

UNIVERSIDAD
CIENTÍFICA
DEL SUR

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

“COMPARACIÓN DE LA TÉCNICA DE COMPOST Y
VERMICOMPOST MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE
LODOS DE UNA PTAR”

Trabajo de Investigación para optar el grado académico de:
Bachiller en INGENIERÍA AMBIENTAL

Presentado por:

Solange Asto Rafaele (0000-0002-3794-430X)

Asesor:

Ing. Luis Abraham Gomero Osorio (0000-0002-4739-2094)



Lima – Perú

2020



RESOLUCIÓN DIRECTORAL ACADÉMICA DE CARRERA N° 299-2020-DACIA-DAFCA-CIENTIFICA

FACULTAD DE CIENCIAS AMBIENTALES / CARRERA DE INGENIERIA AMBIENTAL

Lima 31 de diciembre de 2020

VISTO:

La revisión realizada y la aprobación de Trabajo de Investigación titulado: **COMPARACIÓN DE LA TÉCNICA DE COMPOST Y VERMICOMPOST MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE LODOS DE UNA PTAR**, presentado por:

- **Solange Asto Rafeale**

CONSIDERANDO:

Que, de acuerdo al Reglamento General de la Universidad Científica del Sur y los reglamentos de pregrado para obtener el grado de Bachiller de **Ingeniería Ambiental** en la **Facultad de Ciencias Ambientales**, se debe desarrollar un trabajo de investigación.

Que, de acuerdo a la normativa vigente de la Universidad Científica del Sur, en uso de las atribuciones conferidas al Director Académico de Carrera.

SE RESUELVE:

Aprobar e inscribir el trabajo de investigación titulado: **COMPARACIÓN DE LA TÉCNICA DE COMPOST Y VERMICOMPOST MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE LODOS DE UNA PTAR** con N° de registro de la carrera: **0108-FCA-IAM**.

Nombrar al docente/colaborador **Luis Abraham Gomero Osorio** como asesor de dicho trabajo de investigación.

Regístrese, comuníquese y archívese,



Mg. Gonzalo Francisco Flores Roca
Director Académico de Carrera
Ingeniería Ambiental

**COMPARACIÓN DE LA CALIDAD DE ABONO ORGÁNICO DE COMPOST Y
VERMICOMPOST MEDIANTE EL APROVECHAMIENTO DE LODOS DE PTAR**

Solange Asto Rafaele ^{1*}; ¹

1 Facultad de Ciencias Ambientales. Universidad Científica del Sur. Lima – Perú

**correo de correspondencia: solangeucs@gmail.com*

RESUMEN

En este estudio se analizaron dos técnicas para el aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR en sus diversas clasificaciones, estos contienen alta concentración de nutrientes las cuales pueden ser aprovechados para la fertilización de los suelos. Sin embargo, el uso de lodos de manera directa genera problemas, como es la presencia de microorganismos patógenos, presencia de metales pesados, olores, etc.

Es por ello que se analizan las técnicas más usadas las cuales son el compostaje que se trabaja a una temperatura de 45 a 70° C, una relación de C/N de 15 -30%, una CE menor a 1dS m⁻¹ (1+5 v/v) ya que en estas condiciones produce un aumento de nutrientes y un incremento de mineralización de MO. Así mismo la técnica de vermicompostaje es otra de las más usadas, se trabaja con una temperatura de 15 – 24 °C, pH de 5 a 8, relación C/N 30%, humedad 75 -80% y la aeración se tiene que realizar cada 7 días, estas condiciones ayudarán que las lombrices se desarrollen mejor.

En los estudios realizados en cuanto a la comparación de técnicas de compostaje y vermicompostaje, la concentración de minerales y macronutrientes fueron las mismas para ambas técnicas, la comunidad bacteriana, en las 2 técnicas fueron positivos para activar los parámetros microbianos, siendo la más eficiente la tecnología de vermicompostaje con una mayor diversidad bacteriana, económicamente el compost es más rentable que vermicompost, para la retención de metales pesados el vermicompostaje es más eficiente.

Palabras clave:

Compostaje, vermicompostaje, lodos residuales, lombriz, metales, microorganismos patógenos, agentes estructurantes, macronutrientes.

ABSTRACT

In this study, two techniques will be analyzed to take advantage of the residual residues coming from a WWTP in their various classifications, these contain a high concentration of nutrients which can be used to fertilize the soil. However, the use of sludge directly generates problems, such as the presence of pathogenic microorganisms, the presence of heavy metals, odors, etc.

That is why the most used techniques are analyzed, which are composting that works at a temperature of 45 to 70 ° C, a C / N ratio of 15-30%, an EC less than 1dS m⁻¹ (1 +5 v / v) since under these conditions they produce an increase in nutrients and an increase in OM mineralization. Likewise, the vermicomposting technique is another of the most used, it works with a temperature of 15 - 24 ° C, pH from 5 to 8, C / N ratio 30%, humidity 75 -80% and aeration must be carried out Every 7 days, these conditions will help worms develop better.

In the studies carried out regarding the comparison of composition and vermicomposting techniques, the concentration of minerals and macronutrients were the same for both techniques, the bacterial community, in both techniques, were positive to activate the microbial parameters, the most efficient being the Vermicomposting technology with a greater bacterial diversity, compost is economically more profitable than vermicompost, for the retention of heavy metals, vermicomposting is more efficient.

Keywords:

Composting, vermicomposting, residual sludge, earthworm, metals, pathogenic microorganisms, structuring agents, macronutrients.

I. REVISIÓN TEÓRICA

El aumento de población genera gran cantidad de aguas residuales y por consiguiente lodos residuales los cuales son materiales de desechos producidos por una PTAR que contienen gran cantidad de nutrientes (Guerrini *et al.*, 2017) como son el fósforo, nitrógeno, azufre y elementos metálicos, debido a los nutrientes mencionados su uso como enmienda en el suelo es atractivo para los agricultores, por otro lado, reemplazaría a los fertilizantes sintéticos (Aljerf, 2018).

