



# Reproducción y ganancia en masa de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) con estiércol bovino y ovino

## Reproduction and Mass Gain of the Californian Red Worm (*Eisenia foetida*) with Cattle and Sheep Manure

Mercedes Muraira-Soto<sup>1</sup>  
Zulmy A. Cardoza-José<sup>1</sup>  
Emanuel Pérez-López<sup>1,2</sup>  
Roberto P. Mora-Solís<sup>1</sup>



DOI: <https://doi.org/10.19053/01228420.v20.n3.2023.16287>

**RESUMEN:** La vermicultura, como biotecnología, permite el cultivo o la crianza de lombrices con el fin de gestionar los residuos orgánicos en vermicomposta o lombricomposta, principalmente de excretas animales que ocasionan impactos negativos al ambiente. El objetivo del artículo fue evaluar la producción, reproducción y el incremento de biomasa de *Eisenia foetida* y la conversión de sustrato en vermicomposta. A partir de estiércol precompostado se utilizaron 5 tratamientos: bovino (1:0), ovino (0:1) y las combinaciones 3:1, 1:1 y 1:3 masa/masa, con 3 repeticiones. Se establecieron 100 lombrices por repetición y se determinaron cantidad y ganancia en masa. A los 90 días se hizo un análisis de varianza y prueba de Tukey ( $\alpha=0.05$ ). La combinación 1:3 presentó la mayor reproducción, mientras que el incremento de masa 1:0 fue de 46,16 g. Con respecto a la conversión de estiércol en vermicomposta, el tratamiento con mayor eficiencia fue el 1:3, debido a que la proporción de la mezcla de sustratos fue más aceptada y digerida por las lombrices, mientras que 1:0 fue el menor.

**PALABRAS CLAVE:** estiércol, residuos orgánicos, sustrato, vermicomposta.

**ABSTRACT:** Vermiculture as a biotechnology allows the cultivation or breeding of worms, in order to manage organic waste in vermicompost, mainly animal excreta that hurts the environment. The objective of this paper was to evaluate the production, reproduction, increase in biomass of *Eisenia foetida*, and the conversion of substrate into vermicompost. Five treatments of pre-composted manure were used: cattle (1:0), sheep (0:1) and the 3:1, 1:1, and 1:3 mass/mass combinations, with 3 replicates. 100 worms were placed per replicate and the number and mass gain were determined. After 90 days, an analysis of variance and Tukey's test ( $\alpha=0.05$ ) were performed. The 1:3 combination had the highest reproduction, while the 1:0 combination had the highest mass gain (46.16 g). Regarding the conversion of manure to vermicompost, the most efficient treatment was 1:3 because the proportion of the substrate mixture was more accepted and digested by the worms, and 1:0 was the least efficient.

**KEYWORDS:** manure, organic waste, substrate, vermicompost.

**FECHA DE RADICACIÓN:** 24 de julio de 2023 **FECHA DE ACEPTACIÓN:** 29 de noviembre de 2023 **FECHA DE PUBLICACIÓN:** 21 de diciembre de 2023

1 Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan/Tecnológico Nacional de México, San Juan Bautista Tuxtepec, México. ORCID: Muraira-Soto, M.: <https://orcid.org/0000-0002-8192-9078>; ORCID: Cardoza-José, Z. A.: <https://orcid.org/0009-0006-5032-1736>; ORCID: Pérez-López, E.: <https://orcid.org/0000-0001-5578-8307>; ORCID: Mora-Solís, R. P.: <https://orcid.org/0000-0002-0193-7263>

2 Autor de correspondencia: Emanuel Pérez López, [emanuel.pl@cpapaloapan.tecnm.mx](mailto:emanuel.pl@cpapaloapan.tecnm.mx)

## INTRODUCCIÓN

La aceleración de los impactos sociales y medioambientales del cambio climático han puesto en el foco a la ganadería como una de las principales fuentes de emisión de gases de efecto invernadero en el mundo. Por lo tanto, la producción y el consumo de carne están en el centro del debate científico, mediático y social en cuanto a su posible contribución a la crisis climática (Amigos de la Tierra, 2020).

