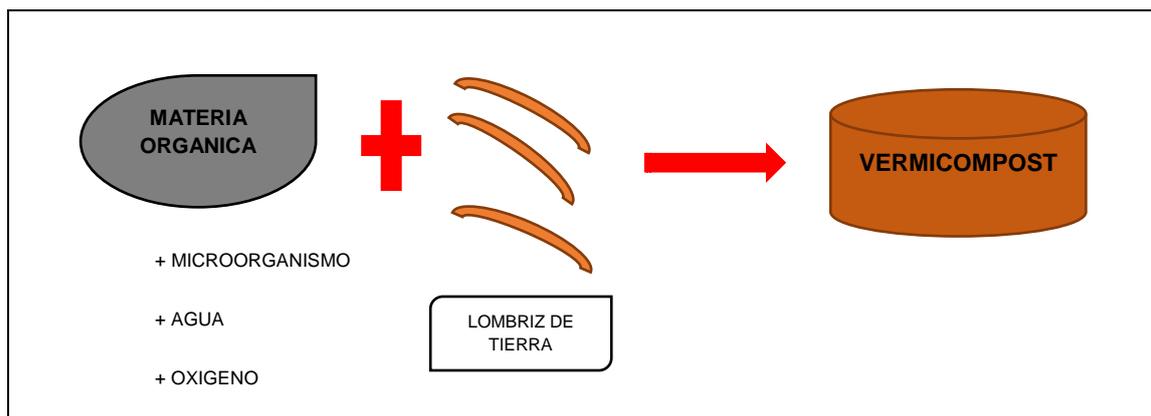
La exposición de metales pesados y su acumulación constituye un riesgo para el suelo, cultivos, el agua (Barraza et al., 2018, p. 2) y para el balance de los ecosistemas, además, esta contaminación tiende a generar serios problemas para la salud humana (Weissmannová et al., 2019, p. 16).

El suelo contaminado puede remediarse utilizando técnicas físicas, químicas o biológicas (Singh y Singh, 2020, p. 2). Existen diferentes métodos que fueron desarrollados y aplicados con diferente éxito para la remediación de metales pesados (Chirakkara, Cameselle y Reddy, 2016, p. 2).

Uno de los métodos de remediación más aplicados, es la biorremediación que tienen muchos beneficios, que incluyen alta velocidad, facilidad de control, bajos costos, alta aceptabilidad ambiental y para la salud, y potencial para usarse a cualquier escala (Esmaeili et al., 2020, p. 2), su aplicación es de primordial importancia para regular y mejorar las funciones ambientales del suelo (Ngo et al., 2013, p. 4). El compostaje y el vermicompostaje son procesos biológicos que pueden utilizarse para la gestión de residuos orgánicos y posterior aplicación al suelo (Esmaeili et al., 2020, p. 2, cita a Adhikary, 2012 y Kumar et al., 2012).

Cuando en el proceso normal de compostaje se agregan lombrices de tierra para acelerar la actividad de degradación, se le denomina proceso de vermicompostaje (Samal et al., 2019, p. 2), en la figura 1 se muestra el proceso de vermicompostaje.

Figura 1 – Proceso de obtención de vermicompost



Fuente: Elaboración propia

Es un proceso que implica la acción en conjunto de microorganismos y lombrices de tierra, en el que los desechos orgánicos se reciclan (Cao et al., 2021, p. 2), del cual se obtiene un material similar al humus denominado vermicompost (Yatoo et al., 2020, p. 169). El vermicompost es definido como una descomposición de los residuos orgánicos por la acción combinada de las lombrices de tierra (Bhat et al., 2018, p. 2) y los microorganismos ambientalmente asociados (Wang, Wang y Song, 2021, p. 2), es un proceso aeróbico, biooxidativo (Kiyasudeen, Ibrahim y Ismail, 2020, p. 282), que hace uso del ciclo de vida de la lombriz (es decir, alimentación, excavación, metabolismo, secreción) y su interacción con otros factores abióticos y bióticos para acumular, extraer, transformar o degradar contaminantes en el medio ambiente del suelo (Shi et al., 2019, p. 2).

Esta técnica permite la transformación de residuos sólidos orgánicos con alta probabilidad de generar daños al suelo, en productos de gran valor (Kouba et al., 2018, p. 2), es un ejemplo de la reutilización de residuos orgánicos. En este proceso, los microorganismos degradan los contaminantes orgánicos biodegradables y los transforman en dióxido de carbono y agua (Samal et al., 2019, p. 2). Su transformación permite que el proceso de humificación en el suelo, que es lenta y gradual, y que puede tardar miles de años en producirse, se acelere a unos 3 meses, lo que lleva a la materia orgánica reciente a un estado de estabilización debido a varias enzimas que están presentes dentro de las lombrices de tierra (Dores-Silva et al., 2018, p. 1).

Los requisitos mínimos a tener en cuenta, para considerar a un producto como

enmienda orgánica vermicompost, es que sea un producto derivado de residuos orgánicos por digestión con lombrices; y debe tener un contenido de materia orgánica total: 30%, humedad máxima: 40%, C/N < 20 y el 90% de las partículas pasarán por la red de 25 mm., además de tener otras consideraciones como el pH, conductividad eléctrica, ácidos húmicos y el tipo o tipos de materia orgánica empleados (MAPA, 2015, p. 42).

Las especies de lombrices de tierra que son apropiadas para vermicompostaje son las especies epigeas (*Eisenia foetida*, *Perionyx excavatus*, *Eudrilus eugeniae*, etc.), siendo el caso de la lombriz *Eisenia foetida* la que más se usa en todo el mundo para el vermicompostaje, debido a su tolerancia a la temperatura (10–35 ° C), también que tiene la capacidad de reproducirse y duplicarse en 60 días y consumir alimentos equivalentes a su peso corporal por día en condiciones apropiadas (Yatoo et al., 2020, p. 169).

Hay tres fases involucradas para la obtención del vermicompost, siendo estos la fase activa, fase mesofílica y fase de maduración, como se observa a continuación en la figura 2.

Figura 2 - Fases para la obtención del vermicompost



Fuente: Elaboración propia adaptado de (Gómez-Brandón y Domínguez, 2014), (Olle, 2019) y (Yuvaraj et al., 2021).

En la fase activa, los desechos orgánicos se pre-compostan durante un promedio de 15 días durante la cual las lombrices de tierra procesan el sustrato orgánico, modificando así su estado físico y composición microbiana (Gómez-Brandón y Domínguez, 2014, p. 1293), en esta primera fase, se eliminan las materias y

microrganismos que pueden ser dañinas para las lombrices de tierra. La segunda fase, es la fase mesofílica, donde las lombrices por mediación de sus funciones de descomposición de la materia orgánica, acoplan estas partículas con las del suelo, de modo que, generan efectos positivos para las actividades microbianas y acondicionan los materiales de desecho orgánicos para la formación de abonos orgánicos (Olle, 2019, p. 2). Por último, la fase de maduración y estabilización, donde las lombrices de tierra expulsan los materiales mezclados y maduros que generan el producto final (Yuvaraj et al., 2021, p. 5).

El Vermicompost se caracteriza por su gran contenido nutritivo, lo que lo hace tener un gran valor (Lim et al., 2015, p. 3), en la Tabla 1 se muestra ejemplos de la composición de nutrientes del vermicompost a partir de diversos derivados comparado con un compost tradicional.

Tabla 1 – Nutrientes de vermicompost (vc) vs compost (c)

Materia prima		Carbón orgánico	Nitrógeno	Fósforo	Potasio
Desperdicios de cocina	VC	10.3	0.85	0.15	-
	C	7.37	0.7	0.09	-
Residuos verdes y de poda	VC	-	2.05	0.42	1.21
	C	-	2.2	0.38	0.83
Bagazo de caña	VC	24.62	1.14	0.46	1.61
	C	24.22	0.98	0.31	1.52
Malezas	VC	23.88	1.88	1.01	1.52
	C	23.12	0.98	0.31	1.31
Residuos orgánicos de mercados	VC	23.92	2.11	1.22	1.45
	C	23.05	1.81	0.89	1.23
Paja de Arroz	VC	24.16	1.12	0.43	1.64
	C	23.89	0.96	0.22	1.6

Fuente: Elaboración propia adaptado de (Lim et al., 2015)

El contenido total de nutrientes en el vermicompost depende de las características de la materia prima. Diversas materias primas pueden ser productos muy valiosos para la obtención del vermicompost (Zhang et al., 2019, p. 1).

Los posibles residuos para el procesamiento y generación de vermicompost son: (a) desechos agrícolas; (b) desperdicio de procesamiento de la industria de alimentos; (c) residuos de procesamiento de madera: astillas de madera, virutas de madera, aserrín; (d) desechos de otras industrias, residuos de fermentación, residuos de papel y celulósicos, residuos de curtiembres vegetales; (e) productos orgánicos locales: polvo de cocofibra, desechos de té, cáscaras de arroz, etc.; (f) procesamiento de frutas y verduras en residuos (Olle, 2019, p. 2). Las materias primas más comunes son, el estiércol de vaca, residuos de plantas y los residuos agrícolas secos (Yatoo et al., 2020, p. 171).

El vermicompost muestra un alto contenido de materia orgánica y nutrientes esenciales, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio (Lee et al., 2018, p. 16), puede adaptarse en la producción sostenible de la agricultura y mejorar la calidad del suelo, optimando su estructura y sumando estos nutrientes para las plantas (Pei et al., 2021, p. 2), (Liu et al., 2019, p. 13), los cuales se resumen en la calidad del valor nutricional final, esto se debe a la acción de las lombrices de tierra (Hussain y Abbasi, 2018, p. 7).

El vermicompost contiene nutrientes solubles en agua y es un excelente fertilizante orgánico y acondicionador de suelos, también tiene una alta porosidad, aireación, drenaje y capacidad de retención de agua y proporciona muchos micro sitios para la actividad microbiana (Liu, Mengli et al., 2019, p. 3); forma y retiene todos estos durante más tiempo sin algún efecto nocivo sobre el medio ambiente (Datta et al., 2018, p. 2). Entre otras ventajas, contribuye mejorando la actividad biológica (Archana et al., 2020, p. 6).

Además de favorecer y mejorar las propiedades físicas y químicas del suelo, también aumenta los metabolitos secundarios relacionados con la salud en las plantas, de manera que la producción de cultivos alimentarios se ve beneficiado (Usmani et al., 2020, p. 27), (Yatoo et al., 2020, p. 181), también elimina los productos químicos solubles en el suelo que pueden convertirse en contaminantes y causar un daño ambiental (Kiyasudeen, Ibrahim y Ismail, 2020, p. 284).

Asimismo, el vermicompostaje es efectiva para reducir la toxicidad, la acumulación de metales pesados y demás similares. Por lo tanto, es adecuado y aplicable para

todo tipo de desechos orgánicos debido a su rentabilidad, simplicidad y disponibilidad de nutrientes finales (Bhat, Singh y Vig, 2017, p. 16), (Bhat et al., 2017, p. 3).

La composición bacteriana y la diversidad cambian enormemente durante el proceso de vermicompostaje, de tal manera que influye en que el vermicompost pueda minimizar positivamente la toxicidad y la concentración de los metales pesados (Wang et al., 2017, p. 7). Las lombrices de tierra tienen la capacidad de acumular metales pesados en su cuerpo y la acumulación de estos es muy buena para la recuperación del suelo (Ekperusi y Aigbodion, 2015, p. 5), estimulan la biorremediación al mejorar, la aireación del suelo, el proceso de oxidación, y las acciones microbianas que aumentan la actividad microbiana (Ossai et al., 2020, p. 11).

Por lo tanto, la potencial efectividad del vermicompost para desintoxicar la mayoría de los metales pesados se debe a la fuerte sistema metabólico de las lombrices y a la participación de diversos microflora intestinal, enzimas y células (Bhat et al., 2018, p. 2). Las lombrices tratan las tierras contaminadas sin destruir la capa superficial del suelo (Shi et al., 2019, p. 6) y no son eliminados fácilmente del suelo, esto debido a la mucosidad que contiene la lombriz (Sharma y Garg, 2018, p. 13). Durante su permanencia en el suelo los metales son adsorbidos en los tejidos cutáneos de la lombriz de tierra y estos se acumulan en el cuerpo (Samal et al., 2019, p. 8), su aplicación en suelos contaminados con metales pesados tiene como consecuencia la inmovilización de los contaminantes en la materia orgánica, reduciendo su movilidad y toxicidad. La disposición de la materia orgánica puede aumentar la producción de biomasa, facilitando el proceso de biorremediación (Hoehne et al., 2016, p. 2).

