

Determinación de Proteína en Harina de Lombriz (*Eisenia Fetida*), Procedente del Vermicompostaje de Tres Sustratos

Viramontes-Acosta, A¹; Velásquez-Chávez, T.E.²✉, Servín-Prieto, A.J.²; Hernández-López, M.².

Datos de Adscripción:

¹ Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de la Laguna; Blvd. Revolución y Av. Instituto Tecnológico de La Laguna, C.P. 27000 Torreón, Coahuila, México.

² Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo; Av. Tecnológico S/N, Col. Periférico C.P. 35150 Cd. Lerdo Durango México.

✉ tania.vc@itslerdo.edu.mx

Resumen - La determinación del contenido proteico en la harina de lombriz es crucial tanto para la seguridad alimentaria como para la búsqueda de alternativas nutricionales sostenibles. La harina de lombriz, derivada del vermicompostaje, utiliza residuos orgánicos y excretas de animales, reduciendo el impacto ambiental y produciendo un abono orgánico nutritivo. Con una cantidad significativa de proteínas en comparación con fuentes convencionales, la calidad y cantidad de proteínas en la harina de lombriz pueden verse afectadas por la dieta y las condiciones de producción. Se exploran sus aplicaciones potenciales en la industria alimentaria y la suplementación dietética, resaltando su potencial como fuente sostenible de proteínas. Este estudio evaluó la harina de lombriz producida a partir de tres sustratos diferentes: estiércol equino, estiércol vacuno y hojarasca, durante un periodo de 120 días, manteniendo un 80% de humedad y a la sombra. Utilizando el método Kjeldahl, se determinó el contenido de proteína en la harina de lombriz. Se realizó un ANOVA simple, encontrándose diferencias significativas entre el contenido proteico de la harina de lombriz producida a partir de estiércol equino y los otros sustratos, mientras que no hubo diferencia significativa entre el estiércol vacuno y las hojas secas. Estos resultados sugieren que el estiércol equino puede ser un sustrato de alta calidad para la producción de harina de lombriz. Esta investigación subraya la importancia de comprender y optimizar los sustratos utilizados en el proceso de vermicompostaje para maximizar el contenido proteico y mejorar la calidad de la harina.

Palabras Clave - harina, lombriz, proteína, vermicompostaje

Abstract - The determination of protein content in earthworm flour is crucial for both food safety and the pursuit of sustainable nutritional alternatives. Earthworm flour, derived from vermicomposting, utilizes organic waste and animal excreta, reducing environmental impact and yielding nutritious organic fertilizer. With a significant protein content compared to conventional sources, the quality and quantity of protein in earthworm flour may be influenced by diet and production conditions. Its potential applications in the food industry and dietary

supplementation are explored, highlighting its potential as a sustainable protein source. This study evaluated earthworm flour produced from three different substrates: horse manure, cattle manure, and leaf litter, over a period of 120 days, maintaining 80% humidity and shade. Using the Kjeldahl method, the protein content in earthworm flour was determined. A simple ANOVA was conducted, revealing significant differences in the protein content of earthworm flour produced from horse manure compared to the other substrates, while there was no significant difference between cattle manure and leaf litter. These findings suggest that horse manure may be a high-quality substrate for earthworm flour production. This research underscores the importance of understanding and optimizing the substrates used in vermicomposting to maximize protein content and improve flour quality.

Keywords – earthworm, flour, protein, vermicompost

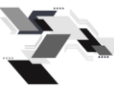
I. INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas la contaminación proveniente de la industria alimentaria y ganadera ha comenzado a representar un gran problema, debido a la gran demanda de agua y aire que conlleva por parte de todo tipo de consumidores, además de contribuir a la contaminación y el desgaste de los suelos (FAO, 2016).

Solo el 70% del recurso hídrico se extrae de los ríos y mantos acuíferos. El 20% va para la industria y el 10% para uso doméstico. En el sector ganadero el porcentaje de emisiones de gases de efecto invernadero oscila alrededor del 18%, por lo que su cuidado y la búsqueda de alternativas sostenibles es de gran importancia.

La acumulación de residuos orgánicos originados por las actividades ganaderas, agrícolas, forestales, las basuras urbanas y agroindustriales han generado problemas ambientales y de salud humana. Y es que, a pesar de los esfuerzos realizados por la industria alimentaria para ser más sostenible, todavía hay un impacto negativo significativo en el medio ambiente (Kummu, *et al.*, 2012).

La producción de grandes cantidades de residuos orgánicos en todo el mundo plantea importantes problemas ambientales (malos olores, contaminación de las aguas subterráneas y del suelo). (Jiménez-González *et al.*, 2020).