De acuerdo con la Sexta Comunicación Nacional ante el cambio climático de México (1990-2015), se estima que México generó 699564,3 gigagramos [Gg = 1000 Mg (Chalco & Acreche, 2020)] de CO<sub>2e</sub> (CO<sub>2</sub> equivalente) para el 2015. En el sector agricultura, forestería y otros usos del suelo (AFOLU, por sus siglas en inglés) se contabilizan las emisiones provenientes de las actividades ganaderas, las cuales se ubicaron como la tercera fuente de emisiones (70567,6 Gg de CO<sub>2e</sub>) puesto que la fermentación entérica aportó 53442,7 Gg, mientras que el manejo de estiércol generó 17124,8 Gg (Galicia et al., 2021).

Una de las opciones que existen para el tratamiento de este tipo de desecho es la lombricultura (también llamada vermicultura) (Muraira et al., 2016), considerada como una biotecnología. El cultivo o crianza de *Eisenia foetida* transforma los residuos orgánicos generados en vermicomposta (lombricomposta o humus de lombriz). La vermicomposta es utilizada porque contribuye a mantener suelos sanos y fértiles, debido a que es fuente de nutrientes, principalmente N, P, K, Ca y Mg, y porque mejora sus características físicas, como la textura, densidad aparente, formación y estabilidad de agregados, y características químicas como potencial de hidrógeno (pH), conductividad eléctrica (CE), saturación de bases intercambiables, aporte de materia orgánica y nutrientes del suelo y, en consecuencia, la productividad de los cultivos (Ramírez-Gerardo et al., 2021).

La vermicomposta lleva a cabo la degradación y estabilización de los residuos orgánicos en condiciones aerobias, mediante la acción de la lombriz. Estas acciones incluyen la ingesta, digestión, trituración y descomposición de residuos orgánicos (RO) a través de enzimas digestivas y la actividad microbiana presente en el tracto digestivo de la lombriz (Tito, 2022). Para Castro (2022), el vermicompostaje (vermicomposteo) es un proceso de biooxidación y estabilización de la materia orgánica, mediado por la acción metabólica combinada de lombrices y microorganismos, que da como resultado un producto orgánico con alto valor agronómico.

De acuerdo con Sánchez (2018), *Eisenia foetida* es una de las especies más utilizadas por su capacidad de adaptarse a diferentes residuos orgánicos, pH (5,5 a 8,0), temperatura (16 °C a 25 °C) y humedad (70 % a 85 %). Esta lombriz es de fácil manejo en cautiverio. También es muy voraz y en condiciones óptimas puede llegar a consumir diariamente una cantidad de residuo

equivalente a su masa (Sánchez, 2017), razones por la que es preferida en la lombricultura.

La lombricultura en la producción agrícola tiene la finalidad de incrementar la calidad de muchos suelos agrícolas o recuperar zonas degradadas, pues disminuye la contaminación del agua al reducir lixiviados de la materia orgánica (Bustamante, 2016). Por lo tanto, se aprovechan las excretas animales de los productores del área aledaña al Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan (ITCP) con el objetivo de determinar cuál de los tratamientos presenta mayor número y masa de lombrices, así como de comprobar qué tratamiento reporta mayor porcentaje de eficiencia de conversión de sustratos en vermicomposta.

## MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el ITCP, el cual se ubica en el ejido San Bartolo, San Juan Bautista Tuxtepec, estado de Oaxaca, México, y registra una temperatura media anual de 25,4 °C, 18°05' N y 96°08' O, 20 msnm, precipitación media anual 784 mm y humedad media 77 %. El trabajo se desarrolló entre agosto y diciembre de 2022.

El estiércol bovino y ovino se tamizó con una malla de 0,5 mm. Se siguió la metodología de Acosta-Durán *et al.* (2013) para el precomposteo, durante 8 semanas. Las excretas bovinas y ovinas diariamente se airearon de manera separada, para que la temperatura no sobrepasara los 55 °C, y se humedecieron con agua cuando fue necesario (prueba de puño descrita más adelante). Esto último, en caso de observarse sequedad y temperaturas mayores a 40 °C en el sustrato. Lo anterior se realizó a nivel de piso, sobre plástico negro. Para medir la temperatura se utilizó un termómetro Vee Gee Brand con rango de -20 °C a 110 °C ± 1. La mezcla de sustratos se hizo una vez terminado el proceso de precomposteo.

### Método de lavado

Para reducir la cantidad de sales presentes en el estiércol se efectuó el lavado (método de riego controlado), que consistió en aplicar agua a cada tratamiento de tal forma que el sustrato quedara inundado. Esto se llevó a cabo cada 24 horas durante 5 días, como lo señalan Hernández-A. *et al.* (2011). Al final de los 5 lavados se decantó el sustrato del contenedor con la intención de eliminar las sustancias solubles y adquirir una humedad aproximada entre 75% y 80 %. Una forma práctica de comprobar esta condición consistió en tomar con la mano un puño de sustrato, presionarlo y observar; si escurrían de 7 a 10 gotas de agua, significaba que estaba en ese rango de humedad (Izquierdo, 2016).