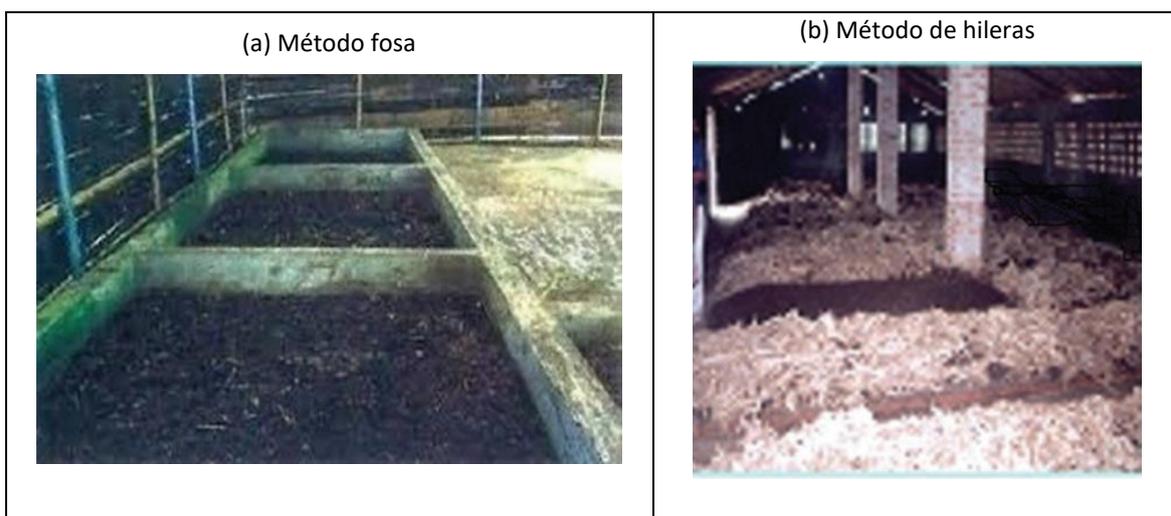
Esto lleva a afirmar que los vermicompost son más efectivos y más confiables como enmiendas, con mayor efecto similar a un fertilizante y sorbente de toxicidad (Stewart-Wade, 2020, p. 8). Es importante económicamente, es asequible y ambientalmente sostenible para el tratamiento de residuos sólidos biodegradables y tratamiento de suelos contaminados (Ramnarain, Ansari y Ori, 2019, p. 2).

La remediación del suelo contaminado mediante el uso de vermicompost se

convertirá en una importante salida aplicada para un ambiente limpio (Soobhany, 2018, p. 6), además que es el método de bioconversión más adecuado para la eliminación de residuos sólidos y el reciclaje de residuos orgánicos (Mahaly et al., 2018, p. 1).

Asimismo, existen diferentes sistemas para la elaboración del vermicompost, en la figura 3 se muestra los sistemas más comúnmente usados.

Figura 3 – Sistemas de elaboración de vermicompost



Fuente: Elaboración propia adaptado de (Yatoo et al., 2020, p. 173)

Los métodos más comúnmente utilizados son (a) método fosa, que se utiliza para la producción a pequeña escala de vermicompost, se usan generalmente para producir 5 – 10 toneladas de vermicompost por año (Yatoo et al., 2020, p. 169). Y (b) método de hileras que aplica para la producción a gran escala, para la producción de 50 – 100 toneladas de vermicompost, en este método, no es necesario separar las lombrices de tierra del sistema y el vermicompostaje se puede realizar de forma continua (Kiyasudeen, Ibrahim y Ismail, 2020, p. 282-283).

En seguida, después de dar conocer los conceptos básicos correspondientes a la presente investigación, en la Tabla 2 se muestran los antecedentes de suma importancia para el desarrollo y logro de objetivos del estudio de investigación.

Tabla 2 – Principales hallazgos de los antecedentes de investigación

Autor	Materia prima	Especie empleada	Días pre-compostaje	Principales hallazgos
(Goswami et al., 2018)	Lodos de curtiduría	EE	30	La disponibilidad total de N, P y K aumentó de 2 a 5 veces después del vermicompostaje. Eliminación sustancial de Cr (89%), Cd (88%) y Zn (79%)
(Yuvaraj et al., 2021)	Estiércol de ganado vacuno	EF y EE	N.E	Recuperación de nutrientes NPK en buenos porcentajes. Lombrices de tierra mejoraron las características físico-químicas de los materiales de desecho y que la aplicación de vermicompost mejora significativamente la fertilidad del suelo.
(Karmegam et al., 2019)	estiércol de vaca y plantas de abono verde	EF	21	Niveles de conductividad eléctrica, NPK fueron más altos en los vermicompost generados a partir de PMS. Relación C/N osciló entre 13,45 y 22,33
(Gong et al., 2019)	Desechos de jardín, hongos y estiércol de vaca	EF	21	Se observó mejoras en NPK, CE y C/N. El tratamiento tuvo tasas reproducción de EF, así mismo influyó en la calidad del vermicompost final.
(Liu, Beibei et al., 2019)	Estiércol de ganado vacuno	N.E	N.E	Los valores de estadísticos demuestran el siguiente orden: reducción de Ni 43,7 %, Cd 33,7% y Cr 30,0%
(Zhang et al., 2019)	Lodos de depuradora + aditivos de suelo y aserrín	EF	40	Disminución promedio de Pb, Cd y Cr en el lixiviado de 93%, 97% y 75.5% respectivamente, con la cantidad adsorbida acumulada de 11.80, 4.81 y 5.62 mg g-1

(Soobhany, 2018)	Residuos de alimentos + desechos de jardín	EE	17	Los tratamientos con extractos de vermicompost causó una reducción moderadamente mayor en Ni (91,52%), Co (90,69%), Cu (85,18%), Cd (81,42%), Cr (79,06%) y Zn (79,02%).
(Alam et al., 2020)	Residuos de plantas	EF	N.E	El vermicompost redujo la absorción de Cd, Cr, Pb y Mn en un 32,5%, 50,25%, 44,50% y 42,25%, respectivamente, mejoró el crecimiento del objeto de estudio y la su calidad.
(Lukashe, Mnkeni y Mupambwa, 2020)	Cenizas volantes	N.E	N.E	Se observó que los suelos modificados con vermicompost dieron como resultado concentraciones significativamente bajas. Fe, Mn, Zn, Pb, Cu, Cr y Cd en un 37,2%, 36,8%, 31,8%, 6,0%, 31,7%, 2,5% y 51,4% respectivamente.
(Wang et al., 2018)	Biochar, lodos y paja de trigo	N.E	N.E	Porcentajes de Cd disminuyeron 5.2 6.8% y 7.9–12.1% en los grupos modificados con VC y VC combinados BC, respectivamente.
(Wang et al., 2021)	Cáscaras de alimentos + CaCO ₃ / CaO	N.E	N.E	Se realizaron 4 muestras de estudio CK, T1, T2 y T3, la cual reveló una tendencia decreciente con respecto al Cd disponible, siendo los valores 66.1%, 58.0%, 55.1% y 52.1% respectivamente.
(He et al., 2016)	Lodos de depuradora, maleza y aserrín	EF	15	Las concentraciones de As, Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb y Zn se redujeron 13.0%, 29.1%, 16.4%, 81.9%, 14.9%, 15.5%, 60.2%, 11.8% y 38.5%, respectivamente.
(Khatua et al., 2018)	Residuos de plátano	EF	60	4 muestras. Se notó incrementos del 46%, 38%, 38% y 43% en el contenido total de P. De K fue de 20%, 18%, 14% y 11%, De Mg fue de 96%, 87%, 101% y 103% y Ca fue

(Yuvaraj et al., 2020)	Lodos de fábricas textiles + estiércol de vaca	EE Y PE	60	de 51%, 42%, 53% y 51%. Disminución en C/N de 72% hasta un 88%. Se observó mejoras en CE, NPK, C/N y CO. De igual modo, se observó un mayor porcentaje de remoción de metal para cadmio (54,5%) seguido de cobre (36,0%), cromo (37,0%) y zinc (35,9%).
(Yadav y Garg, 2019)	Lodos de industria de panadería	EF	105	Disminuyó el CO y la relación C/N (65,4-83,5%). Aumento de CE y contenidos de N, P y K 2.0–3.5, 1.2–1.9 y 1.2–1.4 veces, respectivamente. Se observó disminución en Cr al 28%, Zn al 32,8%, Fe 31%, Cu 40,8%, Mn 51,6% y Ni 20%. 4 muestras- Se observó aumento en N 11.61, 12.77, 23.32 y 28.80% respectivamente, P entre 112,78% y un 128,19%, K entre 66,22% y 94,40% y Ca entre 131,05% y 138,81%; mientras que las relaciones redujeron en CO 8,68%, 23,23% y 23,78%, C/N y C/P disminuyen.
(Rini et al., 2020)	Estiércol de vaca	EE y PE	45	La adición de 0% Y 3% de biocarbón al vermicompost no tuvo efectos. Por su parte el 6% de biocarbón promovió el crecimiento de lombrices y mejoró la calidad del vermicompost. Hubo reducción en los % de Ni y Zn.
(Gong et al., 2018)	Biocarbón + recortes de césped y ramas	EF	14	Disminución en las proporciones de materia orgánica (MO), C/N Y C/P, y un aumento en el nitrógeno (N), fósforo (P), (P) y calcio en vermicompost.
(Biruntha et al., 2020)	Residuos de Caña de azúcar + paja de arroz y estiércol de vaca	EE y PE	15	Incrementos en CE, TKN, TP y TK mientras que se observaron disminuciones en pH, TOC, relación C / N y relación C / P.
Balachandar et al. (2020)	Estiércol de vaca, Residuos	EE	21	

Sharma y Garg (2018)	de Plantas paja de arroz y residuos de papel, estiércol de vaca	EF	21	Los resultados mostraron que el contenido de NPK fue mayor en el vermicompost. Mientras que el carbono orgánico total y la relación C: N disminuyen después del vermicompostaje, en un 17,38 a un 58,4% y un 19% a un 102%, respectivamente.
(Xiao et al., 2021)	Estiércol de vaca	EF	N.E	Reducción de más del 22% en el contenido de Cd
(Liu et al., 2020)	Estiércol de vaca	N.E	N.E	Vermicompost redujo los niveles de Cd. En la muestra 1 en un 3,5% a 36,9% y para muestra 2 de 36,1% a 74,4%
(Wu et al., 2018)	Residuos de plantas	EF	60	La mayor disminución en el contenido de Cd se observó en vermicompost con adición de plantas (disminuyó en un 31,43% con respecto a la muestra inicial).
(Mupondi et al., 2018)	Fosfato de roca, Estiércol de vaca	EF	56	Se encontró reducciones del 40%; 35%; 35%; 40% y 45% para Cr, Cu, Cd, Pb y Zn, respectivamente.
(Shrestha, Bellitürk y Görres, 2019)	Fibra de coco	N.E	15	Reducción de 70.4% Zn; 30.9% Cd; 2.08% Pb; 44.9% Co y 56.8% Ni.
(Sierra Aragón et al., 2019)	Estiércol de caballo	EA	30	Cu, Zn, Cd y Pb, mostraron una reducción significativa que varía entre 59% Y 95%

EF: Eisenia fétida; EE: Eudrilus eugeniae; PC: Perionyx ceylanensis; PE: Perionyx excavatus; EA: Eisenia andrei y N.E: No específica especie.

Fuente: Elaboración propia.

III. MÉTODO

3.1 Tipo y diseño de investigación

El tipo de investigación es aplicada, ya que, está enfocada y elaborada con el propósito de orientar a la resolución de problemas, caracterizándose por su interés en la aplicación y uso de las teorías previamente halladas en la búsqueda de información (Ezequiel Ander-Egg, 2005, p. 43)

La investigación presenta un enfoque cualitativo y es narrativo, esta clase de investigación está orientada a especificar e interpretar la evidencia del tema principal y sus problemáticas, para ello se proceden a recopilar documentos pertinentes para analizarlas y describirlas. Una investigación narrativa es apropiada para estudios que utilizan un diseño cualitativo (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 75).