No obstante, serán diferentes las concentraciones de nutrientes en lodos residuales, ya que depende del tipo de plantas de tratamiento que se implemente (Ghirardini & Verlicchi, 2019). Sin embargo, el uso de lodos residuales como fertilizante de suelo genera problemas como la presencia de microorganismos, metales pesados, compuestos orgánicos, olores, etc (Li, et al., 2017). Es por ello que en muchos países lo dan previo tratamiento para luego ser utilizados como fertilizantes para mejorar el suelo agrícola.

El total de lodos residuales generado diariamente incrementa, donde el promedio mundial de producción de lodos secos es de 30 kg por persona/día (Hospido *et al.*, 2010). La Unión Europea genera más de 10 millones de toneladas de materia seca por año de lodos residuales (Kacprzak *et al.*, 2017), Estados Unidos genera 7,2 millones de toneladas de lodos anuales, de los cuales dentro del 6% que se da en otros usos se encuentra el compostaje (Llivichuzca, 2016), China genera más de 7 millones de toneladas de materia seca por año de lodos residuales (Yang, Zhang, & Wang, 2015), Canadá genera 0.55 millones de toneladas de lodos anuales (Rojas & Mendoza, 2012). Por otro lado, en América Latina, Brasil genera 0.48 millones de toneladas de lodos anuales (Rojas & Mendoza, 2012), Colombia genera 274 toneladas al día de biosólidos (Ruiz & Quevedo, 2017), México cuenta con 2.029 PTAR y genera 0.64 millones de toneladas al año (Rojas & Mendoza, 2012). Por último, en el Perú, Lima genera aproximadamente 32 000 toneladas de lodos anuales (COSUDE, 2017).

1.1. Tratamiento de aguas residuales

En la actualidad las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) son más modernas y utilizan combinaciones de procesos biológicos, físicos y químicos, teniendo como subproducto

de este tratamiento lodos deshidratados del tratamiento primario, secundario o avanzado (Yañez, Alonso, & Díaz, 2009). La clasificación de aguas residuales provenientes de una PTAR se da en base a los tratamientos como:

1.1.1 Tratamiento preliminar: En esta fase se utiliza rejillas de metal para retener sólidos gruesos (Onofre, 2018), dentro de este tratamiento se considera la etapa de desaceitado (eliminación de grasas) para ello en la separación de grasa y mejorar la flotabilidad se debe introducir aire (Arce, 2011).

1.1.2 Tratamiento primario: Tiene como objetivo remover los sólidos inorgánicos y orgánicos con el fin de reducir materia orgánica, para ello, se realiza la sedimentación la cual dependerá del peso específico del sólido, por otro lado, se puede dar el proceso de coagulación y floculación en la cual se incorporará reactivos químicos como coagulantes para la sedimentación de partículas, muchas empresas solo llegan hasta este tratamiento donde los lodos generan reacciones químicas y biológicas produciendo olores (Onofre, 2018), pero estos lodos pueden pasar al tratamiento secundario.

1.1.3 Tratamiento secundario: Consiste en emplear bacterias aerobias las cuales consumen la MO que se encuentra en el agua residual, para la proliferación de bacterias se debe dar un proceso de aireación logrando que los sólidos suspendidos y la DBO estén por encima del 80% (Hurtado, 2015). Dentro de este tratamiento se encuentra tratamientos de lagunas como:

- a. laguna de estabilización o también conocidas como laguna de oxidación, donde en un tanque escavado en el terreno se dispone grandes volúmenes de aguas residuales (Onofre, 2018). El tratamiento de lagunas de oxidación se emplea cuando los nutrientes y biomasa (bacterias, algas) que se descargan pueden ser asimilados por el cuerpo receptor, su ventaja es que tiene un bajo costo de construcción, operación fácil y una alta eficiencia, pero tiene desventajas como

es las grandes extensiones de terreno y un clima tropical o semitropical (Vega, 2018).

- b. Laguna anaeróbica se emplea cuando el lodo residual contiene alta concentración de nutrientes, pero se cuenta con un área pequeña para su construcción, no se recomienda para $T < 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y contenido de sulfato (mayor a 250 mg/L) (Vega, 2018).
- c. Laguna aerobia se caracteriza por tener profundidad entre 0,15 a 1.5 m, por consiguiente, recibe poco volumen de agua residual y la acción biológica se da por algas y bacterias los cuales descomponen los residuos y proporcionan oxígeno al mismo tiempo (Vega, 2018).
- d. Laguna facultativa es el tratamiento más utilizado para aguas residuales domésticas o industriales, la profundidad del tanque es de 1.5 a 2 m., lo cual se recomienda dejar un borde libre de 0.5 a 0.8 m para evitar los efectos del viento y la sobrecarga, esta presenta una zona aeróbica en la superficie y presenta bacterias, algas que degradan la MO, también hay una zona anaerobia en la profundidad y presenta microorganismos que producen metano y otros gases (Vega, 2018).

1.1.4 Tratamiento terciario: Tiene como finalidad mejorar la calidad del agua residual, lodo y una menor carga de contaminantes, frecuentemente en el tratamiento secundario existen parásitos, patógenos y olores, es por ello que se necesita hacer un tercer tratamiento (Vega, 2018), para ello se implementa métodos como la cloración, osmosis inversa, el intercambio iónico, etc., siendo este tratamiento el más completo para eliminar contaminantes (Onofre, 2018).