## Prueba de caja

Se tomaron muestras de sustratos de cada tratamiento y se situaron en recipientes rectangulares de unicel con medidas de 21×16×5 cm (largo, ancho y alto), en los que se colocaron 10 lombrices provenientes del área de lombricultura del ITCP. Se comprobó que todas las lombrices estén presentes y vivas después de 24 horas en reposo.

## Siembra de lombrices

Posteriormente, se seleccionaron 1500 lombrices adultas (clitelo bien formado), 100 individuos para cada repetición, las cuales se pesaron previamente en una balanza analítica marca Ohaus®, modelo Pioneer, con capacidad máxima de 210 gramos ± 0,0001, y posteriormente se sembraron en cada contenedor.

Durante la etapa de vermicompostaje, el sustrato diariamente se aireaba (volteo y remoción del sustrato con pala recta marca Truper® para promover el intercambio del dióxido de carbono por oxígeno); si era necesario, se humedecía, pues la recomendación de Sánchez (2018) es que la humedad del sustrato no debe ser menor de 75 %. El conteo se realizó de manera manual, y el pesado de las lombrices (en balanza analítica marca Ohaus® modelo Pioneer) cada semana, durante 90 días.

## Manejo de vermicomposta

A los 3 meses, cuando se detectó que la vermicomposta reunía las características de color, olor y textura, se extrajeron las lombrices de cada tratamiento con sus repeticiones. No se hicieron cambios o agregación de sustrato durante el experimento, salvo su hidratación cuando la humedad era menor del 70 %. Una vez obtenida la vermicomposta, el proceso de secado alcanzó 5 días al aire libre, y una vez tamizado con malla de 5 mm, se empacó y almacenó en bolsas plásticas de 1 kg.

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con 5 tratamientos y 3 repeticiones, usando la composta de excretas bovina (1:0), ovina (0:1) y las combinaciones 3:1, 1:1 y 1:3 masa/masa (peso final 2 kg); se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con alfa del 0,05 y se efectuó una prueba de comparativa de medias Tukey con el programa InfoStat v. 2022.

La eficiencia de conversión de sustrato en vermicomposta se calculó utilizando la fórmula de eficiencia [1] indicada por Salazar (2019), a la cual se le hizo el ajuste para determinar el porcentaje de conversión [2], siendo:

$$\text{Eficiencia} = \frac{\text{Producción real}}{\text{Capacidad de producción}} \quad (1)$$

En donde:

Producción real = masa de vermicomposta.

Capacidad de producción = masa de sustrato.

$$\text{Porcentaje de eficiencia} = \frac{\text{Masa de vermicomposta}}{\text{Masa del sustrato}} \times 100 \quad (2)$$

## RESULTADOS

La transformación se da en un lapso de tres meses, desde la etapa de siembra de lombrices hasta la cosecha del producto final. En el proceso se diferencian etapas muy específicas, como la total transformación y maduración de la vermicomposta, en donde se da la posibilidad de la extracción del lixiviado de lombriz.

A los 90 días, la cantidad de lombrices para el tratamiento 1:3 presentó un aumento significativo frente a los demás tratamientos (104,54 ejemplares); los otros tratamientos estuvieron en el rango 100,38 y 98,51 ejemplares (Tabla 1). Teniendo en cuenta que no se alimentó durante el experimento, la respuesta fue positiva en todos los tratamientos, donde la diferencia entre el mejor tratamiento fue del 6 % con relación al tratamiento con menor número de lombrices.