Presenta un diseño narrativo de tópicos, ya que, este se encuentra enfocado en un determinado tema, del cual se recolecta información apropiada y verídica para el éxito de los objetivos de la investigación (Mertens, 2015, p. 303). Se debe organizar los estudios en un orden conceptual lógico y proporcionar detalles suficientes sobre los estudios para apoyar el análisis crítico relevante de los mismos. La cantidad de detalles proporcionados estarán influenciados por el propósito de la revisión de la literatura (Mertens, 2015, p. 104).

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Uno de los pilares a tener en consideración es la elaboración y particularidad de la información, para ello se caracteriza entre categorías y subcategorías, que detallan aspectos importantes. Tanto las categorías y subcategorías pueden ser apriorísticas, en otras palabras, elaboradas antes del procedimiento recopilatorio de la información, o pueden surgir desde la búsqueda de referencias significativas. Expresado en términos concretos, las nombradas categorías apriorísticas, con su indicada clasificación en subcategorías, constituyen la matriz principal que conduce al desarrollo de los instrumentos colectores de la información (Herrera, Guevara y Munster, 2015, p. 6).

Tabla 3 - Matriz de categorización apriorística

Objetivo General	Objetivos Específico	Problemas específicos	Categoría	Subcategoría	Unidad de análisis
Sistematizar las investigaciones más recientes sobre la aplicación del vermicompost como medio para remediar suelos contaminados por metales pesados.	(1) Analizar la relación entre la materias primas más usadas y las propiedades del vermicompost	¿Cuáles son las materias primas más usadas y qué relación tiene con las características del Vermicompost?	Fuente de Materia orgánica	Materia prima	<ul style="list-style-type: none"> • (Khatua et al., 2018) • (Yuvaraj et al., 2020) • (Yadav y Garg, 2019) • (Gong et al., 2019) • (Biruntha et al., 2020) • (Yuvaraj et al., 2021) • (Rini et al., 2020) • (Karmegam et al., 2019) • Balachandar et al. (2020) • Sharma y Garg (2018)
	(2) Analizar las características finales del suelo luego de la aplicación de vermicompost	¿Cuáles son las características finales del suelo luego de la aplicación de Vermicompost?	Efecto sobre el suelo	Metales pesados	<ul style="list-style-type: none"> • (Alam et al., 2020) • (Lukashe, Mnkeni y Mupambwa, 2020) • (Wang et al., 2018) • (Wang et al., 2021) • (He et al., 2016) • (Liu, Beibei et al., 2019) • (Zhang et al., 2019) • (Soobhany, 2018) • (Goswami et al., 2018) • (Xiao et al., 2021) • (Liu et al., 2020) • (Wu et al., 2018) • (Mupondi et al., 2018) • (Shrestha, Bellitürk y Görres, 2019) • (Sierra Aragón et al., 2019)
				Nutrientes en el suelo	<ul style="list-style-type: none"> • (Rini et al., 2020) • (Goswami et al., 2018) • (Karmegam et al., 2019) • (Gong et al., 2018) • (Khatua et al., 2018) • (Yuvaraj et al., 2020) • (Yadav y Garg, 2019) • (Gong et al., 2019) • (Biruntha et al., 2020) • (Yuvaraj et al., 2021)

Fuente: elaboración propia.

3.3 Escenario de estudio

La actual revisión está asentada en todos los escenarios y motivos por el cual se hayan llevado a cabo las investigaciones halladas. Motivos fundamentados para remediar suelos contaminados por alguna actividad antropogénica, por actividades industriales, por hidrocarburos; suelos agrícolas; suelos arenosos, todos ellos enfocados en la contaminación por metales pesados y ejecutados a una escala de laboratorio, basado en la revisión de varios artículos científicos, tesis y libros publicados a nivel nacional e internacional.

3.4 Participantes

Para la investigación se consideraron todos los documentos, que contribuyan con los objetos del estudio, principalmente, aquellas bases de datos disponibles altamente confiables como, Science Direct, Scopus, ProQuest y Ebsco.

3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

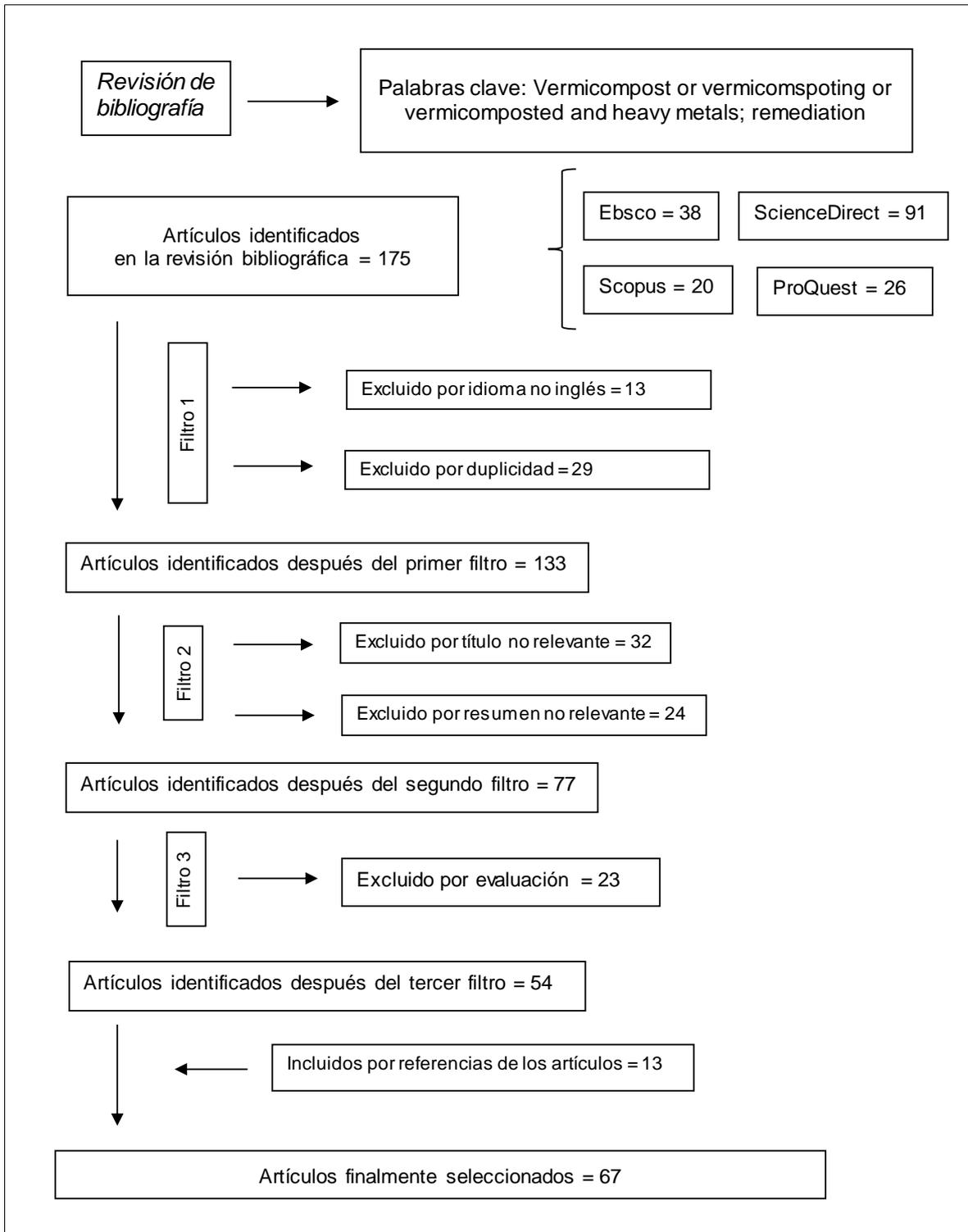
Lo que demanda un estudio cualitativo es obtener datos e información manifestados en teorías, conceptos, imágenes, procesos y resultados, ya sea de manera individual o colectiva. Se cosechan con la finalidad de analizarlos e interpretarlos, y así alegar a las preguntas de investigación y concebir conocimiento (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 396 - 397).

Para la ejecución de la revisión se hizo uso de la técnica de análisis documental, la cual facilita al autor estudiar la información de las investigaciones (Hernández, Fernández y Baptista, 2014, p. 417). Y como instrumento se usó una ficha de análisis de contenido (Anexo 1), que permitió recopilar la información necesaria que facilitó el análisis de las categorías y subcategorías.

3.6 Procedimientos

Para la recolección de datos se consideraron artículos de revistas indizadas, (Sección 3.4 - participantes), considerando palabras claves, además de criterios de inclusión y criterios de exclusión para un mejor filtro de los documentos. La búsqueda de documentos se realizó hasta mayo del 2021, durante la recolección se obtuvo un aproximado de 175 artículos, siendo descartadas 108. Por lo tanto, se consideraron 67 referencias.

Tabla 4 - Procedimiento de búsqueda y filtración de artículos científicos..



Fuente: Elaboración propia

En primer lugar, se procedió a situar el filtro de 7 años aproximado de antigüedad y artículos de investigación, luego se excluyó aquellos documentos repetidos, es

decir, hallados en dos fuentes de información y documentos que su contenido no era en idioma inglés. Posteriormente, conforme a un repaso de títulos y resúmenes, se excluyeron aquellos que no tenían compatibilidad, no generaban el aporte suficiente para la investigación y/o estaban direccionadas a otra tema (mejorar la calidad del suelo agrícola y/o mejorar la producción agrícola, etc).

Por otra parte, se evaluaron e incluyeron aquellos documentos citados en las referencias primeramente seleccionadas, ya que contenían información valiosa para el desarrollo teórico de la investigación, siendo así, que quedaron selectos los más importantes y más próximos para desarrollo de la investigación. Finalmente se hizo una estructuración y análisis de los documentos seleccionados para después ser expresado en la presente investigación. Se incluyeron documentos que superan los 7 años de antigüedad por el valor de la información y sustentados debidamente.

3.7 Rigor científico

El rigor científico, consiste en la aplicación disciplinada de la razón a los temas relacionados con el conocimiento, es también un estricto apego a la verdad. Requiere una condición de labor organizada y controlada de la planificación, del avance, análisis y apreciación de la investigación y demanda un cuidado especial en la exposición de los resultados (Allende, 2004, p. 2). Para el presente estudio se cumple con la validez y confiabilidad, apoyado bajo los siguientes criterios:

Para el *criterio de la dependencia*, cumple en coincidir con al menos dos investigaciones. También, cumplirá con ser evaluado constantemente por un profesional asesor, a fin de lograr una investigación coherente (Salgado Lévano, 2007, p. 5). Además cumple con la descripción detallada del procedimiento de recolección de datos y análisis. De igual forma, con la previa revisión y comparación de resultados de teorías precedentes de otras investigaciones (Noreña et al., 2012, p. 5).

En segundo lugar, de acuerdo al *criterio de la credibilidad*, se cumple ya que, obtendrá información válida y verídica, recolectada de fuentes de información altamente confiables y calificadas, que se aproximarán a los objetivos de la investigación y los resultados de los mismos guardan relación directa con el componente estudiado (Salgado Lévano, 2007, p. 6).

En tercer lugar, respecto al *criterio de la auditabilidad*, cumple, ya que, precede de la recomendación de un autor, es decir, continua la ruta de un tema específico y se espera llegar a conclusiones innovadoras. También, cumplirá con el correcto uso del instrumento de recolección de datos, respetando la bibliografía y autoría de las investigaciones (Noreña et al., 2012, p. 6).

Finalmente, de acuerdo al *criterio de la transferibilidad*, cumple con el cuarto criterio, ya que, se desempeña con realizar la descripción teórica del contexto de la investigación, de la técnica estudiada, de los participantes, de los procedimientos y el método de análisis (Castillo y Vásquez, 2009, p. 4). También cumple con la posibilidad de extender investigaciones relacionadas posteriormente, de acuerdo a los resultados y conclusiones obtenidos, estos pueden ser fuente para investigaciones posteriores, aplicada a diferentes contextos, con un correcto desenvolvimiento teórico, científico y metodológico del tema a desarrollar (Noreña et al., 2012, p. 5).