1.2 Clasificación de lodos

Los lodos tienen altos contenidos de Nitrógeno con relaciones C/N entre 5 y 11 (Marín, 2019) y la clasificación de lodos residuales son los siguientes:

- 1.2.1 Lodos primarios:** Son subproductos que se extraen del primer tratamiento de aguas residuales, contienen arena, sólidos orgánico e inorgánico y materiales grasos y poseen un olor fuerte (Valencia, 2008). Los lodos contienen una humedad entre 93 a 97%, por lo cual es importante darle un tratamiento antes de su disposición final, para reducir la cantidad de agua y ser estabilizado (Marín, 2019).
- 1.2.2 lodos secundarios:** También conocidos como lodos activos, son lodos provenientes del tratamiento secundario contienen principalmente materia orgánica (Gualoto, 2016), en un tanque las aguas residuales son aireadas y los microorganismos son capaces de degradar la MO (Marín, 2019), son de color marrón, debido al proceso de aeración no producen olores fuertes y rápidos como los lodos primarios, pero sino se encuentra bien aireados, produce un olor fuerte y cambia a un color oscuro (Aldana & Pérez, 2017).
- 1.2.3 Lodos terciarios:** Son tratados por intermedio de acondicionamiento químico, donde la humedad del lodo residual de un 90-99% disminuye a un 65- 85%, permitiendo la coagulación de éstos, mayormente son tratados con la adición de sales de hierro, aluminio, cal y polímeros orgánicos, con el objetivo de elevar su rendimiento y evitar los malos olores (Marín, 2019).

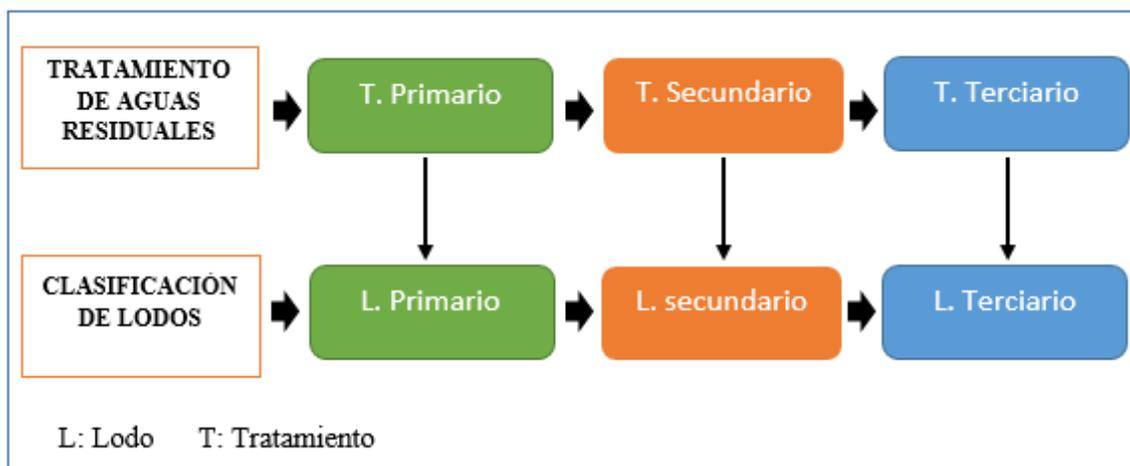


Figura 1. Diseño de correlación del tratamiento de aguas residuales y la clasificación de lodos residuales.

1.3 Caracterización física, química y biológica de lodos residuales

1.3.1 Característica física: En las características físicas principalmente se emplean los parámetros: temperatura, color, densidad, olor, porcentaje de humedad, porcentaje de sólidos totales, tamaño de partícula velocidad de sedimentación, donde lodos representan un problema de contaminación a la salud y al medio ambiente, ya que contienen compuestos tóxicos como metales pesados, contaminantes orgánicos y organismos patógenos (Kosobucki, Chmarzyński, & Buszewski, 2000). Por lo que requieren ser estabilizados, para reducir masa, volumen, vectores, olores, organismos patógenos y riesgos a la salud (Limón, 2013).

1.3.2 Características químicas: Las características químicas dependen del tratamiento que se les emplea a las aguas residuales (Gualoto, 2016). Para la caracterización química de los lodos residuales se emplea los siguientes parámetros: Metales pesados, Demanda Bioquímica de Oxígeno, Materia Orgánica, Carbono Orgánico Total, Ph, parámetros inorgánicos y orgánicos, aceites y grasas, conductividad (Valencia, 2008). Según Marín, 2019, el pH óptimo está dentro de 6 a 7.5 pero otros autores lo consideran dentro de 6 a 8.

1.3.3 Características biológicas: Para las características biológicas de lodos residuales, contienen diversos microorganismos como: virus, bacterias y parásitos los cuales representa un riesgo para la salud humana, entre ellos están la *Salmonella spp.*, Coliformes Fecales por ello es importante determinar su potencial de contaminación y sus posibles tratamientos (Valencia, 2008).

1.3.4 Parámetros fisicoquímicos: Los parámetros a determinar en los lodos es la humedad o la cantidad de agua en el lodo con el método gravimétrico, ello nos permite conocer si el lodo está apto para el proceso de compostaje, donde los valores deben estar dentro de 40-65%, ya que un valor por encima del rango causaría putrefacción y malos olores, por otro lado, un valor por debajo del rango indica la presencia de fases estacionarias y podría causar una fase muerta. (Marín, 2019).

Tabla 1. Los parámetros físicos, químicos, fisicoquímico y biológicos de lodos residuales

Parámetros		Lodo primario	Lodo secundario	Lodo digerido
Físico	Sólidos Volátiles (% de ST)	70 - 80	80 - 90	55 - 65
Químico	pH (Adimensional)	5 - 8	6.5 - 7.5	6.8 - 8
	Carbohidratos	8 - 10	6 - 8	5 - 8
	Proteínas (% de ST)	4 - 14	20 - 30	10 - 20
	Fósforo (% de ST)	0.5 - 1.5	1.5 - 2.5	0.5 - 1.5
	Nitrógeno (% de ST)	2 - 5	1 - 6	3 - 7
	Metales pesados(%SS)	0.2 - 2	0.2 - 2	0.2 - 2
Físico Químico	Humedad (%)	92 - 96	97.5 - 98	94 - 97
Biológico	Bacterias (NMP/100ml)	10 ³ -10 ⁵	100-1000	10-100