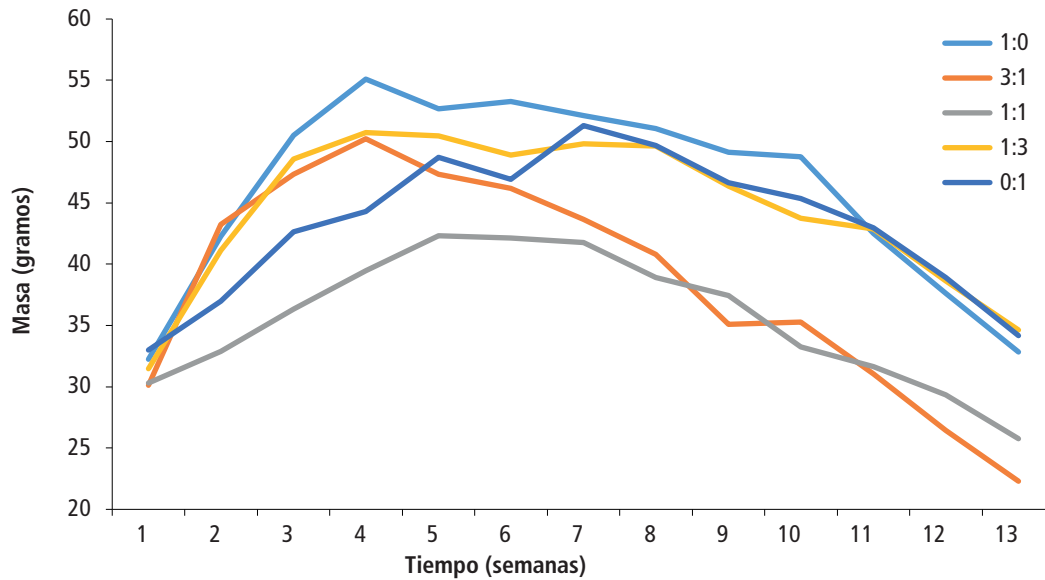
**TABLA 1.** Reproducción, masa y eficiencia de conversión (%) por lombriz californiana en vermicomposta de excretas bovina (1:0), ovina (0:1) y las combinaciones 3:1, 1:1 y 1:3, masa/masa.

Tratamiento	Reproducción	Masa (g)	Eficiencia de conversión (%)
1:0	100,38 b	46,16 a	80,8 b
3:1	99,33 b	38,39 bc	94,3 a
1:1	98,51 b	35,50 c	95,8 a
1:3	104,54 a	44,38 ab	96,0 a
0:1	99,87 b	43,21 abc	94,1 a

Medias con letra diferente indican diferencias significativas de acuerdo con la prueba de Tukey ( $p > 0,05$ ,  $n = 13$ ).

A través del experimento se observó un incremento de la masa de *E. foetida* desde la semana 1 a la semana 4 (3:1; 1:0 y 1:3) y 5 (0:1 y 1:1), mostrando estabilidad durante algunas semanas antes de descender (Figura 1), ya que no hubo momentos de alimentación posteriores a la siembra.

Al final del experimento, la masa de lombrices para el tratamiento 1:0 (46,16 g) presentó diferencia significativa con los tratamientos 1:1 y 3:1 superados en 10,66 y 7,77 g, respectivamente; las diferencias entre el mejor tratamiento (1:0) y 0:1 y 1:3 fueron 2,95 y 1,78 g, respectivamente, sin diferencias estadísticas (Tabla 1).



**FIGURA 1.** Masa de lombriz californiana en composta de excretas bovina (1:0), ovina (0:1) y las combinaciones 3:1, 1:1 y 1:3, masa/masa.

Para la variable eficiencia de conversión se determinó que 1:3 es el mayor numéricamente; sin embargo, no existe diferencia significativa con 3:1, 1:1 y 0:1; mientras que denotó diferenciación de estos con respecto al 1:0, siendo mucho menor su eficiencia de acuerdo con la prueba Tukey ( $\alpha=0,05$ ), la que se realizó a los 90 días (Tabla 1).

## DISCUSIÓN

La cantidad total de lombrices que se obtuvieron en los tratamientos con bovinaza (0, 25, 50, 75 y 100 %) no supera a las conseguidas por Rincones *et al.* (2023), quienes emplearon tres tipos de mezclas con sustitución gradual (0, 20 y 40 %) de pollinaza (PZA) por bovinaza (BZA), logrando mejores resultados en el sustrato BZA 100 % con un total de 1328 lombrices de 114 sembradas inicialmente, comparadas con las 309 lombrices de 300 sembradas en el presente experimento para 1:0 con sus tres repeticiones. Este procedimiento fue desarrollado con 3,8 kg de sustrato durante 97 días; sin embargo, puede ser que la causa del aumento de la cantidad de lombrices se deba a que Rincones *et al.* (2023) agregaban alimento cada 9 días; una de las razones por las que se considera la baja reproducción de *E. foetida*, en este experimento. Otra de las razones de la baja reproducción es el uso de excretas (generalmente bovinas) procedente de animales con tratamientos clínicos en antiparasitarios o antibióticos.