En el 2020 en el Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos (DGBIR), se reporta que se generan 1.071 kg/hab/día de residuos sólidos urbanos (RSU), en municipios con más de 100 mil habitantes, siendo este el caso del municipio de Lerdo, Durango que para el 2020 según el INEGI contaba con 163,313 miles de habitantes. Del total de RSU generados aproximadamente el 46.42% corresponden a residuos orgánicos y de estos, el 33.07% corresponde a residuos alimentarios, a los cuales se les da poco tratamiento y la mayoría termina dispuestos en rellenos sanitarios poco regulados, trayendo como consecuencias generación de gases de efecto invernadero como el metano, generación de lixiviados que terminan contaminando mantos freáticos, atraen plagas y vectores que transmiten enfermedades, etc. Por lo que una opción viable y amigable con el medio ambiente para el tratamiento de estos desechos orgánicos es el vermicompostaje, el cual tiene como producto final un abono orgánico con grandes propiedades nutricionales y la producción de la lombriz roja californiana (*E. fetida*), la cual puede ser usada para la producción de harina rica en proteína y otros nutrientes.

El vermicompostaje o lombricultura actualmente se define como una biotecnología enfocada en la crianza de la lombriz, específicamente, la llamada lombriz roja californiana *E. fetida*, que involucra diversos procesos naturales para la transformación de materia orgánica. Dicha lombriz es muy prolifera y longeva, se alimenta de desechos orgánicos como lo son estiércoles, residuos orgánicos e incluso industriales; la lombriz no requiere de cuidados exhaustivos, pues su crianza se puede limitar a un espacio reducido y un sistema de riego ya sea manual o por aspersión. Además, se tiene la producción de humus, el cual funciona como un fertilizante natural, biomasa de lombriz y harina de lombriz (Kale *et al.*, 2016).

Actualmente se reconoce que la lombricultura es un recurso biotecnológico de elevado interés ecológico y nutricional, ésta biotecnología utiliza una especie de lombriz domesticada denominada *E. fetida* (*Lumbricidae*), con dos objetivos principales, primero como una alternativa de reciclaje de desechos orgánicos de diferentes fuentes, y segundo como una fuente de proteína no convencional de bajo costo (Heras, 2015).

La harina de lombriz, ha ganado interés en los últimos años debido a su potencial como un recurso sostenible y nutritivo como una excelente fuente de proteína (Calaveras, 2004). Un estudio publicado por Zhao y colaboradores en el 2016, encontró que la harina de lombriz tiene un contenido proteico promedio del 60-70%, lo que la convierte en una alternativa valiosa a las fuentes tradicionales de proteínas como la soja o el pescado. Aunado a esto la harina de lombriz tiene un perfil de aminoácidos esenciales necesarios para una nutrición óptima, comparable o incluso superior al de las fuentes de proteína convencionales (Barragan *et al.*, 2019). La producción de esta es más sostenible en comparación con la ganadería convencional, ya que requiere menos recursos hídricos, terrenos y emite menos gases de efecto invernadero, a parte que ayuda a mitigar la contaminación por residuos orgánicos (Oonincx *et al.*, 2010).

En este estudio, se evaluó el porcentaje de proteína en harina de lombriz (*E. fetida*) producida a partir de tres sustratos diferentes: estiércol de caballo, estiércol de vaca y hojarasca. Los resultados obtenidos proporcionan información valiosa para optimizar la producción de harina de lombriz con el mayor contenido proteico posible.

II. PARTE TÉCNICA DEL ARTÍCULO

A. Construcción de las Camas.

Se emplearon 3 sustratos diferentes: estiércol bovino, equino y hojas secas cada uno de los tratamientos se realizó por triplicado. Se diseñó el experimento propio dentro de las instalaciones del Instituto Tecnológico Superior de Lerdo donde se utilizaron cajas de plástico para cada sustrato, a cada una de las cajas se le colocaron 4 kg de cada sustrato, se añadieron a cada caja 10 lombrices adultas, se controlaron las condiciones de humedad manteniéndola en un 80%, esto por medio de sensores de humedad controlados por Arduino. El sensor de humedad hace una medición de la conductividad del suelo, dando una señal de salida entre 0, cuando el suelo está muy húmedo y, 1023 cuando el suelo está muy seco. La señal de salida de sensor se conecta a una de las entradas de la placa Arduino cuando el valor de la señal del sensor se encuentra por debajo del valor deseado se activa una salida de la placa encendiendo así una bomba para hacer el riego abriendo y cerrando las válvulas para regar las camas análogamente se utilizó un sensor de temperatura para monitorear esta durante el experimento.

EL proceso de vermicompostaje duro dos meses, hasta que todo el sustrato pasó a ser vermicomposta. Pasado este tiempo se procedió a realizar la cosecha de las lombrices para la elaboración de la harina.