1.4 Compostaje

En México, Brasil, Chile y Colombia se han desarrollado técnicas de compostaje para lodos residuales (Onofre, 2018). El compostaje es un proceso aeróbico donde los microorganismos termófilos como mesófilos, convierten la MO en compost estabilizado, donde la desinfección se da en la etapa termofílica del compostaje con una temperatura de 45 a 70° C y durante la etapa de mesofílica (maduración), donde los compuestos orgánicos persistentes se degradan lentamente y desaparece la fitotoxicidad residual (Fornes *et al.*, 2012). La técnica de compostaje también es rentable para el tratamiento de aguas residuales y socialmente aceptable, lo cual implica la degradación de MO por los microorganismos (Awasthi *et al.*, 2017). Durante el proceso de compostaje, se cuenta con la fase de descomposición y maduración:

- a) Fase de descomposición: Es la fase donde las moléculas complejas se simplifican en moléculas inorgánicas y orgánicas. Este es un proceso exotérmico debido a que los microorganismos consumen oxígeno alimentándose de la MO de los componentes que se encuentran en el compostaje, desprendiendo a la atmósfera vapor de agua, calor, CH₄, CO, etc. (Marín, 2019).
- b) Fase de maduración: Es la fase donde presenta una temperatura es menor que 40°C llegando casi a temperaturas ambientales, en este proceso se da la humificación de la MO, llegando hacer el material biológicamente estable, produciéndose una composta madura y dando por terminado el proceso (Marín, 2019).

Para la elaboración de compostaje uno de los indicadores a tomar en cuenta es la relación de Carbono/ Nitrógeno, debido a que el proceso microbiano del compostaje es importante, el carbono se emplea para el crecimiento celular y brindar energía, por otro lado, el nitrógeno se emplea para la síntesis de proteínas y formación de células colaborando el desarrollo de los microorganismos; para una buena calidad de compost la relación de C/N debe ser de 15 y 30, también se puede agregar materiales altos en carbono, los cuales podrían ser paja, cachaza de caña, aserrín, residuos de poda. La relación C/N si es elevada disminuye la actividad biológica (Marín, 2019).

También la conductividad eléctrica es importante para el proceso de compost, principalmente por su concentración de sales. El incremento de CE se da por la mineralización de MO en el proceso de compostaje y produce un aumento de nutrientes. Un exceso de salinidad dificulta la absorción de agua en el suelo para las raíces de las plantas por ello es recomendable que la CE del compost sea menor a 1dS m⁻¹ (1+5 v/v), ya que nos permitiría un manejo fertilización y se evita el problema fitotoxicidad en el cultivo (Marín, 2019).

Cabe señalar que se cuenta con antecedentes de estudios empleando la técnica de compostaje, donde con el lodo residual de la PTAR de la provincia de Malopolska –Polonia, se realizó un estudio el cual tuvo como objetivo investigar los efectos de partículas de compostaje de diferentes tamaños, características químicas y físicas de un suelo arenoso basados en los tipos de materia prima. Para ello se utilizaron mezclas de materias primas como: paja de maíz, lodos de depuradora

con paja de maíz, lodos de depurador más paja de maíz más biochar, donde el biochar (sauce), se utilizó 4 tamaños de compost: 0 a 250 μm , 250 a 500 μm , 500 a 1000 μm , 1000 a 2000 μm , teniendo como resultado que la mezcla de lodos residuales más paja de maíz y biochar mejoran la retención de agua (Glab *et al.*, 2019).

Del mismo modo se cuenta con otro estudio de lodos de la PTAR El Kerma, provincia de Orán – Argelia, teniendo como objetivo investigar qué efectos generaría la incorporación de aserrín con lodos residuales y la paja de trigo en su germinación de semillas de: col china, berro de jardín, lechuga, espinaca china, donde la primera mezcla contenía lodos de aguas residuales y paja de trigo, la segunda mezcla contenía lodos de aguas residuales, aserrín de madera y paja de trigo los cuales fueron compostados durante 90 días. Los resultados fueron que la temperatura en la fase termofílica para ambas mezclas fue mayor a 55 °C, humedad 30%, Ph para la primera mezcla fue de 6,73 y para la segunda mezcla fue de 7,19, los valores de C/N fueron < 12, obteniendo un alto grado de madurez, no se detectó patógenos bacterianos, los metales pesados se redujeron al igual que la toxicidad de los lodos residuales, por otro lado, la adición de aserrín de madera aumenta el contenido de nitrógeno produciendo un compost medio alcalino reduciendo la foto toxicidad en la germinación de semillas (Kebibeche, *et al.*, 2019).

Así mismo otro estudio de lodos que se obtuvieron de la PTAR de Multan, teniendo como objetivo fue evaluar la disponibilidad de P en el compostaje de lodos residuales con estiércol agrícola y fosfato de roca, efecto del compost en el rendimiento del arroz y cultivo de trigo en un suelo alcalino. Para ello se prepararon co-compost de lodos residuales (SS), estiércol agrícola (FM) y fosfato de roca (RP), teniendo tratamientos los cuales se midieron el pH, conductividad eléctrica, materia orgánica y se tuvo como resultado que los co compost de lodos residuales al 25% más estiércol de granja al 25% , más fosfato de roca en un 50% es un fertilizante óptimo para el cultivo de trigo y arroz llegando a una conclusión que el reciclaje de lodos residuales aplicando la técnica de co compostaje junto con fosfato de roca, mejorarían la cantidad de fosforo en los cultivos (Rehman & Qayyum, 2019).