La media de masa obtenida en 1:0 fue de 46,16 g. Estos resultados tampoco superan a los reportados por Muraira *et al.* (2016), quienes obtuvieron una media de 53,72 g en la prueba con el mismo tratamiento. Este cambio puede

deberse a que los experimentos se llevaron a cabo en diferentes estaciones del año: el anterior se desarrolló en el ciclo primavera-verano y el actual en otoño-invierno; aunque mantuvieron el mismo precomposteo, se considera que la media de temperaturas en cada estación del año, así como la precipitación (abundante en verano) pueden influir en el porcentaje de la humedad que se presenta en los tratamientos, ya que no es una variable controlada.

Tampoco supera los resultados obtenidos en masa de Rincones *et al.* (2023), quienes consiguieron un promedio de 87,7 g empleando estiércol bovino al 100 %. Esto se debe a que, en el presente experimento, como se observa en la Figura 1, la cantidad de materia orgánica se terminó entre las semanas 4 y 6, caso contrario al de los autores señalados, ya que agregaban alimento cada 9 días.

Por su parte, Maqueira *et al.* (2022) reportaron un promedio de 254,81 g en el tratamiento compuesto por 80 % estiércol bovino + 10 % de tierra agrícola (hojarasca) + 10 % de cartón. Lo cual es causado porque las lombrices asimilan de una manera más eficiente la celulosa, puesto que las condiciones ambientales como humedad relativa (74-77 %), precipitación (1887 mm/año) y temperatura (24,5 °C) son similares a las registradas en la Cuenca del Papaloapan, con diferencia en la altura del desarrollo del experimento (671 msnm) en comparación con los 21 msnm en el que se localiza el presente estudio.

El promedio de la masa para el tratamiento 100 % ovino (44,38 g) es menor, en comparación con los resultados de Sánchez (2020), quien obtuvo una media de 166,66 g, lo que podría deberse a que el autor empleó 5 kg de excreta y 150 lombrices en cada repetición, en comparación con los 2 kg de sustrato y 100 organismos en nuestro experimento. Adicionalmente, el autor señala que la masa promedio de cada grupo de siembra estaba entre 100 y 260 g; valores considerados por la experiencia en el manejo de lombriz roja como muy elevados para la masa de esta; además, podría influir en el resultado obtenido el promedio de temperatura señalado por el autor (20 °C), el cual es el óptimo para el crecimiento de la lombriz, a diferencia de los 25 °C promedio de la región de la Cuenca del Papaloapan.

## CONCLUSIONES

La combinación 1:3 de bobinaza y ovinaza reportó el mayor porcentaje de conversión del sustrato en vermicomposta (96,0 %), seguido de los tratamientos 1:1, 3:1, 0:1 y 1:0, debido a que fue más asimilable por las lombrices; mientras que 1:0 mostró un incremento del 106 % en masa de lombrices.

El haber realizado el proceso de lavado en todos los tratamientos permitió la reducción de la mortalidad de lombrices, y para este experimento no se observó mortalidad en los tratamientos planteados.

## AGRADECIMIENTOS

Al Tecnológico Nacional de México, al Instituto Tecnológico de la Cuenca del Papaloapan, por el espacio brindado para el desarrollo del proyecto en el área de lombricultura; al Cuerpo Académico ITCUP-CA-1 (Agricultura Sustentable), docentes y alumnos implicados en el proyecto.