B. Elaboración de la harina de lombriz

Se recolectaron 200 g de lombrices se realizó el lavado para retirar el material orgánico usando agua estéril, repitiendo el lavado hasta que dejará de tener residuos (Gutiérrez *et al.*, 2009). Se sacrificaron las lombrices usando una solución de etanol al 70% y se volvieron a lavar con agua destilada estéril.

Posterior al lavado se colocaron las lombrices en un crisol, dentro del horno secador a 105 °C por 2 h para eliminar la humedad de las lombrices. Pasado el tiempo se colocaron en el secador, por 6 h esto con el fin de poder eliminar cualquier humedad restante sin afectar la calidad de la proteína (Suarez, 2006), al finalizar el tiempo en el secador, se trituraron en un mortero, hasta obtener una harina fina (Tiquia *et al.*, 1996). La harina resultante se envasó en recipientes herméticos para mantener su calidad nutricional y protegerla de la humedad y los insectos (Bernal *et al.*, 2012). Se almacenó la harina en un lugar fresco y seco, lejos de la luz solar directa.

Se realizaron análisis de calidad microbiológica (determinación de *E. coli*, *Salmonella* y *S. aureus*) y nutricional en la harina (contenido de nitrógeno y proteína) (Pérez-Lavalle et al., 2020). La determinación de *E. coli* se realizó por el número más probable (NMP), la determinación de *Salmonella*, se utilizó el agar SS (*Salmonella Shigella*), y para la determinación de *S. aureus* se usó el agar Baird Parker.

C. Determinación de la calidad microbiológica.

La determinación de la calidad microbiológica se realizó según la NOM-210-SSA1-2014 la cual establece de los métodos de prueba microbiológicos para la determinación de microorganismos indicadores y determinación de microorganismos patógenos en diferentes alimentos, en este caso nos enfocamos a la determinación en carnes, debido a la naturaleza de la harina. Se llevó a cabo la determinación de *E. coli* en caldo lauril sulfato, trabajando con diluciones seriadas hasta 10^{-3} , colocando una campana de Durham en cada tubo para observar la formación de gas, se incubaron a 37°C durante 24-48 h, para observar si había presencia de gas, este procedimiento se hizo con los tres tubos de las diluciones seriadas por cada una de las muestras de harina de lombriz a evaluar. Pasadas las 48 h se procedió a revisar los tubos para ver la existencia de gas dentro de los mismos.

Para determinar la presencia de *Salmonella*, se utilizó el agar SS (*Salmonella Shigella*), para lo cual se preparó una solución madre, donde se pesaron en condiciones asépticas, 25g de muestra. Se agregaron 225mL de agua peptonada amortiguada estéril y se licuó por 2 min. Incubándose posteriormente durante $24\text{h} \pm 2\text{h}$ a $36^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Pasado el tiempo se realizó la inoculación en el agar SS, identificando colonias de *Salmonella* (Horwitz, 2005).

Por último, se usó el Método de referencia para la estimación de la cuenta de *S. aureus* (NOM-210-SSA1-2014), donde 25 g de muestra se transfirieron a 225 mL de agua peptonada, para preparar una dilución 1:10, se transfirieron 0.1 mL de la solución a cajas con agar Baird Parker, esto por triplicado, se distribuyó el inóculo con perlas de ebullición estériles, una vez absorbido el inóculo se incubaron por 44 a 48 h a $36^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$. Se procedió a buscar colonias con morfología colonial típica: colonias negras, circulares, brillantes, convexas, lisas, de diámetro de 1 mm a 2 mm y que muestran una zona opaca, húmedas y con un halo claro (debido a la actividad de la lecitinasa) alrededor de la colonia.

D. Determinación de nitrógeno y proteína

Se realizó la determinación de nitrógeno por el método de Kjeldhal (Kjeldhal, 1883), de la harina de lombriz proveniente de los 3 sustratos a evaluar, se pesaron 0.2 g los cuales se mezclaron con 2 g de catalizador (CuSO_4 y K_2SO_4) en matraces y se añadieron 5 perlas de ebullición, se colocaron los matraces en el micro Kjeldhal, durante una hora hasta notar un viraje de color a verde (Figura 1), con nueve repeticiones cada una, posterior a esto se llevó a cabo la digestión con soluciones de

NaOH al 40% para preparar la muestra y H_3BO_3 con tres gotas del reactivo de Weslow para observar un cambio de color a café de la muestra digerida, de esta se colectaron 40 mL.

Las muestras obtenidas de la digestión se titulan con H_2SO_4 hasta observar el cambio de color a morado, con los mililitros H_2SO_4 gastados se realizan los cálculos correspondientes y obtener el porcentaje de nitrógeno y proteína, con usando la siguiente formula:

$$\% N (TKN) = \frac{(A-B)(N)(14)}{P(10)}$$

A= Volumen (mL) H_2SO_4 titulación de la muestra

B= Volumen (mL) H_2SO_4 titulación del blanco

N= Normalidad del H_2SO_4 (meq mL^{-1})

P= Peso de la muestra (g)

Para la determinación de proteína se multiplica el resultado del porcentaje de nitrógeno por un factor de conversión en este caso es 6.25

Figura 1.