Por otro lado, un estudio realizado en los lodos de la PTAR de Zhengzhou –China tuvo como objetivo evaluar el potencial del biochar en el proceso de compostaje aeróbico, donde el biochar

fue de madera de litchi, lo incineraron en un horno tradicional de temperatura 400 a 55 °C. Los resultados fueron que la aplicación de biochar aumentó la deshidrogenasa, las actividades de aril sulfatasa y β -glucosidasa. Lo que condujo mayor eficiencia de eliminación de nitrógeno, azufre totales y carbono, pero reduce la temperatura acortando la fase termofílica e impidiendo la degradación de la MO. Por ende, el biochar no mejora sus propiedades fisicoquímicas en el proceso de compostaje y reduce la degradación de MO, también debilita la actividad enzimática. Por lo tanto, no es recomendable añadir biochar al proceso de compostaje y se debe abordar más estudio sobre estrategias de utilización de biochar (Du et al., 2019).

Por último, se realizó un estudio a escala de laboratorio en 45 días para comparar el efecto de 4 pajas las cuales son: de arroz, trigo, colza y maíz en el proceso de compostaje con los lodos. Se determinaron los parámetros de: materia orgánica (MO), temperatura, sustancia húmica (HS), ácido fúlvico (FA) y ácido húmico (HA). Los resultados fueron que la tasa máxima de degradación de MO se dio en las pilas de compost que contenían paja de colza, arroz, trigo, maíz fueron 34.7, 52.8, 46.9 y 54.7 % respectivamente, por otro lado, los resultados finales de HS fueron 118, 134, 128 y 141 g. Kg⁻¹ y los índices de humificación fueron elevadas en las pilas de compost que contenían paja de maíz y de trigo a comparación de los índices de humificación del compost que tenía paja de arroz y de colza; un alto contenido de hemicelulosa reduce la relación de C/N en la paja del cultivo generando mayor degradación de MO y altos contenidos de HS, así mismo un mayor contenido de lignina conduciría un alto grado de polimerización de HS en el compost. Por otro lado, el compost que contiene la paja de colza tiene mayor potasio y el compost que tienen la paja de arroz tiene mayor pH (Zhao *et al.*, 2016).

1.5 Vermicompostaje

Es un proceso biotecnológico que biodegrada materias orgánicas y que implica lombrices de tierra y microorganismos (Villegas-cornelio & Laines, 2016). Es un proceso biooxidativo, donde las lombrices se encargan de la fragmentación del sustrato, por otro lado, los microorganismos se encargan de la degradación bioquímica de la MO, las lombrices de tierra modifican las

propiedades físicas de manera directa y de manera indirecta sus propiedades químicas del material (Munive, 2017).

Para la elaboración de vermicompostaje se debe tener en cuenta los siguientes factores:

La humedad debe estar en los rangos de 75% - 80% ya que debajo del 70% son condiciones desfavorables y se mueren por debajo de 55%, la temperatura óptima es de 15°C -24°C el cual es lo más cercano a su temperatura corporal de la lombriz que es de 19°C , la aireación del lecho se debe realizar cada 7 días (Mendoza, 2018), además el pH óptimo se encuentra entre (5-8), la relación C/N debe estar aproximadamente entre el 30 % para un buen desarrollo de las lombrices de tierra (Lim, *et al.*, 2011).

De modo que, se cuenta con estudios realizados para el tratamiento de vermicompostaje, donde un estudio de lodos de depuradora (SS) obtenido de la PTAR de Xintangy-China y la basura de plantas urbanas (UPL) el cual es un problema para la ciudad. Mediante la inmovilización de los metales pesados (HM) se podrá aplicar en la agricultura. Por ello en este trabajo se investigó la eliminación de HM empleando la técnica de vermicompostaje (*E. fétida*) con aditivos UPL, para ello se realizó 10 camadas de especies de plantas propios del lugar para el crecimiento de las lombrices *E. fétida*, y fueron utilizados posteriormente para su estudio, donde la camada *Dracontomelon duperreanum* (D) y *Bauhinia purpurea* (B) incrementaron la acumulación de HM oxidables en SS en las lombrices de tierra durante la vermicomposición. Tuvo como resultado que el vermicompostaje con UPL puede disminuir las concentraciones de HM en SS (Wu, et al., 2018).

En otro estudio, los lodos fueron obtenidos de una PTAR de la municipalidad Changsha-China, su objetivo fue evaluar metales pesados (Cr, As, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn y Pb) y su contenido total durante el vermicompostaje usando la lombriz de tierra *Eisenia fétida* y materiales aditivos como la paja, aserrín, tierra y cenizas. Teniendo como resultado que el carbono orgánico total y el Ph se redujo, pero el índice de germinación y conductividad eléctrica subieron. La incorporación de aditivos incrementó la estabilización del lodo y eliminó su toxicidad. En cuanto a los metales pesados después del vermicompostaje en 10 escenarios se redujo considerablemente en comparación con el valor de control que era la S5, en conclusión, las lombrices de tierra más

los aditivos dieron un resultado positivo en la reducción de metales pesados durante el vermicompostaje de los lodos residuales (He, *et al.*, 2016).

Así mismo en otro estudio para reciclaje de lodos provenientes de la PTAR de Anning-China se utilizó la tecnología de vermicompostaje con lombrices de la especie *E. foetida*, donde mayormente en los lodos de depuradora están presentes la tetraciclina, a pesar de ello se ha prestado poca atención a su influencia en los vermicomposts, el objetivo de este estudio fue determinar los efectos de concentraciones de tetraciclina (0, 100, 500 y 1000 mg / kg) en la comunidad microbiana, descomposición de la materia orgánica y los genes de resistencia a los antibióticos (ARG) en el proceso de vermicomposición de lodo. Dando como resultado que a una concentración de 100 mg / kg de tetraciclina tendrían un efecto sobre el crecimiento de las lombrices de tierra, y aumenta el riesgo de diseminación de los ARG del vermicompost (Xia, *et al.*, 2019).

Por último, la producción de lodos de depuradora en la India ha ido incrementando debido al aumento de población. Por lo cual el objetivo de este estudio fue investigar la capacidad de la lombriz *Eisenia foetida* en transformar el lodo de aguas residuales primarios (PSS) en producto de valor agregado, modificado con estiércol de vaca (CD), a escala de laboratorio, donde los resultados fueron que se logró una estabilización de las aguas residuales primarios después de 105 días, en una mezcla de (30-40%) de PSS con CD podría convertirse en estiércol de buena calidad. La técnica de vermicompost basado en PSS en los campos agrícolas como acondicionador de suelo o estiércol, no tendría ningún efecto adverso debido a los metales pesados.(Gupta & Garg, 2008).