3.8 Método de análisis de información

El análisis presidió por los criterios definidos de acuerdo a las categorías, fuente de materia prima y efecto finales sobre el suelo y las subcategorías de cada una de ellas presentadas en la matriz apriorística (Tabla N° 3).

El análisis se realizó utilizando el método de grupos por categorías, cada una representada con su objetivo específico, concentrando la información de los artículos, delimitados por criterios similares en la ficha de análisis de contenido (Anexo 1), lo cual describe de manera adecuada el corpus textual derivado de todo los trabajos revisados (Barbosa Chacón, Barbosa Herrera y Rodríguez Villabona, 2013, p. 7).

3.9 Aspectos éticos

En el desarrollo de la presente, se dan a conocer las fuentes citadas, ajustándose a la norma establecida - ISO 690, respetando a la autoría de las fuentes de información. Asimismo, cumple con los principios y valores conforme a la Resolución de consejo universitario N° 0126-2017/UCV, referente al código de ética en investigación. Se deja constancia de la honestidad y del compromiso ético por parte del autor para el desarrollo de la investigación.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se analizaron 26 artículos de investigación (Tabla N° 2), respecto a la aplicación de vermicompost para poder responder a los objetivos planteados, en base a esa información y de acuerdo a los objetivos específicos se presenta en las líneas posteriores la síntesis de las investigaciones revisadas.

Tabla 5 - Principales materias primas usadas en los artículos revisados

N°	Materia prima	Otros	Residuos de plantas	Estiércol de vaca
1	Lodos de curtiduría	X		
2	Estiércol de ganado vacuno			X
3	estiércol de vaca y plantas de abono verde		X	X
4	Desechos de jardín, hongos y estiércol de vaca		X	X
5	Estiércol de ganado vacuno			X
6	Lodos de depuradora + aditivos de suelo y aserrín	X		
7	Residuos de alimentos + desechos de jardín	X	X	
8	Residuos de plantas		X	
9	Cenizas volantes	X		
10	Biochar, lodos y paja de trigo	X		
11	Cáscaras de alimentos + CaCO ₃ / CaO	X		
12	Lodos de depuradora, maleza y aserrín	X		
13	Residuos de plátano	X		
14	Lodos de fábricas textiles + estiércol de vaca	X		X
15	Lodos de industria de panadería	X		
16	Estiércol de vaca			X
17	Biocarbón + recortes de césped y ramas	X	X	
18	Residuos de Caña de azúcar + paja de arroz y estiércol de vaca	X		X
19	Estiércol de vaca, Residuos de Plantas		X	X
20	paja de arroz y residuos de papel, estiércol de vaca	X		X
21	Estiércol de vaca			X
22	Estiércol de vaca			X
23	Residuos de plantas		X	
24	Estiércol de vaca			X
25	Fibra de coco	X		
26	Estiércol de caballo	X		

Fuente: Elaboración propia

Tabla 6 – Conteo de materia prima según condición de aplicación

Materia prima	Total
Solo estiércol de vaca	6
Solo residuos de planta	2
Residuo de planta + estiércol de vaca	3
Estiércol de vaca + otro	3
Residuo de planta + otro	2
Otros	10
TOTAL	26

Fuente: Elaboración propia

La tabla 5 expuesta, sintetiza las materias primas usadas en los 26 artículos revisados. En la tabla 6 se presenta el conteo, llegando a deducir que las más usadas son el estiércol de vaca y los residuos de plantas, donde 16/26 artículos usaron estiércol de vaca o residuos de plantas como única fuente (6 y 2 artículos respectivamente), en combinación (4 artículos) o junto a otras fuentes de materia prima (3 estiércol de vaca más otra fuente y 2 residuos de planta más otra fuente). En cuanto al ítem otros (10 artículos) usaron otras fuentes de materia prima.

Generalmente, se usa el estiércol de vaca como abono, dado su gran contenido nutricional, como reportan Rini et al. (2020) y Yuvaraj et al. (2020), se utiliza como principal fuente porque se logra obtener un vermicompost más estabilizado y más rico en nutrientes, y en algunos casos logra superar hasta el doble de los niveles normales en comparación con otros tipos de enmiendas.

El estiércol de vaca también se usa junto a otras fuentes de materia prima, porque estos enriquecen al producto, adquiriendo un mejor material, de excelente estructura, porosidad, aireación, drenaje y una mejorada capacidad de retención de humedad. Su efecto es más duradero en el suelo, en comparación a otros estiércoles y/o fuentes, según establecen Yadav y Garg (2019) y Sharma y Garg (2019).

De la misma forma, Biruntha et al. (2020), agrega que, la adición de estiércol de vaca debe ser en una proporción de 1:1, es decir, las mismas proporciones junto a otra fuente de materia prima, lo cual lo hace adecuado para efectos positivos de vermicompostaje. Gong et al. (2019), refuerzan la teoría mencionando que la

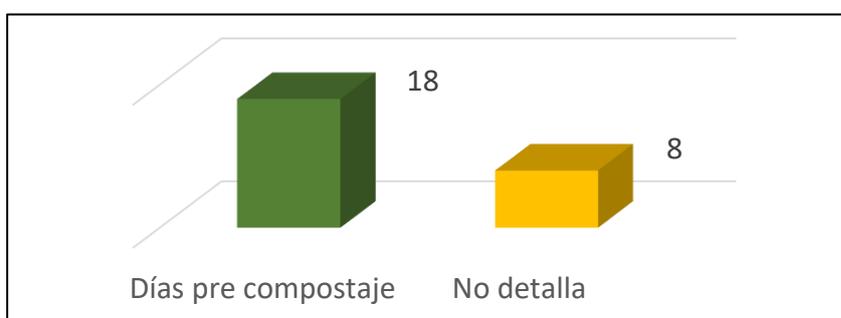
enmienda de la proporción correcta de estiércol de ganado es muy importante ya que sirve como material nutriente inicial para las lombrices de tierra y la proliferación microbiana, asociada a actividades enzimáticas.

Con respecto a la materia prima residuos de plantas, estos forman parte importante como base para la obtención de vermicompost e incluyen césped, hojas, plantas, ramas y recortes de árboles, lo cual concuerda con lo expuesto por Karmegam et al. (2019). Estos residuos pueden concebir efectos positivos en el enriquecimiento de la materia orgánica, suministro de nutrientes, carbohidratos, aumento del nivel de NPK, actividad microbiana y las cualidades del vermicompost, como es afirmado por Khatua et al. (2018) Balachandar et al. (2020), también, mejoran la humificación, contienen una cantidad significativa de lignina y realiza múltiples funciones que son esenciales para obtener un gran producto, como lo garantiza Gong et al. (2019).

Cabe importante mencionar que en base a algunos autores, se puede afirmar que no se puede usar una proporción del 100% de residuos de plantas para la elaboración de vermicompost por la lignina; si bien es cierto se menciona líneas arriba que la lignina es parte esencial para la obtención de vermicompost, el exceso de este puede ralentizar el proceso de compostaje y perjudicar a las lombrices, esto es afirmado por Khatua et al. (2018) y Gong et al. (2019).

Por otra parte, se consideró obtener los días de pre compostaje, según la información de los artículos revisados (tabla 2) y detallar cuantos especifican los días, por lo cual, se presenta la siguiente figura 4 y tabla 7.

Figura 4 – Cantidad de artículos que presentan días de pre compostaje



Fuente: Elaboración propia

Tabla 7 - Días de pre compostaje según artículos revisados

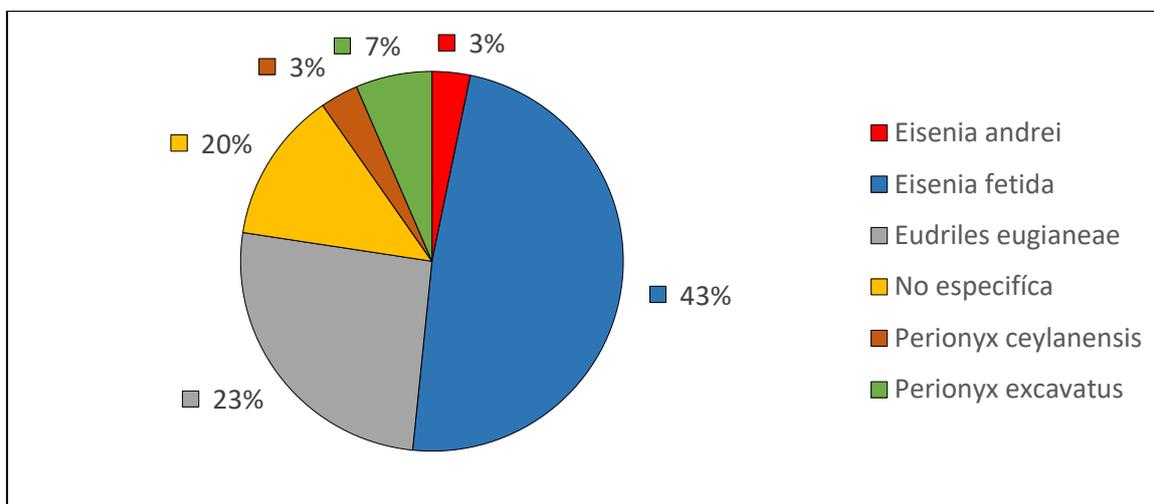
N°	Días	No específica
1	90	
2		X
3	60	
4	70	
5		X
6	40	
7	17	
8		X
9		X
10		X
11		X
12	15	
13	60	
14	60	
15	105	
16	45	
17	14	
18	50	
19	21	
20	21	
21		X
22		X
23	60	
24	56	
25	15	
26	30	
Total artículos	18	8

Fuente: Elaboración propia

La figura 4 presentada, nos muestra el total de los artículos que consideraron los días de pre compostaje como un aspecto muy importante para la investigación (18 artículos), lo mismo con aquellos que no especificaron los días por motivos no expresados (8 artículos). La importancia de los días de pre compostaje (tabla 7), radica en reducir el contenido de sustancias tóxicas que pueden ser dañinos o desagradables para la lombriz en la etapa de descomposición, también, para hacer de compost más apetecible para las lombrices de tierra según alegan Gong et al. (2018) y Gong et al. (2019). Además, Biruntha et al. (2020) y Karmegam et al. (2019), en sus investigaciones mantienen un constante rociado de agua y aireación del compuesto, para una correcta degradación de la materia orgánica, por lo que se entiende la gran importancia de ambos factores.

En cuanto a las lombrices de tierra, en la siguiente figura presentada, se observa que la *Eisenia fétida* y *Eudrilus eugeniae* son las más utilizadas, en comparación con otras lombrices, estos representan el 43% y el 23% respectivamente de los 26 artículos revisados.

Figura 5 - Lombrices de tierra empleadas



Fuente: elaboración propia.

Los investigadores prefieren usar especies de lombrices de tierra *Eisenia fétida* y *Eudrilus eugeniae*, porque pueden sobrevivir en suelos contaminados con metales, además que, pueden eliminar el contenido de metales pesados de los materiales de desecho orgánicos, esto lo afirma también Gong et al. (2019). Asimismo, Yuvaraj et al. (2021), avala que pueden alterar la composición química de los materiales de desecho y conseguir aumentar el nivel de aireación a través del constante movimiento, por lo que logran una rápida descomposición de la materia orgánica.

En particular, la *Eisenia fétida*, es el más preferido para el vermicompostaje debido a su amplia gama de tolerancia hacia diferentes variables ambientales y una mejor biodisponibilidad de metales pesados tóxicos en comparación a otras especies como señala Khatua et al. (2018) y Gong et al. (2018), que coinciden según lo establecido por Yadav y Garg (2019), que complementan que la *Eisenia fétida* presentan mayores tasas de descomposición de sustancias orgánicas, alta tasa de reproducción, contribuyen en la aireación del suelo y muestra una mejor tasa de supervivencia. Esto se da porque el sistema digestivo de la *Eisenia fétida* contiene valiosos microorganismos degradativos, que estabilizan diferentes componentes de

materiales de desecho orgánicos y anulan microbios perjudiciales anaeróbicos y aeróbicos en su intestino, lo cual favorece a la obtención del vermicompost final, lo cual coincide con lo que alega Yuvaraj et al. (2021).