Determinación de nitrógeno y proteína por el método de Kjeldhal

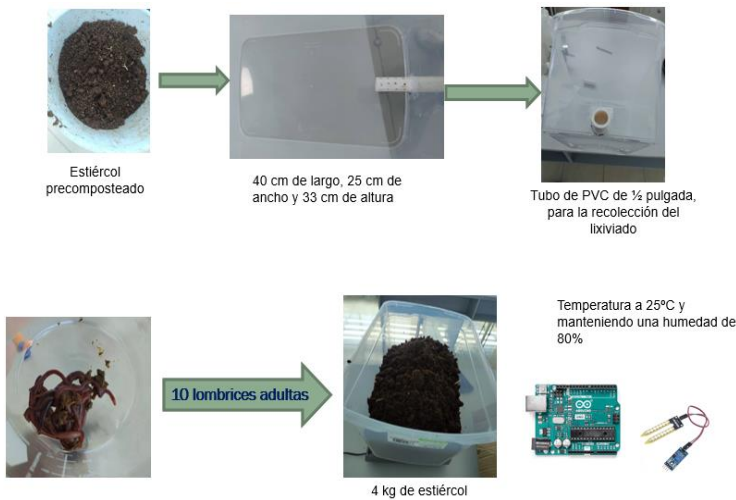


III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Construcción de las Camas.

Se usaron cajas de 40 cm de largo, 25 cm de ancho y 33 cm de altura, a estas se les instaló un tubo de PVC de $\frac{1}{2}$ pulgada, para la recolección del lixiviado (Carrera, 2007). Posteriormente se adicionaron 4 kg de estiércol en cada experimento, se añadieron diez lombrices adultas de *E. fetida* por cama (Figura 2). La temperatura durante el experimento estuvo oscilando entre $25-30^{\circ}\text{C}$.

Figura 2.
Construcción de las camas



B. Elaboración de la harina de lombriz

Después del secado y molienda de los 200 g de lombrices proveniente del sustrato estiércol equino (HEE), estiércol vacuno (HEV) y de hojarasca (HH) se obtuvieron entre 42 a 48 g de harina de lombriz (Figura 3), lo que corresponde a un porcentaje de materia seca del 21 al 24%, siendo este un porcentaje mayor al reportado por García y colaboradores en el 2005 de 20.44%, esto se puede llegar a ver como una limitante al obtener poca harina, lo cual contrasta con el porcentaje que se obtiene de estas harinas siendo mayor al contenido en carnes de animal.

Figura 3.
Obtención de harina de lombriz



C. Determinación de la calidad microbiológica.

La NOM-210-SSA1-2014 establece criterios microbiológicos estrictos para asegurar la inocuidad de los alimentos. El cumplimiento de esta norma por parte de la harina de lombriz garantiza que este producto puede ser considerado seguro para su uso en la alimentación animal y potencialmente en aplicaciones humanas, siempre y cuando se cumplan otras normativas relevantes.

Se realizó la detección de *E. coli*, siendo esta el indicador de elección que manifiesta contaminación fecal reciente o condiciones higiénicas inadecuadas, esto por el método del número más probable, usando una serie de tres diluciones por muestra de harina proveniente de los tres sustratos evaluados, donde después de incubar los tubos de la prueba presuntiva se revisaron los tubos evaluar la presencia de burbujas de aire, siendo esto un resultado positivo.

De las muestras evaluadas ninguna de ellas mostró formación de burbujas o crecimiento en los tubos con medio de cultivo, por lo que no presentan presencia de *E. coli*, por lo tanto, no hubo necesidad de realizar las pruebas confirmativas, por lo tanto, se cumple con lo estipulado en la norma (< 3 NMP/g), en cuanto a la detección de esta bacteria, los resultados se resumen en la Tabla 1.

La ausencia de *E. coli* en las muestras de harina de lombriz puede atribuirse a varios factores como, la correcta gestión y tratamiento del sustrato, junto con un manejo higiénico en la producción de la harina, contribuyen a la eliminación de patógenos (Díaz, 2010).

Durante el procedimiento de detección de *Salmonella sp.* en agar SS, el cual es un agar selectivo y diferencial utilizado para el aislamiento de este género y algunas especies de *Shigella sp.* No se detectó la presencia de estos géneros en la harina de lombriz, al no encontrarse cepas características de *Salmonella sp.*, colonias incoloras con centro negro, o de *Shigella sp.* colonias planas transparentes o incoloras, esto puede deberse al tratamiento que se da en la elaboración de este producto, como lo son las temperaturas que se manejaron para la desecación de las lombrices que fue de 105 °C, ya que se ha demostrado que temperaturas superiores a los 60°C son suficientes para la destrucción de la mayoría de microorganismos patógenos, dentro de los que se encuentran estos dos géneros (Davis y Pyle, 2020).