Tabla 2: Especies lombrices más usadas para el vermicompostaje y agentes estructurantes para compostaje y vermicompostaje.

Tipo de lombriz	Agentes estructurantes
<i>Lumbricus rubellus</i>	Paja de colza
<i>Eisenia fétida</i>	Paja de trigo
<i>Eisenia andrei</i>	Paja de arroz

<i>E. eugeniae</i>	Paja de maíz
-	Aserrín
-	Biochar

1.6 Comparación de los métodos de compost y vermicompost

De modo que, se cuenta con estudios realizados en la comparación de los métodos de compost y vermicompost, donde los lodos provenientes de la depuradora de la ciudad de Érd (Hungría,) se utilizaron para realizar la comparación de las propiedades agroquímicas del vermicompost preparado en digestato de lodos con el compost convencional, para ello se adicionó desechos verdes, biochar, desechos de trigo, compost de hongos después de tres meses se adicionó *Eisenia fétida* al vermicompost. Los resultados del vermicompostaje no fue mejor en la mineralización que el compostaje; en carbono orgánico fue de 21.2 y 22.2% en vermicomposts y composts respectivamente. Por ende, las concentraciones de macronutrientes disponibles (nitrógeno: 160 mg / kg; fosforo: 161 mg / kg; potasio: 0.8%) fueron las mismas en ambos. Sin embargo, el resultado de porcentaje de cinetina la cual reguladora del crecimiento de las plantas fue el doble en vermicompost (Rékási *et al.*, 2019).

Asimismo, se realizó un estudio para evaluar la estructura de la comunidad bacteriana mediante el empleo de 2 tecnologías de reciclaje compostaje y vermicompostaje con los desechos de una almazara (orgánico tóxico), para lo cual se realizaron 6 actividades enzimáticas para la descomposición de la MO, se utilizó desechos de aceitunas y estiércol de oveja para ser aplicados en el compost y vermicompost (*E. fétida*), donde los resultados fueron positivos para activar los parámetros microbianos de desechos tóxicos, siendo la más eficiente la tecnología de reciclaje con vermicompostaje la cual produce una mayor diversidad bacteriana (Vivas *et al.*, 2009).

En otro estudio basado en la producción económico de compost y vermicompost a partir de lodos provenientes de la PTAR de la ciudad de Durango – México. Se produjeron 10.9 toneladas de compost a partir de 75 m³ de lodo residual en 150 días, donde los resultados fueron: 2.06% de nitrógeno total, 0.16% de fosforo disponible y 0.13 de potasio disponible, su producción costo 0.51 pesos/kg permitiendo la venta en el mercado ya que los fertilizantes sintéticos cuestan 2.3

pesos/ kg; para vermicompost en 210 días se produjo 12.5 toneladas con menor calidad nutricional que el compost, donde los resultados fueron: 1.4% de nitrógeno total, 0.12% de fósforo disponible y 0.15% de potasio disponible, su producción costó 1.2 pesos/kg y la ganancia de la venta sería menor a la del compost, pero si se vende las lombrices también el vermicompost sería mejor sistema productivo (Vicencio-de la Rosa, *et al.*, 2011).

A demás en los últimos años la importancia de lodos fue mejorando, como residuo que se podía aprovechar para su utilización en la agricultura, sobre todo países grandes ya que estos son los que generan mayor cantidad de lodos y los métodos más utilizados fueron el compostaje y vermicompostaje, debido a que el costo de producción es relativamente baja y el producto es de alta calidad para su comercialización, sobre todo el producto de vermicompostaje y es más económico debido a que se puede vender las lombrices (Holguín, *et al.*, 2014).

También en un estudio de compostaje y vermicompostaje en la cual su objetivo fue determinar la evolución, biodisponibilidad, movilidad del arsénico en las técnicas empleadas, se utilizaron lodos industriales contaminados con arsénico $396 \pm 1 \text{ mg kg}^{-1}$, estiércol de caballo, pasto y se usó una solución de $0.1 \text{ M NH}_4 \text{COOCH}_3$ como solvente para la determinación del arsénico y para su determinación se utilizó el método de espectrometría HPLC-ICP-MS, los resultados indican que hubo una reducción de la movilidad de arsénico y biodisponibilidad de en todo los vermicompost y compost (Maňáková, *et al.*, 2014)

Por último, en un estudio para el tratamiento de aguas residuales se obtuvo el lodo de la PTAR Częstochowa- Polonia y se realizó la enmienda con biochar para el compostaje y vermicompostaje con *Eisenia fetida* de lodos residuales, los resultados fueron que la mezcla de biochar con lodos residuales tuvo un efecto significativo antes del compostaje y durante 6 semanas de vermicompostaje con *E. fetida*, las mezclas iniciales puede reducir la toxicidad de metales pesados para las lombrices de tierra durante la vermicompostaje (Malińska *et al.*, 2017)

II. CONCLUSIONES

Finalmente, los lodos residuales provenientes de una PTAR pueden ser reaprovechados implementando las dos técnicas más usadas las cuales son compostaje y vermicompostaje, ambas técnicas son eficientes para el tratamiento de lodos residuales tanto en sus propiedades agroquímicas, realizan una buena mineralización y mejoran las concentraciones de nitrógeno, fósforo, potasio, disminuyen su toxicidad, olores y microorganismos patógenos, lo hacen viables para ser empleadas como fertilizantes en suelos, pero en cuanto al crecimiento de las plantas la implementación de la técnica de vermicompost es mejor. Por otro lado, el compostaje y vermicompostaje son fertilizantes de bajo costo en comparación de los fertilizantes sintéticos que se venden en el mercado, pero comparando entre compostaje y vermicompostaje el primero tiene menor costo que el segundo en cuanto a su producción. Por último, el vermicompostaje es una técnica con mayor eficiencia para disminuir la concentración de metales debido a que las lombrices retienen en su organismo los metales y reducen su toxicidad de los lodos.