En cuanto a la *Eudrilus eugeniae*, el papel que cumple en la gestión de residuos ha quedado bien señalado tras la validación de su eficacia en la investigación de Biruntha et al. (2020), donde aclara que influye en la calidad del vermicompostaje de una amplia variedad de desechos orgánicos, porque muestra una estabilización de la calidad del producto, enriqueciendo los contenidos de NPK y reduciendo la relación C/N y pH, como también lo afirma Balachandar et al. (2020). También se usa el *eudriles eugeniae* porque se puede utilizar para la gestión de residuos orgánicos juntamente con otras lombrices, lo que hace más eficiente la recuperación de nutrientes de residuos orgánicos y es un agente biocatalítico desintoxicante que influyen en la minimización de materias tóxicas para la producción de un valioso vermicompost, opiniones en la que coinciden Yuvaraj et al. (2020) y Rini et al (2020).

En lo que respecta a las propiedades finales del suelo, se presenta a continuación la Tabla 5 que permitirá dilucidar la información, ya conocido las principales materias primas y lombrices de tierra usadas.

Tabla 8 - Propiedades de la muestra inicial y propiedades finales del suelo estudiado

Parámetro	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final	Inicial	Final
pH	8.56	7.54	8.4	7.5	8.3	6.9	8.31	7.86	7.38	7.1	8.84	7.7	7.47	7.12
CE	0.72	0.95	-	-	1.2	1.6	1.69	2.51	1.98	2.3	-	-	1.67	2.91
N	0.8	0.98	11.3	38.9	8.2	28.2	12	17.3	0.93	1.35	17.2	20	13.2	18.5
P	0.24	0.65	3.96	5.49	5.74	11.4	3.3	4.2	0.5	0.71	7.57	17	9.82	17.6
K	0.2	0.52	13.8	16.3	7.8	10.2	4.7	6.8	0.68	0.87	4.3	6.8	14.1	22.6
CO	42.9	26.1	441	309	490	280	432	339	-	-	330	254	300	274
C/N	53.8	26.7	58.1	7.94	-	-	-	-	32.6	19.1	16.5	12.6	22.8	14.8
C/P	-	-	-	-	-	-	-	-	60.7	36.3	35.5	14.8	30.5	15.5
Ca	-	-	-	-	1.9	3.18	-	-	-	-	7.3	18	-	-
Materia prima	EV		RP		EV		RP		EV		EV		EV	
Lombriz de tierra	EF		EF		EF		EF		EE		EE		EF	
Unidad de análisis	(Yuvaraj et al., 2020)		(Khatua et al., 2018)		(Yadav y Garg, 2019)		(Gong et al., 2019)		(Birintha et al. 2020)		(Rini et al., 2020)		(Karmegam et al., 2019)	

EV: Estiércol de vaca; RP: Residuos de plantas; EF: *Eisenia fétida*; EE: *Eudrilus eugeniae*.

Fuente: Elaboración propia en Microsoft Excel.

En la aplicación de vermicompost, la reducción del pH puede deberse a la liberación de dióxido de carbono (CO₂), amoníaco (NH₃), así como diferentes ácidos orgánicos por degradación microbiana de desechos orgánicos durante el vermicompostaje, como señala Sharma y Garg (2019) y Khatua et al. (2018). También la producción de ácidos húmicos y ácidos fúlvicos por parte de microbios a partir de materia orgánica también puede ser una razón para la disminución del pH, según indican Yadav y Garg (2019).

El aumento de la conductividad eléctrica (CE) es atribuido a la pérdida de peso de la materia orgánica y puede deberse a la liberación de sales solubles, debido a la acción combinada de las lombrices de tierra y la microflora durante la degradación de los desechos orgánicos, además puede deberse también a la volatilización del amoníaco, conforme a lo que expresan Balachandar et al. (2020), Biruntha et al. (2020) y Gong et al. (2019).

El aumento del Nitrógeno (N), se debe a la mineralización de sustratos orgánicos debido a la adición de la materia prima, como menciona Karmegam et al. (2019). Las lombrices de tierra, también elevan los niveles de N mediante la adición de productos excretores, moco, fluidos corporales, enzimas y en parte por la descomposición de los tejidos de las lombrices muertas, igualmente, la pérdida de CO es una de las principales causas del aumento de N, en esta afirmación, coinciden Biruntha et al. (2020) y Rini et al. (2020).

El aumento de fósforo (P), como mencionan Yadav y Garg (2019) y Khatua et al. (2018), probablemente se deba a la mineralización y movilización de materia orgánica por el efecto combinado de los microorganismos y la actividad de la materia bacteriana y fecal de las lombrices de tierra; también por la formación de ácidos orgánicos y la descarga de ácido húmico, como indica Sharma y Garg, (2018) Las lombrices tiene la capacidad de obtener fósforo soluble durante la operación del vermicompostaje, como indica Yuvaraj et al. (2020).

El aumento del contenido de Potasio (K), puede atribuirse a la reducción de la masa y el volumen del producto de vermicompost, como establecen, Yadav y Garg (2019) y Balachandar et al. (2020). Asimismo, la microflora que se encuentra en el intestino de las lombrices de tierra, junto con el moco secretado aumentan la degradación

de la materia orgánica ingerida y la liberación de metabolitos; estos mejoran el enriquecimiento del K disponible, como señala Khatua et al. (2018). También, el aumento de K podría deberse a la estabilización de los materiales del sustrato por las lombrices de tierra junto con los microorganismos, según Yuvaraj et al. (2020).

La reducción del carbón orgánico (CO) se da como consecuencia de la degradación de la materia orgánica, la mineralización y la actividad respiratoria de las lombrices de tierra y la microflora a lo largo de proceso de vermicompostaje, según lo indican Karmegam et al. (2019) y Gong et al. (2019), puede deberse también, a la utilización del carbono como fuente de energía por las lombrices y microorganismos y a la pérdida de carbono en forma de CO₂ durante el proceso, según menciona Sharma y Garg (2018).

La reducción de la relación C/N y la relación C/P se atribuye principalmente a la disminución del contenido de CO, a la mineralización y estabilización de materia orgánica, se debe también a la pérdida de CO₂, por la asimilación de las lombrices y microorganismos, como señalan Rini et al. (2020), Biruntha et al. (2020) y Yuvaraj et al. (2020). Otra causa de la reducción es de acuerdo al tipo de desechos orgánicos utilizados como materia prima y del tipo de especies de lombrices de tierra empleadas para el vermicompostaje, según indica Balachandar et al. (2020).

Finalmente, el aumento de Ca se debe a la pérdida de la materia orgánica seca en el proceso de descomposición asociado con actividades enzimáticas y secreciones de las lombrices, según indican por Rini et al. (2020) y Yadav y Garg (2019).

En lo que refiere a las características finales del suelo respecto a los metales pesados luego de aplicación de vermicompost, en la tabla siguiente se muestra los datos obtenidos y analizados en cuanto a los metales pesados estudiados.

Tabla 9 - Porcentaje de reducción de metales pesados en el suelo

Zn	As	Ni	Pb	Mn	Cr	Cu	Cd	Tipo de suelo	Unidad de análisis
-	-	-	54	41	55	-	33	Impactado por minas	(Alam et al., 2020)
-	-	-	8,5	67,7	2,4	16,8	-	Impactado por minas	(Lukashe, Mnkeni y Mupambwa, 2020)
-	-	-	-	-	-	-	6,8	Impactado por metales pesados	(Wang et al., 2018)
-	-	-	-	-	-	-	66,1	Arcillosa, contaminado con metales pesados	(Wang et al., 2021)
38,5	13,0	60,2	11,8	15,5	-	81,9	-	De montaña	(He et al., 2016)
-	-	43,7	-	-	30	-	33,7	Ácido tropicales agrícolas	(Liu, Beibei et al., 2019)
-	-	-	93	-	75,5	-	97	Agrícola y doméstica	(Zhang et al., 2019)
79,02	-	91,5	-	-	-	85,18	81,42	Contaminado con metales pesados	(Soobhany, 2018)
79	-	-	-	-	89	-	88	Agrícola	(Goswami et al., 2018)
-	-	-	-	-	-	-	35,7	Tierra vegetal	(Xiao et al., 2021)
-	-	-	-	-	-	-	36,9	Agrícola	(Liu et al., 2020)
84,39	-	-	32,8	-	-	22,98	6,02	De laboratorio	(Wu et al., 2018)
45	-	-	40	-	40	35	35	De laboratorio	(Mupondi et al., 2018)
39,71	-	-	43,2	-	-	-	24,18	Suelo de bosque	(Shrestha, Bellitürk y Görres, 2019)
88	81,3	-	-	-	-	86,7	90,8	Impactado por minas	(Sierra Aragón et al., 2019)

Fuente: Elaboración propia

Una razón para la disminución de la concentración y movilidad de metales pesados se debe al secuestro de las lombrices de tierra dentro de su tejido a través de la absorción, como demuestran, He et al. (2016) y Mupondi et al. (2018), es por ello, la alta eficiencia del vermicompost en la reducción de la biodisponibilidad de metales pesados, ya que las lombrices modifican la fracción biodisponible de metales tóxicos a fracción no biodisponible y utilizan estos metales tóxicos para su

metabolismo, mediante la absorción intestinal y cutánea al ingerir materia orgánica, además el comportamiento de los metales pesados dependen principalmente del impacto del pH, CE, materias orgánicas e inorgánicas. Estos hallazgos también fueron reportados también por Wu et al. (2018), Alam et al. (2020) y Lukshe, Mnkeni y Mupambwa (2020).

Asimismo, el vermicompost maduro es rico en sales solubles, y sustancias húmicas con abundantes grupos funcionales, como NH, OH, COOH y CO y según el reporte de Zhang et al. (2019), estos grupos funcionales pueden inmovilizar fuertemente los metales. El papel de humificación por parte de las lombrices de tierra durante el vermicompostaje, según muestra He et al. (2016), afecta también la disponibilidad de los metales. Asimismo, las sustancias orgánicas, como los ácidos carboxílicos y alcohólicos, que son ricos en el vermicompost, juegan un papel importante en la adsorción de metales, por ejemplo, Liu, Beibei et al. (2019), encontró que el ácido carboxílico era responsable de la adsorción de metales y depende de la carga intrínseca y especiación de los metales más que de las propiedades del suelo, lo cual coincide con Goswami et al. (2018), Además los compuestos orgánico disuelto también puede afectar fuertemente el comportamiento de los metales, como afirman, Wang et al. (2018) y Sierra Aragón et al. (2019).

En cuanto al Cadmio (Cd), que es el metal más estudiado y según indican Wang et al. (2021) y Xiao et al. (2021), las enmiendas orgánicas reducen la biodisponibilidad del Cd mediante la quelación o translocación, lo que permite la traspaso de Cd de los suelos a las lombrices de tierra, de la misma forma, este proceso de secuestro se ve fuertemente reducida por el aumento de CO y el aumento de pH producido por la enmienda vermicompost, la fitodisponibilidad del mismo Cd y la formación de macroagregados, según indican, Shrestha, Bellitürk y Görres, (2019), Sierra Aragón et al. (2019) y Liu et al. (2020).

El bajo nivel de Cromo (Cr) en los suelos tratados con las bases de vermicompost podría deberse a la presencia de agentes secuestrantes que ejercieron una capacidad de remediación superior del suelo metalífero, como indica Zhang et al. (2019), o también puede ser generalmente a la evidente absorción de iones Cr tóxicos por los extractos del vermicompost, según indica la investigación de Goswami et al. (2018).

En cuanto al Zinc (Zn) y Cobre (Cu), el metabolismo de la lombriz de tierra se usan como portadores, y estos elementos son regulados y excretados, por lo tanto, el vermicompostaje tiene tanto el efecto inmovilizador de la biodisponibilidad del Cu. También presentan un comportamiento similar con el Zn, hallazgos en lo que concuerdan, He et al. (2016) y Soobhany (2018). Asimismo, Shrestha, Bellitürk y Görres, (2019), reporta que la adición de vermicompost, que es rico en ácido húmico y fúlvico, favorece la fijación y reducción de las concentraciones biodisponibles de Cu y Zn.