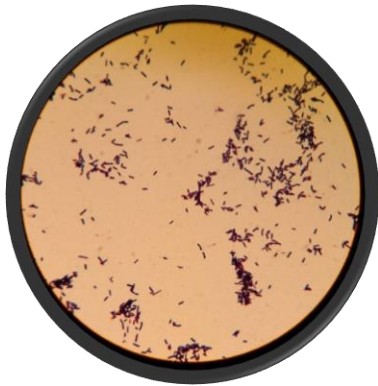
Por otro lado, García, López, y Hernández (2018) analizaron la presencia de patógenos en diferentes productos de insectos destinados a la alimentación animal y humana. En sus resultados, encontraron que las muestras de harina de lombriz tratadas adecuadamente no contenían *Salmonella sp.*, lo que sugiere que los métodos de procesamiento y las condiciones higiénicas son cruciales para prevenir la contaminación. De igual manera Osimani y colaboradores (2017), los cuales evaluaron la seguridad microbiológica de insectos comestibles, incluyendo harina de lombriz, demostrando que cuando los insectos o lombrices criadas y procesadas bajo condiciones controladas, el riesgo de contaminación por *Salmonella sp.* es mínimo.

En cuanto a la detección de *S. aureus*, una vez pasado el tiempo de incubación, se seleccionaron 5 colonias típicas y atípicas como lo marca el Método de referencia de la NOM-210-SSA1-2014 a estas se les realizó una tinción de Gram para determinar la morfología y tipo de coloración adquirida con esta técnica, obteniéndose bacilos Gram positivos (Figura 4), lo cual según el procedimiento se toma como negativo para la detección de esta bacteria, quedando exenta de las pruebas confirmatorias. La

ausencia de esta bacteria en la harina de lombriz es un indicativo positivo de seguridad alimentaria.

Varios estudios han demostrado que los procedimientos adecuados de procesamiento y manejo pueden eliminar o reducir significativamente la presencia de patógenos en productos de origen animal (Gunya y Masika, 2022; Vandeweyer *et al.*, 2021).

Figura 4.
Tinción de Gram



Los sustratos utilizados, especialmente cuando son bien composteados y manejados, pueden reducir la carga microbiológica inicial, minimizando el riesgo de contaminación.

Estos resultados son alentadores para la producción de harina de lombriz, ya que demuestran que es posible obtener un producto microbiológicamente seguro utilizando una variedad de sustratos. La adopción de buenas prácticas de manejo y procesamiento es crucial para mantener la seguridad y calidad del producto final.

Tabla 1
Determinación de *E. coli* por el método Número Más Probable

	Resultado	Límite máximo permisible
HEE	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g
HEV	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g
HH	< 3 NMP/g	< 3 NMP/g

D. Determinación de nitrógeno y proteína

La determinación del nitrógeno y posterior cálculo del porcentaje de proteína se realizó en la harina obtenida de cada uno de los sustratos, realizando 9 repeticiones de estas mediciones por muestra. La muestra tomada para cada una de las determinaciones fue de 0.2 g.

De los resultados obtenidos se realizó un Análisis de Varianza simple (ANOVA) con una prueba pos hoc de Tukey, encontrándose diferencias significativas entre los tratamientos ($p < 0.05$), entre la harina obtenida en los tres sustratos evaluados, la prueba de comparaciones múltiples muestra diferencia entre el contenido de nitrógeno (Figura 3) y proteína (Figura 4), los asteriscos denotan las diferencias, entre la harina obtenida del

sustrato de estiércol equino y los otros sustratos, mientras que no hubo diferencia significativa entre la harina procedente del sustrato de estiércol vacuno y hojarasca.

Los resultados indican que la harina de lombriz producida con estiércol de caballo tiene un porcentaje de proteína significativamente mayor que la obtenida de estiércol de vaca y hojarasca.

En promedio el porcentaje de nitrógeno obtenido fue de 7.4% para la harina proveniente de estiércol equino, 6.6% de la harina procedente del estiércol vacuno y 6.5% de la harina proveniente de la hojarasca (Tabla 2).

Los resultados obtenidos en el contenido de nitrógeno en la harina de lombriz varían entre el 6.4% en HH, 6.6% en HEV y 7.4% en HEE siendo este el más alto, resultados que coinciden con lo reportado por Aira y colaboradores en el 2007. Siendo que el nitrógeno es importante en la construcción de proteínas, su contenido puede ser utilizado como indicador indirecto para conocer el valor nutricional de la harina. Por otro lado, conocer el contenido de nitrógeno también es útil en caso de usar esta harina para la aplicación en la agricultura como abono, ajustando la concentración del mismo según los requerimientos que tenga cada uno de los cultivos (Edwards y Sherman, 2004), y así poder ir sustituyendo los fertilizantes orgánicos que tienen como efecto la pérdida de la biodiversidad microbiana en el suelo y por consecuencia la fertilidad del mismo.