## REFERENCIAS

- Acosta-Durán, C. M., Solís-Pérez, O., Villegas-Torres, O. G., & Cardoso-Vigueros, L. (2013). Precomposteo de residuos orgánicos y su efecto en la dinámica poblacional de *Eisenia foetida*. *Agronomía Costarricense*, 37(1), 127–139.
- Amigos de la Tierra. (2020). *La ganadería y su contribución al cambio climático*. Basque Center for Climate Change (BC3). <https://www.tierra.org/wp-content/uploads/2020/09/Informe-Ganaderia-Cambio-climatico-Amigos-de-la-Tierra.pdf>
- Bustamante, L. (2016). *La lombricultura como alternativa en la producción agrícola utilizando la lombriz roja californiana* [Tesis de grado, Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro]. <http://repositorio.uaaan.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/123456789/8286/LETICIA%20BUSTAMANTE%20TIZNADO.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Castro, E. M. (2022). *Determinación de la efectividad del lombricompostaje en la estabilización de lodos de la planta de tratamiento de aguas residuales de Celenín* [Tesis de grado, Universidad Nacional de Cajamarca]. <https://repositorio.unc.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14074/4950/Tesis%20Ing%20Ambiental.%20Emeli%20MCC.%202022.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Chalco, J., & Acreche, M. M. (2020). Emisiones provinciales de gases con efecto invernadero del sistema suelo-caña de azúcar de Tucumán RIA. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 46(3), 339–346.
- Galicia, A., Ordóñez, J. A. B., Munguía, A., Venegas, N. J., Ortega, L. E. & Ordóñez, M. J. (2021). Estimación de las emisiones de gases de efecto invernadero provenientes del ganado en México, 1990-2018. *Realidad, Datos y Espacio. Revista Internacional de Estadística y Geografía*, 12(3), 114–123.
- Hernández-A., J., Chacín, L., Ávila, J., El Khatib, N., Chirinos, I., & Bracho, B. (2011). Métodos de manejo de la salinidad del estiércol bovino para el vermicompostaje con la lombriz roja (*Eisenia andreii*). *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad del Zulia*, 28(Supl. 1), 342–350.
- Izquierdo, M. (2016). *Proyecto de factibilidad en la producción de humus de lombriz y compost con microorganismos eficientes para el agro en la Provincia de Santa Elena* [Tesis de grado, Universidad del Azuay]. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5573/1/11902.pdf>
- Maqueira, D., Miranda, D., Díaz, M. S., Ravelo, Y., & Izquierdo, R. (2022). Comportamiento productivo, reproductivo y morfometría de la lombriz roja californiana en sistemas de vermicompostaje de residuos orgánicos. *ECOVIDA*, 12(3), 257–266. <https://revistaecovida.upr.edu.cu/index.php/ecovida/article/view/262/545>



- Muraira, M., Pérez, E., García, R., & Vera, L. M. (2016). Comparación de estiércoles en la producción de vermicomposta en San Bartolo, Tuxtepec, Oaxaca. *Revista Ingeniantes*, 1(2), 64–67.
- Ramírez-Gerardo, M. G., Vázquez-Villegas, S., Méndez-Gómez, G. I., & Mejía-Carranza, J. (2021). Caracterización de abonos orgánicos aplicados a cultivos florícolas en el sur del Estado de México. *CienciaUAT*, 16(1), 150–161.
- Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A., & Parra, C. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Información Tecnológica*, 34(2), 11–20.
- Salazar, B. (2019). *Eficiencia global de los equipos (OEE)*. Ingeniería Industrial. <https://www.ingenieriaindustrialonline.com/gestion-de-mantenimiento/eficiencia-global-de-los-equipos-oe/>
- Sánchez, J. M. (2017). *Vermicompostaje de residuos orgánicos con lombrices del género Eisenia. Caracterización del producto* [Tesis de grado, Universidad de Sevilla]. <https://idus.us.es/bitstream/handle/11441/64332/TFG%20Juan%20Manuel%20Sanchez%20Lombricultura.pdf?sequence=7&isAllowed=y>
- Sánchez, J. J. (2018). *Evaluación del proceso de elaboración de vermicompost con dos especies de lombriz, Eisenia foetida y Lumbricus sp., en la provincia de Arequipa* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. <https://repositorio.unsa.edu.pe/bitstreams/38061d42-ce4d-4a45-bb4b-a94d62c11e55/download>
- Sánchez, L. E. (2020). *Elaboración de lombricomposta bajo distintas dietas con lombriz roja californiana (Eisenia foetida)* [Tesis de grado, Instituto Tecnológico Superior de Abasolo]. [https://www.academia.edu/50843205/Elaboraci%C3%B3n\\_de\\_lombricomposta\\_bajo\\_distintas\\_dietas\\_con\\_lombriz\\_roja\\_californiana\\_Eisenia\\_foetida](https://www.academia.edu/50843205/Elaboraci%C3%B3n_de_lombricomposta_bajo_distintas_dietas_con_lombriz_roja_californiana_Eisenia_foetida)
- Tito, M. (2022). *Influencia del vermicompostaje en la recuperación de lodos residuales de la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales Santa Clara - Lima 202* [Tesis de grado, Universidad Continental]. [https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11365/2/IV\\_FIN\\_107\\_TE\\_Tito\\_Sanchez\\_2022.pdf](https://repositorio.continental.edu.pe/bitstream/20.500.12394/11365/2/IV_FIN_107_TE_Tito_Sanchez_2022.pdf)