El manganeso (Mn) y el Níquel (Ni), según concuerdan, Liu, Beibei et al. (2019) y Alam et al. (2020), estos se movilizan radialmente en el suelo contaminado y puede ser acumulado fácilmente en concentraciones más altas por las plantas y particularmente por las lombrices en su metabolismo.

El arsénico (As) se ve afectado por la materia orgánica, que forma complejos insolubles en suelos ácidos reduciendo la solubilidad del arsénico, He et al. (2016) y Sierra Aragón et al. (2019), reportaron la influencia del vermicompost en el secuestro de iones del As, además de contener fosfato solubles que pueden competir con As por los sitios de sorción en el suelo, como consecuencia de su estructura química y comportamiento similares en la solución del suelo.

El Plomo (Pb), pueden ser desplazados por el Ca, desintoxicando por tanto mediante la unión con ligandos orgánicos o secuestrados con matrices inorgánicas cuando se encuentran en concentraciones tóxicas, según lo testificado por Lukashe, Mnkeni y Mupambwa (2020) y Zhang et al. (2019), también, como reportó Sierra Aragón et al. (2019), se ve inversamente relacionada con la CE y pH, que influyen fuertemente en la movilidad del Pb en los suelos.

Apoyándose de la literatura revisada, cabe importante mencionar que la aplicación de vermicompost es viable gracias a su fácil preparación, aplicación, y obtención de la materia prima. En cuanto al beneficio ambiental estos no generan efectos negativos al ambiente y contribuyen a la mejora y estabilización del suelo, debido a las fuentes naturales que se usan para su obtención. En el aspecto social, es asequible, y en relación a costo-beneficio suplantando el costoso precio comparado a otras técnicas de remediación de suelo.

V. CONCLUSIONES

- ✓ La literatura disponible demuestra que varios agentes de materia prima son opciones para el proceso de vermicompostaje, sin embargo los más utilizados son el estiércol de vaca y los residuos de plantas, debido a su gran aporte nutricional e influencia en las propiedades del vermicompost y consecuentemente en las condiciones del suelo, así como en la remediación de suelos contaminados por metales pesados.
- ✓ Entre las especies de lombrices de tierra disponibles, la *Eisenia fétida* se utiliza con mucha frecuencia en el proceso de vermicompostaje debido a su alta capacidad de reproducción, degradación y supervivencia, seguido de *Eudrilus eugeniae*.
- ✓ Factores como el pH, la humedad, conductividad eléctrica y la relación C/N afectan el proceso de vermicompostaje de manera efectiva e influyen positivamente en las características finales del producto vermicompost para su posterior aplicación al suelo.
- ✓ Podemos afirmar que la utilización de vermicompost para la reducción de la disponibilidad o inmovilización de metales pesados en el suelo se considera altamente gratificante y eficiente según el análisis de datos de la literatura, otra razón para la disminución de la concentración y movilidad de estos metales pesados se debe también, al secuestro de las lombrices de tierra por medio de su metabolismo.

VI. RECOMENDACIONES

- ✓ Establecer claramente las fuentes de materia prima, especies de lombriz y días de pre-compostaje que se aplicaron para la obtención del vermicompost, con el fin de poder realizar un mejor análisis de los mismos y establecer una literatura base para las aplicaciones in situ.

- ✓ Establecer niveles de eficiencia en cuanto a la aplicación del vermicompost, expresados en porcentajes o rangos de remoción de contaminantes para poder establecer su efectividad de acuerdo al tipo de suelo o contaminante.

- ✓ Realizar un estudio más profundo a nivel nacional para establecer su viabilidad en cuanto a los aspectos tiempo y costo.

BIBLIOGRAFIA

- ALAM, M., HUSSAIN, Z., KHAN, A., KHAN, M.A., RAB, A., ASIF, M., SHAH, M.A. y MUHAMMAD, A., 2020. The effects of organic amendments on heavy metals bioavailability in mine impacted soil and associated human health risk. *Scientia Horticulturae* [en línea], vol. 262, no. November 2019, pp. 109067. ISSN 03044238. DOI 10.1016/j.scienta.2019.109067. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.109067>.
- ALLENDE, J., 2004. Rigor – la esencia del trabajo científico. *REVISTA ELECTRÓNICA DE LA BIOTECNOLOGÍA-Electronic Journal of Biotechnology* [en línea], vol. 7, no. 1, pp. 1-9. Disponible en: <http://relab.biologia.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2013/09/Allende-Rigor.pdf>.
- ARCHANA, S., KARMEGAM, N., SINGH, G.S., BHADAURIA, T., CHANG, S.W., AWASTHI, M.K., SUDHAKAR, S., ARUNACHALAM, K.D., BIRUNTHA, M. y RAVINDRAN, B., 2020. Earthworms and vermicompost: an eco-friendly approach for repaying nature's debt. *Environmental Geochemistry and Health* [en línea], vol. 4. ISSN 15732983. DOI 10.1007/s10653-019-00510-4. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s10653-019-00510-4>.
- BALACHANDAR, R., BASKARAN, L., YUVARAJ, A., THANGARAJ, R., SUBBAIYA, R., RAVINDRAN, B., CHANG, S.W. y KARMEGAM, N., 2020. Enriched pressmud vermicompost production with green manure plants using *Eudrilus eugeniae*. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 299, pp. 122578. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2019.122578. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122578>.
- BARBOSA CHACÓN, J.W., BARBOSA HERRERA, J.C. y RODRÍGUE VILLABONA, M., 2013. Documentary review and analysis for state-of-the-art assessment: A methodological proposal using educational experiences systematization approach. *Investigacion Bibliotecologica*, vol. 27, no. 61, pp. 83-105. ISSN 0187358X. DOI 10.1016/s0187-358x(13)72555-3.
- BARRAZA, F., MAURICE, L., UZU, G., BECERRA, S., LÓPEZ, F., OCHOA-HERRERA, V., RUALES, J. y SCHRECK, E., 2018. Distribution, contents and health risk assessment of metal(loid)s in small-scale farms in the Ecuadorian Amazon: An insight into impacts of oil activities. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 622-623, pp. 106-120. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.11.246. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.11.246>.
- BHAT, S.A., SINGH, J., SINGH, K. y VIG, A.P., 2017. Genotoxicity monitoring of industrial wastes using plant bioassays and management through vermitechnology: A review. *Agriculture and Natural Resources* [en línea], vol. 51, no. 5, pp. 325-337. ISSN 2452316X. DOI 10.1016/j.anres.2017.11.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.anres.2017.11.002>.
- BHAT, S.A., SINGH, J. y VIG, A.P., 2017. Amelioration and degradation of pressmud and bagasse wastes using vermitechnology. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 243, pp. 1097-1104. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2017.07.093. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.093>.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2017.07.093>.

BHAT, S.A., SINGH, J. y VIG, A.P., 2018. Earthworms as Organic Waste Managers and Biofertilizer Producers. *Waste and Biomass Valorization*, vol. 9, no. 7, pp. 1073-1086. ISSN 1877265X. DOI 10.1007/s12649-017-9899-8.

BHAT, S.A., SINGH, S., SINGH, J., KUMAR, S., BHAWANA y VIG, A.P., 2018. Bioremediation and detoxification of industrial wastes by earthworms: Vermicompost as powerful crop nutrient in sustainable agriculture. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 252, no. December 2017, pp. 172-179. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2018.01.003. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.01.003>.

BIRUNTHA, M., MARIAPPAN, P., KARUNAI SELVI, B., JOHN PAUL, J.A. y KARMEGAM, N., 2020. Vermiremediation of Urban and Agricultural Biomass Residues for Nutrient Recovery and Vermifertilizer Production. *Waste and Biomass Valorization* [en línea], vol. 11, no. 12, pp. 6483-6497. ISSN 1877265X. DOI 10.1007/s12649-019-00899-0. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s12649-019-00899-0>.

BORGGAARD, O.K., HOLM, P.E. y STROBEL, B.W., 2019. Potential of dissolved organic matter (DOM) to extract As, Cd, Co, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn from polluted soils: A review. *Geoderma* [en línea], vol. 343, no. February, pp. 235-246. ISSN 00167061. DOI 10.1016/j.geoderma.2019.02.041. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.02.041>.

CAO, Y., TIAN, Y., WU, Q., LI, J. y ZHU, H., 2021. Vermicomposting of livestock manure as affected by carbon-rich additives (straw, biochar and nanocarbon): A comprehensive evaluation of earthworm performance, microbial activities, metabolic functions and vermicompost quality. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 320, no. PB, pp. 124404. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2020.124404. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124404>.

CASTILLO, E. y VÁSQUEZ, M.L., 2009. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colombia Médica* [en línea], vol. 34, no. 3, pp. 164-167. ISSN 1657-9534. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=28334309>.

CHIRAKKARA, R.A., CAMESELLE, C. y REDDY, K.R., 2016. Assessing the applicability of phytoremediation of soils with mixed organic and heavy metal contaminants. *Reviews in Environmental Science and Biotechnology*, vol. 15, no. 2, pp. 299-326. ISSN 15729826. DOI 10.1007/s11157-016-9391-0.

CUSTODIO, M., PEÑALOZA, R., CUADRADO, W., OCHOA, S., ÁLVAREZ, D. y CHANAMÉ, F., 2021. Data on the detection of essential and toxic metals in soil and corn and barley grains by atomic absorption spectrophotometry and their effect on human health. *Chemical Data Collections*, vol. 32. ISSN 24058300. DOI 10.1016/j.cdc.2021.100650.

DA SILVA, B.M. y MARANHO, L.T., 2019. Petroleum-contaminated sites: Decision framework for selecting remediation technologies. *Journal of Hazardous Materials* [en línea], vol. 378, no. April 2018, pp. 120722. ISSN 18733336. DOI

- 10.1016/j.jhazmat.2019.05.115. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2019.05.115>.
- DATTA, S., SINGH, Jaswinder, SINGH, Joginder, SINGH, Sharanpreet y SINGH, Simranjeet, 2018. Assessment of genotoxic effects of pesticide and vermicompost treated soil with *Allium cepa* test. *Sustainable Environment Research* [en línea], vol. 28, no. 4, pp. 171-178. ISSN 24682039. DOI 10.1016/j.serj.2018.01.005. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.01.005>.
- DEVI, C. y KHWAIRAKPAM, M., 2020. Bioconversion of *Lantana camara* by vermicomposting with two different earthworm species in monoculture. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 296, pp. 122308. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2019.122308. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.122308>.
- DORES-SILVA, P.R., COTTA, J.A.O., LANDGRAF, M.D. y REZENDE, M.O.O., 2018. Soils impacted by PAHs: Would the stabilized organic matter be a green tool for the immobilization of these noxious compounds? *Journal of Environmental Science and Health - Part B Pesticides, Food Contaminants, and Agricultural Wastes*, vol. 53, no. 5, pp. 313-318. ISSN 15324109. DOI 10.1080/03601234.2018.1431461.
- EKPERUSI, O.A. y AIGBODION, F.I., 2015. Bioremediation of petroleum hydrocarbons from crude oil-contaminated soil with the earthworm: *Hyperiodrilus africanus*. *3 Biotech* [en línea], vol. 5, no. 6, pp. 957-965. ISSN 21905738. DOI 10.1007/s13205-015-0298-1. Disponible en:
<http://dx.doi.org/10.1007/s13205-015-0298-1>.
- ESMAEILI, A., KHORAM, M.R., GHOLAMI, M. y ESLAMI, H., 2020. Pistachio waste management using combined composting-vermicomposting technique: Physico-chemical changes and worm growth analysis. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 242, pp. 118523. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.118523. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118523>.
- EZEQUIEL ANDER-EGG, 2005. *APRENDER A INVESTIGAR Nociones básicas para la investigación social* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789875912717. Disponible en: <http://abacoenred.com/wp-content/uploads/2017/05/Aprender-a-investigar-nocionesbasicas-%0AAnder-Egg-Ezequiel-2011.pdf.pdf>.
- GÓMEZ-BRANDÓN, M. y DOMÍNGUEZ, J., 2014. Recycling of solid organic wastes through vermicomposting: Microbial community changes throughout the process and use of vermicompost as a soil amendment. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 44, no. 12, pp. 1289-1312. ISSN 15476537. DOI 10.1080/10643389.2013.763588.
- GONG, X., CAI, L., LI, S., CHANG, S.X., SUN, X. y AN, Z., 2018. Bamboo biochar amendment improves the growth and reproduction of *Eisenia fetida* and the quality of green waste vermicompost. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 156, no. December 2017, pp. 197-204. ISSN 10902414. DOI

10.1016/j.ecoenv.2018.03.023.