En cuanto a la determinación del porcentaje de proteína en la harina, se obtuvo en promedio de 46.2% para el sustrato de estiércol equino, 41.5% proveniente del estiércol vacuno y un 40.6% para el sustrato de hojarasca (Tabla 2). Los porcentajes obtenidos, aunque son altos a comparación del porcentaje contenido en la carne de res que es en promedio 20-25%, contrasta con lo reportado, lo cual tiene como contenido promedio de porcentaje de proteína en la harina de lombriz de 50-70% (Zhao *et al.*, 2016, Barragan-Fonseca *et al.*, 2019).

El alto contenido de proteína (46.1%) en la harina de lombriz producida con estiércol de caballo puede atribuirse a la composición nutritiva del estiércol equino. Este sustrato es rico en fibra y nitrógeno, lo que favorece la producción de proteína en las lombrices. Además, el estiércol de caballo tiende a tener una mayor diversidad de microbiota que puede potenciar la digestión y asimilación de nutrientes esenciales por parte de las lombrices (García y Oruña, 2005).

Con un 41.4% de proteína, la harina de lombriz derivada de estiércol de vaca también mostró un contenido proteico considerable, aunque inferior al del estiércol de caballo. El estiércol de vaca, aunque rico en materia orgánica, puede contener una mayor proporción de celulosa y menos nitrógeno utilizable, lo que podría limitar la síntesis de proteínas en las lombrices (Mullisaca, 2021).

El menor contenido de proteína (40.5%) en la harina de lombriz producida con hojarasca se debe probablemente a la naturaleza menos nutritiva de este sustrato en comparación con los

estiércoles. La hojarasca, siendo principalmente materia vegetal, tiene un contenido de nitrógeno más bajo y una mayor cantidad de lignina, lo que dificulta la digestión y la conversión eficiente en proteína por parte de las lombrices (Lalander *et al.*, 2019).

Tabla 2.

Promedio del porcentaje de nitrógeno y proteína de harina de lombriz proveniente de tres sustratos

	% Nitrógeno	% Proteína
HEE	7.4	46.1
HEV	6.6	41.4
HH	6.4	40.5

Esta variación en el porcentaje puede deberse a los sustratos utilizados en esta evaluación, ya que se trata de excretas las cuales ya pasaron por un proceso de absorción de nutrientes por un tracto digestivo, y de la hojarasca que en resumen son hojas que se van cayendo al suelo y que significaría la reducción de ciertos componentes.

Figura 3.

Porcentaje de nitrógeno entre HEE, HEV, y HH, los asteriscos denotan las diferencias entre los tratamientos

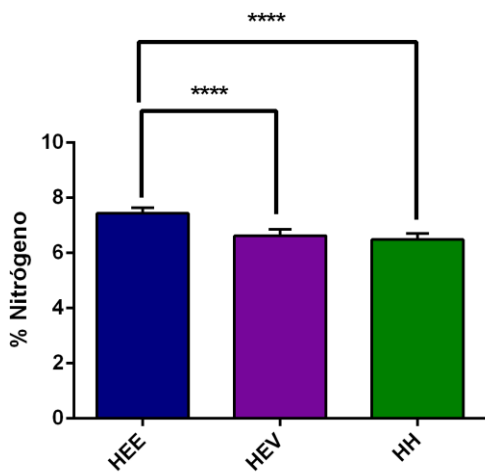
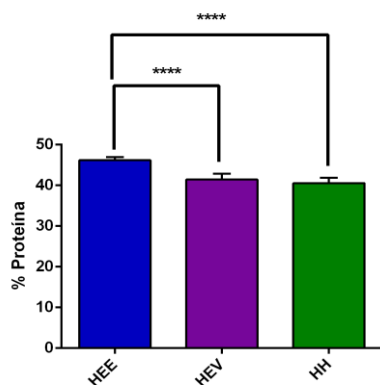


Figura 4.

Porcentaje de proteína entre HEE, HEV, y HH, los asteriscos denotan las diferencias entre los tratamientos



IV. CONCLUSIONES

La harina de lombriz tiene como característica principal una cantidad elevada de proteínas, alrededor de un 50-70% en base seca, posee un interés nutricional porque proporciona aminoácidos esenciales. Su obtención es de bajo costo al igual que su mantenimiento, esto se debe a que las lombrices se alimentan de desechos orgánicos, en este caso: estiércol vacuno, estiércol equino y hojarasca, crecen y se multiplican rápidamente (Alcívar, 2010).