III. BIBLIOGRAFÍA

- Aldana, A., & Pérez, R. (2017). *Propuesta para el tratamiento y aprovechamiento de lodos en una PTAP convencional . Caso de estudio : Planta de tratamiento de agua potable de El Espinal - Tolima* (Universidad de la Salle). Retrieved from https://ciencia.lasalle.edu.co/ing_ambiental_sanitaria
- Arce, J. (2011). *Diseño de un biodigestor para generar biogas y abono a partir de desechos organicos de animales aplicable en las zonas agricolas del litoral* (Universidad Plitécnica Salesiana). Retrieved from <https://www.mendeley.com/viewer/?fileId=530b4e71-f309-2d61-3992-448d5e8d05e2&documentId=4066cb30-ad10-3194-b662-c9cb47779cdb>
- Awasthi, M. K., Wang, Q., Chen, H., Wang, M., Ren, X., Zhao, J., ... Zhang, Z. (2017). Evaluation of biochar amended biosolids co-composting to improve the nutrient transformation and its correlation as a function for the production of nutrient-rich compost. *Bioresource Technology*, 237, 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.01.044>
- COSUDE. (2017). *Producción de compost a partir de lodos provenientes dePTARs*. Retrieved from <http://www.rrr.pe/index.php/emprendimientos-rrr/produccion-de-compost-a-partir-de-lodos-provenientes-de-ptars>
- Du, J., Zhang, Y., Hu, B., Qv, M., Ma, C., Wei, M., & Zhang, H. (2019). Insight into the potentiality of big biochar particle as an amendment in aerobic composting of sewage sludge. *Bioresource Technology*, 288(March), 121469. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.121469>
- Fornes, F., Mendoza-Hernández, D., García-de la-Fuente, R., Abad, M., & Belda, R. (2012). Composting versus vermicomposting: A comparative study of organic matter evolution through straight and combined processes. *Bioresource Technology*, 118, 296–305. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2012.05.028>
- Glab, T., Żabiński, A., Sadowska, U., Gondek, K., Kopeć, M., Mierzwa-Hersztek, M., ... Stanek-Tarkowska, J. (2019). Fertilization effects of compost produced from maize, sewage sludge and biochar on soil water retention and chemical properties. *Soil and Tillage Research*, 197. <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.104493>

- Gualoto, J. (2016). *Propuesta de gestión de lodos residuales municipales. Caso de estudio: Planta de Tratamiento de Agua Residuales de la parroquia rural de Nono* (Escuela Politécnica Nacional). Retrieved from <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/17066>
- Guerrini, I., Gentil, C., Bueno, O. de C., Pescatori, C., Rodrigues, T., Maximino, D., ... Capra, G. F. (2017). Composted sewage sludge and steel mill slag as potential amendments for urban soils involved in afforestation programs. *Urban Forestry and Urban Greening*, 22, 93–104. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2017.01.015>
- Gupta, R., & Garg, V. K. (2008). Stabilization of primary sewage sludge during vermicomposting. *Journal of Hazardous Materials*, 153(3), 1023–1030. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2007.09.055>
- He, X., Zhang, Y., Shen, M., Zeng, G., Zhou, M., & Li, M. (2016). Effect of vermicomposting on concentration and speciation of heavy metals in sewage sludge with additive materials. *Bioresource Technology*, 218, 867–873. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2016.07.045>
- Holguín, E., Morales, M., Guadalupe, M., & Morales, M. (2014). Lodos residuales: Métodos de tratamiento, estabilización y aprovechamiento. In J. Ávila (Ed.), *Revista Vidsupra* (Nacional I, Vol. 6, pp. 61–66). Retrieved from https://www.repositoriodigital.ipn.mx/bitstream/123456789/24059/1/VIDSUPRA_VOL_6_NUM_2.pdf#page=17
- Hospido, A., Carballa, M., Moreira, M., Omil, F., Lema, J. M., & Feijoo, G. (2010). Environmental assessment of anaerobically digested sludge reuse in agriculture: Potential impacts of emerging micropollutants. *Water Research*, 44(10), 3225–3233. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.03.004>
- Hurtado, A. M. (2015). *Proceso de transformación de biosólidos de las plantas de tratamiento de aguas residuales (PTAR) con vermicompostaje y su aplicación en germinación, caso países europeos: España, Reino Unido, Francia, Portugal, Italia*. <https://doi.org/10.1007/s13398-014-0173-7.2>
- Kacprzak, M., Neczaj, E., Fijalkowski, K., Grobelak, A., Grosser, A., Worwag, M., ... Singh, B. R. (2017). Sewage sludge disposal strategies for sustainable development. *Environmental*