Disponible

en:

<https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.03.023>.

- GONG, X., LI, S., CARSON, M.A., CHANG, S.X., WU, Q., WANG, L., AN, Z. y SUN, X., 2019. Spent mushroom substrate and cattle manure amendments enhance the transformation of garden waste into vermicomposts using the earthworm *Eisenia fetida*. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 248, no. January, pp. 109263. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109263. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109263>.
- GOSWAMI, L., MUKHOPADHYAY, R., BHATTACHARYA, S.S., DAS, P. y GOSWAMI, R., 2018. Detoxification of chromium-rich tannery industry sludge by *Eudrillus eugeniae*: Insight on compost quality fortification and microbial enrichment. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 266, pp. 472-481. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2018.07.001. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.07.001>.
- GUSAIN, R. y SUTHAR, S., 2020. Vermicomposting of duckweed (*Spirodela polyrhiza*) by employing *Eisenia fetida*: Changes in nutrient contents, microbial enzyme activities and earthworm biodynamics. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 311, no. April, pp. 123585. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2020.123585. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123585>.
- GUZMÁN-MORALES, R., AMBAR, CRUZ-LA PAZ, O. y VALDÉS-CARMENATE, R., 2019. Efectos de la contaminación por metales pesados en un suelo con uso agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias* [en línea], vol. 28, no. 1, pp. 1-9. ISSN 10102760. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=fua&AN=135117310&lang=es&site=ehost-live>.
- HE, X., ZHANG, Y., SHEN, M., ZENG, G., ZHOU, M. y LI, M., 2016. Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 218, pp. 867-873. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2016.07.045. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.07.045>.
- HERRERA RODRIGUEZ, J.I., GUEVARA FERNANDEZ, G. y MUNSTER DE LA ROSA, H., 2015. Los diseños y estrategias para los estudios cualitativos. Un acercamiento teórico-metodológico. *Gaceta Médica Espirituana* [en línea], vol. 17, no. 2, pp. 120-134. ISSN 1608-8921. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1608-89212015000200013.
- HOEHNE, L., DE LIMA, C.V.S., MARTINI, M.C., ALTMAYER, T., BRIETZKE, D.T., FINATTO, J., GONÇALVES, T.E. y GRANADA, C.E., 2016. Addition of Vermicompost to Heavy Metal-Contaminated Soil Increases the Ability of Black Oat (*Avena strigosa* Schreb) Plants to Remove Cd, Cr, and Pb. *Water, Air, and Soil Pollution*, vol. 227, no. 12. ISSN 15732932. DOI 10.1007/s11270-016-3142-2.

- HUSSAIN, N. y ABBASI, S.A., 2018. Efficacy of the vermicomposts of different organic wastes as “clean” fertilizers: State-of-the-art. *Sustainability (Switzerland)*, vol. 10, no. 4. ISSN 20711050. DOI 10.3390/su10041205.
- JUSSELME, M.D., MIAMBI, E., LEBEAU, T. y ROULAND-LEFEVRE, C., 2015. Role of Earthworms on Phytoremediation of Heavy Metal-Polluted Soils. , pp. 279-298. DOI 10.1007/978-3-319-14526-6_15.
- KARMEGAM, N., VIJAYAN, P., PRAKASH, M. y JOHN PAUL, J.A., 2019. Vermicomposting of paper industry sludge with cowdung and green manure plants using *Eisenia fetida*: A viable option for cleaner and enriched vermicompost production. *Journal of Cleaner Production* [en línea], vol. 228, pp. 718-728. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.04.313. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.313>.
- KHAN, M.B., CUI, X., JILANI, G., LAZZAT, U., ZEHRA, A., HAMID, Y., HUSSAIN, B., TANG, L., YANG, X. y HE, Z., 2019. *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], vol. 684, pp. 597-609. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2019.05.370. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.05.370>.
- KHATUA, C., SENGUPTA, S., KRISHNA BALLA, V., KUNDU, B., CHAKRABORTI, A. y TRIPATHI, S., 2018. Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana stem waste using *Eisenia fetida*. *Waste Management* [en línea], vol. 79, pp. 287-295. ISSN 18792456. DOI 10.1016/j.wasman.2018.07.043. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.043>.
- KIYASUDEEN, K., IBRAHIM, M.H. y ISMAIL, S.A., 2020. Vermicomposting of organic wastes and the production of vermicompost. *Biovalorisation of Wastes to Renewable Chemicals and Biofuels* [en línea]. S.l.: Elsevier Inc., pp. 277-285. ISBN 9780128179512. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-817951-2.00014-6>.
- KOSHLAF, E. y S BALL, A., 2017. Soil bioremediation approaches for petroleum hydrocarbon polluted environments. *AIMS Microbiology*, vol. 3, no. 1, pp. 25-49. ISSN 2471-1888. DOI 10.3934/microbiol.2017.1.25.
- KOUBA, A., LUNDA, R., HLAVÁČ, D., KUKLINA, I., HAMÁČKOVÁ, J., RANDÁK, T., KOZÁK, P., KOUBOVÁ, A. y BUŘIČ, M., 2018. Vermicomposting of sludge from recirculating aquaculture system using *Eisenia andrei*: Technological feasibility and quality assessment of end-products. *Journal of Cleaner Production*, vol. 177, pp. 665-673. ISSN 09596526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.12.216.
- LEE, L.H., WU, T.Y., SHAK, K.P.Y., LIM, S.L., NG, K.Y., NGUYEN, M.N. y TEOH, W.H., 2018. Sustainable approach to biotransform industrial sludge into organic fertilizer via vermicomposting: a mini-review. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, vol. 93, no. 4, pp. 925-935. ISSN 10974660. DOI

10.1002/jctb.5490.

- LIM, M.W., LAU, E. Von y POH, P.E., 2016. A comprehensive guide of remediation technologies for oil contaminated soil — Present works and future directions. *Marine Pollution Bulletin* [en línea], vol. 109, no. 1, pp. 14-45. ISSN 0025326X. DOI 10.1016/j.marpolbul.2016.04.023. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.marpolbul.2016.04.023>.
- LIM, S.L., WU, T.Y., LIM, P.N. y SHAK, K.P.Y., 2015. The use of vermicompost in organic farming: Overview, effects on soil and economics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 95, no. 6, pp. 1143-1156. ISSN 10970010. DOI 10.1002/jsfa.6849.
- LIU, Beibei, WU, C., PAN, P., FU, Y., HE, Z., WU, L. y LI, Q., 2019. Remediation effectiveness of vermicompost for a potentially toxic metal-contaminated tropical acidic soil in China. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 182, no. February, pp. 109394. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2019.109394. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109394>.
- LIU, Mengli, WANG, C., WANG, F. y XIE, Y., 2019. Vermicompost and humic fertilizer improve coastal saline soil by regulating soil aggregates and the bacterial community. *Archives of Agronomy and Soil Science* [en línea], vol. 65, no. 3, pp. 281-293. ISSN 14763567. DOI 10.1080/03650340.2018.1498083. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/03650340.2018.1498083>.
- LIU, N., JIANG, Z., LI, X., LIU, H., LI, N. y WEI, S., 2020. Mitigation of rice cadmium (Cd) accumulation by joint application of organic amendments and selenium (Se) in high-Cd-contaminated soils. *Chemosphere*, vol. 241. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.125106.
- LUKASHE, N.S., MNKENI, P.N.S. y MUPAMBWA, H.A., 2020. Growth and elemental uptake of Rhodes grass (*Chloris gayana*) grown in a mine waste-contaminated soil amended with fly ash-enriched vermicompost. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 27, no. 16, pp. 19461-19472. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-020-08354-7.
- LV, B., XING, M. y YANG, J., 2016. Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. *Bioresour. Technol.* [en línea], vol. 209, pp. 397-401. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2016.03.015. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2016.03.015>.
- MAHALY, M., SENTHILKUMAR, A.K., ARUMUGAM, S., KALIYAPERUMAL, C. y KARUPANNAN, N., 2018. Vermicomposting of distillery sludge waste with tea leaf residues. *Sustainable Environment Research* [en línea], vol. 28, no. 5, pp. 223-227. ISSN 24682039. DOI 10.1016/j.serj.2018.02.002. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.serj.2018.02.002>.
- MAPA, M.D.A.P., 2015. *Boletín oficial del Estado. Orden AAA/2564/2015*. 2015. España: s.n. ISBN 0182237044.
- MINAM, M. del ambiente, 2013. *Ley General del Ambiente LEY N° 28611*. 2013.

Perú: s.n. ISBN 9788578110796.

- MONDAL, D., PERICHE, R., TINEO, B., BERMEJO, L.A., RAHMAN, M.M., SIDDIQUE, A.B., RAHMAN, M.A., SOLIS, J.L. y CRUZ, G.J.F., 2020. Arsenic in Peruvian rice cultivated in the major rice growing region of Tumbes river basin. *Chemosphere* [en línea], vol. 241, pp. 125070. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.125070. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125070>.
- MORILLAS, H., GREDILLA, A., CARRERO, J.A., HUALLPARIMACHI, G., GALLEGU-CARTAGENA, E., MAGUREGUI, M., MARCAIDA, I., ASTETE, F. y MADARIAGA, J.M., 2020. Impact assessment of metals on soils from Machu Picchu archaeological site. *Chemosphere* [en línea], vol. 242, pp. 125249. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.125249. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.125249>.
- MUDHOO, A., RAMASAMY, D.L., BHATNAGAR, A., USMAN, M. y SILLANPÄÄ, M., 2020. An analysis of the versatility and effectiveness of composts for sequestering heavy metal ions, dyes and xenobiotics from soils and aqueous milieus. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 197, no. April, pp. 110587. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2020.110587. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.110587>.
- MUPONDI, L.T., MNKENI, P.N.S., MUCHAONYERWA, P. y MUPAMBWA, H.A., 2018. Vermicomposting manure-paper mixture with igneous rock phosphate enhances biodegradation, phosphorus bioavailability and reduces heavy metal concentrations. *Heliyon* [en línea], vol. 4, no. 8, pp. e00749. ISSN 24058440. DOI 10.1016/j.heliyon.2018.e00749. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2018.e00749>.
- NGO, P.T., RUMPEL, C., NGO, Q.A., ALEXIS, M., VARGAS, G.V., MORA GIL, M. de la L., DANG, D.K. y JOUQUET, P., 2013. Biological and chemical reactivity and phosphorus forms of buffalo manure compost, vermicompost and their mixture with biochar. *Bioresource Technology*, vol. 148, pp. 401-407. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2013.08.098.
- NOREÑA, A. Lucia, MORENO, N., ROJAS, J. y MALPICA, D., 2012. Aplicabilidad de los criterios de rigor y éticos en la investigación cualitativa. *Aquichan*, vol. 12, no. 3, pp. 263-274. ISSN 0039128X. DOI 10.1016/0039-128X(76)90106-9.
- OLLE, M., 2019. Review: Vermicompost, its importance and benefit in agriculture. *Agraarteadus*, vol. 30, no. 2, pp. 93-98. ISSN 22284893. DOI 10.15159/jas.19.19.
- OSSAI, I.C., AHMED, A., HASSAN, A. y HAMID, F.S., 2020. Remediation of soil and water contaminated with petroleum hydrocarbon: A review. *Environmental Technology and Innovation* [en línea], vol. 17, pp. 100526. ISSN 23521864. DOI 10.1016/j.eti.2019.100526. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eti.2019.100526>.
- PEI, P., SUN, Y., WANG, L., LIANG, X. y XU, Y., 2021. In-situ stabilization of Cd by sepiolite co-applied with organic amendments in contaminated soils.

- Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 208, no. November 2020, pp. 111600. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2020.111600. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111600>.
- RAMNARAIN, Y.I., ANSARI, A.A. y ORI, L., 2019. Vermicomposting of different organic materials using the epigeic earthworm *Eisenia foetida*. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture* [en línea], vol. 8, no. 1, pp. 23-36. ISSN 22517715. DOI 10.1007/s40093-018-0225-7. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/s40093-018-0225-7>.
- REDDY, G.V.P. y ANTWI, F.B., 2016. Toxicity of natural insecticides on the larvae of wheat head armyworm, *Dargida diffusa* (Lepidoptera: Noctuidae). *Environmental Toxicology and Pharmacology* [en línea], vol. 42, pp. 156-162. ISSN 18727077. DOI 10.1016/j.etap.2016.01.014. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.etap.2016.01.014>.
- RINI, J., DEEPTHI, M.P., SAMINATHAN, K., NARENDHIRAKANNAN, R.T., KARMEGAM, N. y KATHIRESWARI, P., 2020. Nutrient recovery and vermicompost production from livestock solid wastes with epigeic earthworms. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 313, pp. 123690. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2020.123690. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.123690>.
- RODRÍGUEZ EUGENIO, NATALIA; MCLAUGHLIN, M. y PENNOCK, D., 2019. *La contaminación del suelo: una realidad oculta* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789251316399. Disponible en: <http://www.fao.org/3/I9183ES/i9183es.pdf>.
- ROMÁN-OCHOA, Y., CHOQUE DELGADO, G.T., TEJADA, T.R., YUCRA, H.R., DURAND, A.E. y HAMAKER, B.R., 2021. Heavy metal contamination and health risk assessment in grains and grain-based processed food in Arequipa region of Peru. *Chemosphere*, vol. 274. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2021.129792.
- SAINI, A., BEKELE, D.N., CHADALAVADA, S., FANG, C. y NAIDU, R., 2020. A review of electrokinetically enhanced bioremediation technologies for PHs. *Journal of Environmental Sciences (China)* [en línea], vol. 88, pp. 31-45. ISSN 18787320. DOI 10.1016/j.jes.2019.08.010. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jes.2019.08.010>.
- SALGADO LÉVANO, A., 2007. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *Liberabit* [en línea], no. 13, pp. 71-78. ISSN 1729-4827. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/28235566>.
- SAMAL, K., RAJ MOHAN, A., CHAUDHARY, N. y MOULICK, S., 2019. Application of vermitechnology in waste management: A review on mechanism and performance. *Journal of Environmental Chemical Engineering* [en línea], vol. 7, no. 5, pp. 103392. ISSN 22133437. DOI 10.1016/j.jece.2019.103392. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jece.2019.103392>.
- SHAH, V. y DAVEREY, A., 2020. Phytoremediation: A multidisciplinary approach to clean up heavy metal contaminated soil. *Environmental Technology and Innovation* [en línea], vol. 18, pp. 100774. ISSN 23521864. DOI

10.1016/j.eti.2020.100774.

Disponible

en:

<https://doi.org/10.1016/j.eti.2020.100774>.

- SHARMA, K. y GARG, V.K., 2018. Comparative analysis of vermicompost quality produced from rice straw and paper waste employing earthworm *Eisenia fetida* (Sav.). *Bioresource Technology* [en línea], vol. 250, pp. 708-715. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2017.11.101. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.11.101>.
- SHI, Z., LIU, J., TANG, Z., ZHAO, Y. y WANG, C., 2019. Vermiremediation of organically contaminated soils: Concepts, current status, and future perspectives. *Applied Soil Ecology* [en línea], no. February, pp. 103377. ISSN 09291393. DOI 10.1016/j.apsoil.2019.103377. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2019.103377>.
- SHI, Z., TANG, Z. y WANG, C., 2017. A brief review and evaluation of earthworm biomarkers in soil pollution assessment. *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 24, no. 15, pp. 13284-13294. ISSN 16147499. DOI 10.1007/s11356-017-8784-0.
- SHRESTHA, P., BELLITÜRK, K. y GÖRRES, J.H., 2019. Phytoremediation of heavy metal-contaminated soil by switchgrass: A comparative study utilizing different composts and coir fiber on pollution remediation, plant productivity, and nutrient leaching. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 7. ISSN 16604601. DOI 10.3390/ijerph16071261.
- SIERRA ARAGÓN, M., NAKAMARU, Y.M., GARCÍA-CARMONA, M., MARTÍNEZ GARZÓN, F.J. y MARTÍN PEINADO, F.J., 2019. The role of organic amendment in soils affected by residual pollution of potentially harmful elements. *Chemosphere*, vol. 237. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.124549.
- SINGH, S.I. y SINGH, S., 2020. Earthworm-assisted bioremediation of agrochemicals. *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation* [en línea]. S.l.: LTD, pp. 307-328. ISBN 9780081030172. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00013-1>.
- SOOBHANY, N., 2018. Remediation potential of metalliferous soil by using extracts of composts and vermicomposts from Municipal Solid Waste. *Process Safety and Environmental Protection* [en línea], vol. 118, pp. 285-295. ISSN 09575820. DOI 10.1016/j.psep.2018.07.005. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.psep.2018.07.005>.
- STEWART-WADE, S.M., 2020. Efficacy of organic amendments used in containerized plant production: Part 1 – Compost-based amendments. *Scientia Horticulturae* [en línea], vol. 266, no. September, pp. 108856. ISSN 03044238. DOI 10.1016/j.scienta.2019.108856. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108856>.
- TÓTH, G., HERMANN, T., DA SILVA, M.R. y MONTANARELLA, L., 2018. Heavy metals in agricultural soils of the European Union with implications for food safety. *Environment International* [en línea], vol. 88, pp. 299-309. ISSN

18736750. DOI 10.1016/j.envint.2015.12.017. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.envint.2015.12.017>.
- USMANI, Z., RANI, R., GUPTA, P. y PRASAD, M.N.V., 2020. Vermiremediation remediation of agrochemicals. *Agrochemicals Detection, Treatment and Remediation* [en línea]. S.I.: LTD, pp. 329-367. ISBN 9780081030172. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-08-103017-2.00015-5>.
- WANG, F., WANG, X. y SONG, N., 2021. Biochar and vermicompost improve the soil properties and the yield and quality of cucumber (*Cucumis sativus* L.) grown in plastic shed soil continuously cropped for different years. *Agriculture, Ecosystems and Environment* [en línea], vol. 315, no. October 2020, pp. 107425. ISSN 01678809. DOI 10.1016/j.agee.2021.107425. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107425>.
- WANG, F., ZHANG, W., MIAO, L., JI, T., WANG, Y., ZHANG, H., DING, Y. y ZHU, W., 2021. The effects of vermicompost and shell powder addition on Cd bioavailability, enzyme activity and bacterial community in Cd-contaminated soil: A field study. *Ecotoxicology and Environmental Safety* [en línea], vol. 215, pp. 112163. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2021.112163. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2021.112163>.
- WANG, Y., HAN, W., WANG, Xiaoyun, CHEN, H., ZHU, F., WANG, Xiaoping y LEI, C., 2017. Speciation of heavy metals and bacteria in cow dung after vermicomposting by the earthworm, *Eisenia fetida*. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 245, no. June, pp. 411-418. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2017.08.118. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.118>.
- WANG, Y., XU, Y.A., LI, D., TANG, B.C., MAN, S.L., JIA, Y.F. y XU, H., 2018. Vermicompost and biochar as bio-conditioners to immobilize heavy metal and improve soil fertility on cadmium contaminated soil under acid rain stress. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 621, pp. 1057-1065. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.10.121. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.10.121>.
- WEISSMANNOVÁ, H.D., MIHOČOVÁ, S., CHOVANEC, P. y PAVLOVSKÝ, J., 2019. Potential ecological risk and human health risk assessment of heavy metal pollution in industrial affected soils by coal mining and metallurgy in Ostrava, Czech Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, vol. 16, no. 22. ISSN 16604601. DOI 10.3390/ijerph16224495.
- WU, D., YU, X., CHU, S., JACOBS, D.F., WEI, X., WANG, C., LONG, F., CHEN, X. y ZENG, S., 2018. Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 633, pp. 71-80. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2018.03.167. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.167>.
- XIAO, R., LIU, X., ALI, A., CHEN, A., ZHANG, M., LI, R., CHANG, H. y ZHANG, Z., 2021. Bioremediation of Cd-spiked soil using earthworms (*Eisenia fetida*):

- Enhancement with biochar and *Bacillus megatherium* application. *Chemosphere* [en línea], vol. 264, pp. 128517. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.128517. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128517>.
- YADAV, A. y GARG, V.K., 2019. Biotransformation of bakery industry sludge into valuable product using vermicomposting. *Bioresource Technology* [en línea], vol. 274, no. October 2018, pp. 512-517. ISSN 18732976. DOI 10.1016/j.biortech.2018.12.023. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2018.12.023>.
- YATOO, A.M., RASOOL, Saiema, SHAFAT ALI, S.M., REHMAN, M.U., ALI, M.N., EACHKOTI, R., RASOOL, Shabhat, RASHID, S.M. y FAROOQ, S., 2020. Vermicomposting: An Eco-Friendly Approach for Recycling/Management of Organic Wastes. *Bioremediation and Biotechnology*. S.l.: s.n., pp. 167-187. ISBN 9783030356903.
- YUVARAJ, A., KARMEGAM, N., TRIPATHI, S., KANNAN, S. y THANGARAJ, R., 2020. Environment-friendly management of textile mill wastewater sludge using epigeic earthworms: Bioaccumulation of heavy metals and metallothionein production. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 254, no. October 2019, pp. 109813. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109813. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109813>.
- YUVARAJ, A., THANGARAJ, R., RAVINDRAN, B., CHANG, S.W. y KARMEGAM, N., 2021. Centrality of cattle solid wastes in vermicomposting technology – A cleaner resource recovery and biowaste recycling option for agricultural and environmental sustainability. *Environmental Pollution* [en línea], vol. 268, pp. 115688. ISSN 18736424. DOI 10.1016/j.envpol.2020.115688. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2020.115688>.
- ZHANG, P. y CHEN, Y., 2017. Polycyclic aromatic hydrocarbons contamination in surface soil of China: A review. *Science of the Total Environment* [en línea], vol. 605-606, pp. 1011-1020. ISSN 18791026. DOI 10.1016/j.scitotenv.2017.06.247. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.06.247>.
- ZHANG, Y., TIAN, Y., HU, D., FAN, J., SHEN, M. y ZENG, G., 2019. Is vermicompost the possible in situ sorbent? Immobilization of Pb, Cd and Cr in sediment with sludge derived vermicompost, a column study. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 367, pp. 83-90. ISSN 18733336. DOI 10.1016/j.jhazmat.2018.12.085.

ANEXOS

 UCV UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO	<h3>FICHA DE ANALISIS DE CONTENIDO</h3>
---	---

TITULO:

PAGINAS UTILIZADAS:	AÑO DE PUBLICACION:	LUGAR DE PUBLICACION:
----------------------------	----------------------------	------------------------------

TIPO DE INVESTIGACION:	AUTOR (ES):
-------------------------------	--------------------

CODIGO:	
PALABRAS CLAVES:	
TIPO DE SUELO	
LOMBRIZ DE TIERRA EMPLEADA:	
MATERIA PRIMA EMPLEADA:	
METALES PESADOS ESTUDIADOS:	
PARÁMETROS ESTUDIADOS:	
PRINCIPALES HALLAZGOS	



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

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

Declaratoria de Originalidad del Autor

Yo, ARENAZA FABABA SERGIO estudiante de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA de la escuela profesional de INGENIERÍA AMBIENTAL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ESTE, declaro bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: "APLICACIÓN DE VERMICOMPOST PARA LA REMEDIACIÓN DE SUELOS CONTAMINADOS POR METALES PESADOS: REVISIÓN SISTEMÁTICA", es de mi autoría, por lo tanto, declaro que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. He mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

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

Nombres y Apellidos	Firma
ARENAZA FABABA SERGIO DNI: 73122465 ORCID 0000-0001-5228-7531	Firmado digitalmente por: SARENAZAF7 el 07-07- 2021 20:48:35

Código documento Trilce: INV - 0445468