La determinación del contenido de nitrógeno en la harina de lombriz resulta fundamental no solo para evaluar su calidad nutricional, sino también para su uso en la agricultura y la alimentación animal. A través de técnicas precisas como la destilación de Kjeldahl, hemos podido obtener resultados confiables que nos permiten entender mejor las propiedades y el potencial de este producto orgánico. Nuestro estudio ha revelado un contenido de nitrógeno significativo en la harina de lombriz, lo que sugiere su viabilidad como una fuente de nutrientes valiosa.

Sin embargo, es crucial realizar más investigaciones para comprender completamente su composición y sus efectos en diferentes aplicaciones agrícolas y alimenticias. Además, se requiere un análisis exhaustivo de los costos y beneficios ambientales y económicos asociados con la producción y el uso de esta harina. La determinación del contenido de nitrógeno en la harina de lombriz abre nuevas puertas para su aprovechamiento sostenible en diversos sectores, contribuyendo así a la búsqueda de soluciones innovadoras para los desafíos alimentarios y ambientales de nuestro tiempo. Los resultados obtenidos proporcionan una base para futuras investigaciones, donde se podrían explorar combinaciones de sustratos y diferentes condiciones de cultivo para optimizar aún más la producción de proteína en harina de lombriz.

Por otro lado, la harina de lombriz producida a partir de estiércol equino, estiércol vacuno y hojarasca cumple con los criterios establecidos por la NOM-210-SSA1-2014 en relación con la presencia de *E. coli*. La ausencia de *S. aureus* y *Salmonella sp.* en muestras de harina de lombriz se puede atribuir a prácticas de procesamiento eficientes, condiciones de cría controladas y el cumplimiento de normativas estrictas. Bajo condiciones adecuadas, la harina de lombriz es segura y no presenta riesgos significativos de contaminación por *Salmonella sp.* o *S. aureus*. La implementación de procedimientos higiénicos y métodos de tratamiento térmico asegura que este producto pueda ser una fuente viable y segura de proteína alternativa.

Estos hallazgos confirman la viabilidad de la harina de lombriz como un ingrediente seguro en la alimentación animal, humana y como abono agrícola, destacando la importancia de adherirse a prácticas de manejo higiénico y control de calidad en su producción. Además, estos resultados proporcionan una base para la confianza en la seguridad microbiológica de la harina de lombriz, abriendo posibilidades para su uso en una variedad de aplicaciones alimentarias y agrícolas.



V. AGRADECIMIENTOS

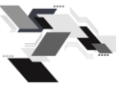
Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento al Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo por las facilidades otorgadas para la realización de nuestro proyecto de investigación, tanto en el laboratorio para llevar a cabo los análisis como en el área de vermicompostaje para llevar a cabo las pruebas de los sustratos ensayados.

Agradecemos profundamente a las autoridades, docentes y personal del Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico superior de Lerdo por el acceso a sus instalaciones y equipos, así como por el invaluable apoyo técnico y logístico proporcionado a lo largo de todo el proyecto. Sin su colaboración y disposición, este trabajo no hubiera sido posible.

El Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico Superior de Lerdo ha demostrado ser una institución comprometida con el avance del conocimiento científico y la formación de profesionales capaces de enfrentar los desafíos actuales en el campo de la investigación y desarrollo tecnológico. Estamos profundamente agradecidos por su apoyo y esperamos poder continuar en futuros proyectos.