- Research*, 156(March), 39–46. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2017.03.010>
- Kebibeche, H., Khelil, O., Kacem, M., & Kaid, M. (2019). Addition of wood sawdust during the co-composting of sewage sludge and wheat straw influences seeds germination. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 168(July 2018), 423–430. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.10.075>
- Kosobucki, P., Chmarzyński, A., & Buszewski, B. (2000). Sewage Sludge Composting. *Polish Journal of Environmental Studies*, 9(4), 243–248. Retrieved from <http://www.pjoes.com/Sewage-Sludge-Composting,87305,0,2.html>
- Li, S., Li, D., Li, J., Li, G., & Zhang, B. (2017). Evaluation of humic substances during co-composting of sewage sludge and corn stalk under different aeration rates. *Bioresource Technology*, 245(September), 1299–1302. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.08.177>
- Lim, P. N., Wu, T. Y., Shyang Sim, E. Y., & Lim, S. L. (2011). The potential reuse of soybean husk as feedstock of *Eudrilus eugeniae* in vermicomposting. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 91(14), 2637–2642. <https://doi.org/10.1002/jsfa.4504>
- Limón, J. (2013). *Los lodos de las plantas de tratamiento De Aguas Residuales , ¿ Problema O Recurso ?*
- Llivichuzca, M. (2016). *Tratamiento de lodos residuales procedentes de plantas de tratamiento de aguas residuales mediante procesos electroquímicos para la disminución de la concentración de huevos helmintos* (Universidad Politécnica Salesiana). Retrieved from <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/12048/1/UPS-CT005871.pdf>
- Malińska, K., Golańska, M., Caceres, R., Rorat, A., Weisser, P., & Ślęzak, E. (2017). Biochar amendment for integrated composting and vermicomposting of sewage sludge – The effect of biochar on the activity of *Eisenia fetida* and the obtained vermicompost. *Bioresource Technology*, 225, 206–214. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.11.049>
- Maňáková, B., Kuta, J., Svobodová, M., & Hofman, J. (2014). Effects of combined composting and vermicomposting of waste sludge on arsenic fate and bioavailability. *Journal of Hazardous Materials*, 280, 544–551. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2014.08.024>
- Marín, D. (2019). *Prupuesta de aprovechamiento de lodos residuales provenientes de una PTAR*

del Municipio de Sopó Cundinamarca para la producción de un fertilizante organo-mineral
 (Universidad de América). <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Mendoza, J. (2018). *Evaluación del proceso de elaboración de vermicompost con dos especies de lombriz, Eisenia foetida y Lumbricus sp., en la provincia de Arequipa* (Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa). Retrieved from <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/4777/AGsamejj.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Munive, R. (2017). Recuperación de suelos degradados por contaminación con metales pesados en el valle del Mantaro mediante compost de Stevia y fitorremediación. Retrieved from <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3770>

Onofre, E. (2018a). *Propuesta técnica de gestión ambiental sostenible para e aprovechamiento de lodos que provienen de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en campamentos mineros del Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.

Onofre, E. (2018b). *Propuesta técnica de gestión ambiental sostenible para el aprovechamiento de lodos que provienen de las plantas de tratamiento de aguas residuales domésticas en campamentos mineros del Perú* (Pontificia Universidad Católica del Perú). Retrieved from [//hdl.handle.net/20.500.12404/13374](http://hdl.handle.net/20.500.12404/13374)

Rehman, R. A., & Qayyum, M. F. (2019). Co-composts of sewage sludge , farm manure and rock phosphate can substitute phosphorus fertilizers in rice-wheat cropping system. *Journal of Environmental Management*, 109700. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109700>

Rékási, M., Mazsu, N., Draskovits, E., Bernhardt, B., Szabó, A., Rivier, P.-A., ... Uzinger, N. (2019). Comparing the agrochemical properties of compost and vermicomposts produced from municipal sewage sludge digestate. *Bioresource Technology*, 291, 121861. <https://doi.org/10.1016/J.BIORTECH.2019.121861>

Rojas, R., & Mendoza, L. G. (2012). Utilizacion de biosolidos para la recuperacion energetica en México. *Scielo*, 7(2), 74–94. Retrieved from <http://www.scielo.org.co/pdf/pml/v7n2/v7n2a06.pdf>

Ruiz, A., & Quevedo, L. (2017). Análisis de los Lodos Provenientes del Proceso de Tratamiento

- de Aguas Residuales del Municipio de Guatavita (Universidad Católica de Colombia). Retrieved from <https://repository.ucatolica.edu.co/handle/10983/14811>
- Vega, C. N. (2018). *Análisis comparativo y propuesta de aprovechamiento de los lodos residuales provenientes de las Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales de SEDAPAL* (Universidad Nacional Federico Villarreal). Retrieved from [http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2708/CALDERON DE LA CRUZ MARCELITA DEL CARMEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://repositorio.unfv.edu.pe/bitstream/handle/UNFV/2708/CALDERON_DE_LA_CRUZ_MARCELITA_DEL_CARMEN.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Vicencio-de la Rosa, G., Pérez-López, E., Medina-Herrera, E., & Martínez-Prado, A. (2011). Producción de composta y vericomposta a partir de los lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de un Rastro. *Revista Internacional de Contaminacion Ambiental*, 27(3), 263–270.
- Villegas-cornelio, V., & Laines, J. (2016). Vermicompostaje : II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 407–421. Retrieved from <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6524303.pdf>
- Vivas, A., Moreno, B., Garcia-Rodriguez, S., & Benitez, E. (2009). Assessing the impact of composting and vermicomposting on bacterial community size and structure, and microbial functional diversity of an olive-mill waste. *Bioresource Technology*, 100(3), 1319–1326. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2008.08.014>
- Wu, D., Yu, X., Chu, S., Jacobs, D. F., Wei, X., Wang, C., ... Zeng, S. (2018). Alleviation of heavy metal phytotoxicity in sewage sludge by vermicomposting with additive urban plant litter. *Science of the Total Environment*, 633, 71–80. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.167>
- Xia, H., Chen, J., Chen, X., Huang, K., & Wu, Y. (2019). Effects of tetracycline residuals on humification, microbial profile and antibiotic resistance genes during vermicomposting of dewatered sludge. *Environmental Pollution*, 252, 1068–1077. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2019.06.048>
- Yañez, R., Alonso, J. L., & Díaz, M. J. (2009). Influence of bulking agent on sewage sludge composting process. *Bioresource Technology*, 100(23), 5827–5833.

<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.073>

Yang, G., Zhang, G., & Wang, H. (2015). Current state of sludge production, management, treatment and disposal in China. *Water Research*, 78, 60–73.

<https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.04.002>

Zhao, X. lan, Li, B. qiong, Ni, J. pai, & Xie, D. ti. (2016). Effect of four crop straws on transformation of organic matter during sewage sludge composting. *Journal of Integrative Agriculture*, 15(1), 232–240. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(14\)60954-0](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(14)60954-0)