VI. REFERENCIAS

- Aira, M., Monroy, F., Domínguez, J. (2007). "Changes in Microbial Biomass and Nutrient Availability Induced by Earthworms and Microorganisms in Pine Forest Soil". *Pedobiología*, 51(3): 195-03.
- Alcívar Cedeño, U. E. E. (2010). El valor nutritivo ahora viene de una lombriz. La técnica: la revista de las agrociencias, 18-19.
- Barragan-Fonseca, K.B., Gort, G., Dicke, M. and van Loon, J.J.A. (2019), Effects of dietary protein and carbohydrate on life-history traits and body protein and fat contents of the black soldier fly *Hermetia illucens*. *Physiol. Entomol.*, 44: 148-159. <https://doi.org/10.1111/phen.12285>
- Calaveras, J. (2004). Nuevo Tratado de Panificación y Bollería. Mundi-Prensa Libros, S.A.
- Carrera Fiallos, M. C. (2007). Estudio De Factibilidad Para La Construcción De Un Lombricario En El Cantón De Cayambe Provincia De Pichincha.
- Davis, R., & Pyle, D. (2020). Heat Treatment of Food Products: Principles and Applications. *Food Microbiology*.
- DGBIR, (2020). Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Díaz García, R. L. (2010). Producción De Compostas Y Reproducción De *Eisenia Foetida* Para La Obtención De Harina De Lombriz A Partir De Estiércol De Diferente Especie Animal. Torreón, Coahuila, México.
- Edwards, C.A., Arancon, N.Q. & Sherman, R.L. (2004). "Effects of Vermicomposts on Growth and Marketable Fruits of Field-Grown Tomatoes, Peppers and Strawberries". *Pedobiología*, 48(1): 83-87.
- FAO. (2016). Food Climate Research Network. Plates, pyramids, planet.
- García, López, y Hernández (2018). "Evaluación de la seguridad microbiológica de productos a base de insectos". *Journal of Food Safety*.
- García, M. D., Oruña, L., & Martínez, V. (2005). Evaluación de la calidad proteica de harina de lombriz (*Eisenia foetida*) en ratas en crecimiento. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*, 39(3), 333-338. Retrieved 2023, from <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=193017771011>
- Gunya, B., Masika, P.J. (2022). *Eisenia fetida* worm as an alternative source of protein for poultry: a review. *Int J Trop Insect Sci* 42, 1–8.
- Heras Sierra, S. d. J. (2015). Producción De Compostas Y Reproducción De *Eisenia Fetida* Para La Obtención De Harina De Lombriz A Partir De Estiercol De Diferente Especie Animal.
- Horwitz, W. (Ed) (2005). Official methods of Analysis of AOAC International, 18th edition, AOAC International, Maryland, USA.
- Jiménez-González, A., Gómez-Brandón, M., & Insam, H. (2020). Vermicomposting as a sustainable option for managing organic wastes and producing soil amendments: A review. *Agronomy*, 10(1), 65.
- Kale, R. D., Singh, J., Singh, D., & Singh, B. (2016). Vermicomposting technology: Reviving the dreams of Sir Charles Darwin for scientific use of earthworms in sustainable development programs. *Biocatalysis and Agricultural Biotechnology*, 7, 48-66.
- Kjeldahl, J. (1883) "Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern" (New method for the determination of nitrogen in organic substances), *Zeitschrift für analytische Chemie*, 22 (1) : 366-383.
- Kummu, M., de Moel, H., Porkka, M., Siebert, S., Varis, O., & Ward, P. J. (2012). "Lost Food, Wasted Resources: Global Food Supply Chain Losses and Their Impacts on Freshwater, Cropland, and Fertilizer Use." *Science of the Total Environment*, 438, 477-489
- Lalander, C., Senecal, J., Gros Calvo, M., Ahrens, L., Josefsson, S., Wiberg, K., Vinnerås, B. (2019). "Valorization of Organic Waste—Potential of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens* L.) and Other Insects." *Environ Sci Pollut Res Int*, 26(16), 16190-16201
- Mullisaca Quispe, S. P. (2021). evaluación de la harina de lombriz (*Eisenia Foetida*) bajo diferentes sustratos de alimentación en el municipio de la Paz.
- Ooninx DG, van Isterbeeck J, Heetkamp MJ, van den Brand H, van Loon JJ, van Huis A. (2010). An exploration on greenhouse gas and ammonia production by insect species suitable for animal or human consumption. *PLoS One*.
- Osimani et al. (2017). "Safety evaluation of edible insects: microbiological, mycotoxins, and allergens risks". *Journal of Insects as Food and Feed*.
- Pérez-Lavalle L, Carrasco E, Valero A. (2020) Microbiological criteria: Principles for their establishment and application in food quality and safety. *Ital J Food Saf*. Apr 6;9(1):8543.
- Secretaria de Salud (SSA) (2015). Productos y servicios. Métodos de prueba microbiológicos. Determinación de microorganismos indicadores. Determinación de microorganismos patógenos
- Suarez Hernández, L. (2016). Evaluación de alternativas de secado en el proceso de elaboración de harina de lombriz. *Ciencia Y Tecnología*



- Agropecuaria, 17(1), 55-71.
<https://revistacta.agrosavia.co/index.php/revista/article/view/461>
- Tiquia, S. M., & Tam, N. F. Y. (1996). Elimination of phytotoxicity during co-composting of spent pig-manure sawdust litter and pig sludge. *Bioresource Technology*, 55(3), 203-209.
- Vandeweyer, D., De Smet, J., Van Looveren, N. and Van Campenhout, L., (2021). Biological contaminants in insects as food and feed. *Journal of Insects as Food and Feed* 7: 807-822.
- Zhao X, Vázquez-Gutiérrez JL, Johansson DP, Landberg R, Langton M. (2016). Yellow Mealworm Protein for Food Purposes - Extraction and Functional Properties. *PLoS One*.

VII. AUTORES

Adriana Viramontes Acosta

 <https://orcid.org/0009-0002-3317-4181>

Mónica Hernández López

 <https://orcid.org/0000-0001-6249-127X>

Alan Joel Servín Prieto

 <https://orcid.org/0000-0002-5534-7875>

Tania Elizabeth Velásquez Chávez

 <https://orcid.org/0009-0009-7788-1786>