

Effect of food source on the chemical composition of Californian red worm (*Eisenia foetida*) vermicompost

Efecto de la fuente de alimento en la composición química del vermicompost de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*)

A.R. Riascos-Vallejos¹, G. Crespo-López², E.M. Guerrero-Guerrero³ and Yolaine Medina-Mesa²

¹Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Agroforestal y Acuícola Arapaima. Regional Putumayo, Colombia

²Instituto de Ciencia Animal, Apartado Postal 24, San José de Las Lajas. Mayabeque, Cuba

³Servicio Nacional de Aprendizaje SENA. Centro Internacional de Producción Limpia Lope. Regional Nariño, Colombia

Email: ariascos@sena.edu.co

A.R. Riascos-Vallejos: <https://orcid.org/0000-0001-6627-9372>

G. Crespo-López: <https://orcid.org/0000-0003-3843-0375>

E.M. Guerrero-Guerrero: <https://orcid.org/0000-0003-3248-9456>

Yolaine Medina-Mesa: <https://orcid.org/0000-0003-0869-2666>

In an area of the Amazon plain, the effect of the food source on the chemical composition of the Californian red worm (*Eisenia foetida*) vermicompost was evaluated. The research was carried out at "El mochilo" farm, from Centro Agroforestal y Acuícola "Arapaima". An analysis of variance was performed, according to a random block design. Three treatments and three replications were established: T1) 100 % fruit and vegetable wastes, T2) 100 % chicken manure wastes and T3) mixture of 30 % bovine manure, 35 % chicken manure and 35 % fruit and vegetable wastes. The variables electrical conductivity, pH, organic matter content, nitrogen, phosphorus, potassium and C/N ratio were measured. Analysis of variance was performed Duncan (1955). The treatments with the highest amount of fruit and vegetable wastes (T1 and T3) obtained higher potassium contents, with values of 1.23 % and 1.20 %, respectively, compared to 100 % chicken manure, which obtained higher phosphorus content, pH value of 7.23 with better vermicomposting stability. The research showed that, according to their chemical composition, the different sources for the elaboration of vermicompost constitute a viable option to obtain a quality product. A higher content of fruits and vegetables achieved more potassium in the final product. On the contrary, higher phosphorus and organic matter contents were recorded from a source that contained chicken manure.

Key words: *fertilizer, organic matter, potassium*

Vermicompost is obtained by a simple process of decomposition and low-cost ecotechnological transformation (Khatua *et al.* 2018). It is efficient and can convert organic wastes into value-added products for soil restoration practices (Muñoz-Rojas *et al.* 2021). Vermicomposting is a viable alternative for the treatment and management of different organic wastes from agricultural and agroindustrial activities (Velasco-Velasco *et al.* 2016). In the vermicomposting process, the detritivorous capacities of worms are used, as well as the action of their digestive enzymes and the aerobic and anaerobic microflora present in their intestine, which allows the biodegradation of organic wastes (Yuvaraj *et al.* 2021).

Farm animals produce large amounts of manure, depending on their storage and dispersal. This waste

En una zona de la llanura amazónica se evaluó el efecto de la fuente de alimento en la composición química del vermicompost de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). El trabajo se realizó en la granja "El mochilo", del Centro Agroforestal y Acuícola "Arapaima". Se realizó análisis de varianza, según diseño de bloques al azar. Se establecieron tres tratamientos y tres réplicas: T1) 100 % residuos de frutas y verduras, T2) 100 % de residuos de gallinaza y T3) mezcla de 30 % de bovinaza, 35 % de gallinaza y 35 % de residuos de frutas y verduras. Se midieron las variables conductividad eléctrica, pH, contenido de materia orgánica, nitrógeno, fósforo, potasio y relación C/N. Se realizó análisis de varianza, los tratamientos con mayor cantidad de residuos de frutas y verduras (T1 y T3) obtuvieron mayores contenidos de potasio, con valores de 1.23 % y 1.20 %, respectivamente, en comparación con el de gallinaza al 100 %, que obtuvo mayor contenido de fósforo, valor de pH de 7.23 con mejor estabilidad del vermicompostaje. La investigación mostró que, de acuerdo con su composición química, las diferentes fuentes para la elaboración de vermicompost constituyen una opción viable para la obtención de un producto de calidad. Un mayor contenido de frutas y verduras logró más cantidad de potasio en el producto final. Por el contrario, mayores contenidos de fósforo y materia orgánica se registraron a partir de una fuente que contenía gallinaza.

Palabras clave: *abono, materia orgánica, potasio*

El vermicompost se obtiene por un proceso sencillo de descomposición y transformación ecotecnológica de bajo costo (Khatua *et al.* 2018). Es eficiente y puede convertir residuos orgánicos en productos de valor agregado para las prácticas de restauración de suelos (Muñoz-Rojas *et al.* 2021). El vermicompostaje es una alternativa viable para el tratamiento y manejo de diferentes desechos orgánicos de actividades agropecuarias y agroindustriales (Velasco-Velasco *et al.* 2018). En el proceso de vermicompostaje se aprovechan las capacidades detritívoras de las lombrices, la acción de sus enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presentes en su intestino, lo que permite biodegradar residuos orgánicos (Yuvaraj *et al.* 2021).

Los animales en granja producen grandes cantidades de estiércol, según su almacenamiento y dispersión. Este

in the soil can cause contamination of the atmosphere and water, so it is necessary to undergo stabilization processes for its agronomic use (Colín-Navarro *et al.* 2019). The livestock area highlighted for the livestock production of importance in the economy of Putumayo (Riascos-Vallejos *et al.* 2020 and Urquijo-Pineda 2020). However, the establishment of livestock in the Colombian territory and in the Amazon has a high environmental cost. The loss of natural habitats, the fragmentation of ecosystems and the decrease in soil productivity are among the consequences of the livestock model that currently prosper in Colombia, which contributes to soil degradation and loss of organic matter (Alkharabsheh *et al.* 2021).

In the Putumayo department, in the agricultural sector, a large amount of waste is generated. The main crops per sown area are banana (*Musa paradisiaca*), corn (*Zea mays*), sugarcane (*Saccharum officinarum*), cassava (*Manihot esculenta*), peach palm (*Bactris gasipaes*), cocoa (*Theobroma cacao*), rainfed rice (*Oryza sativa*), rubber tree (*Hevea brasiliensis*) and beans (*Phaseolus vulgaris*). In Puerto Asís municipality banana is produced in high amount, with 5.0 t/ha⁻¹ of total yield (Tiria Forero *et al.* 2018).

The accelerated growth of the population in urban and peri-urban areas, industrial activity and the consumption increase contribute to the important problem of solid waste generation, which are those materials generated in production and consumption activities that have not reached economic value (Palomino and Huisa 2021). The management of organic waste through vermicomposting is a biotechnology with great environmental benefits and low cost (Huaccha *et al.* 2019). In addition, it is an alternative that is framed between the processes of recycling and recovery of organic waste that generates an effect for the environment, and that allows improving the physical, chemical and biological conditions of the soil (Dada *et al.* 2021).

Composting technologies have been poorly developed on a small scale, and even less under adverse climatic conditions, in terms of humidity, temperature, and excessive rainfall (Nguyen *et al.* 2022). Make a quality organic fertilizer based on organic waste will allow the farmer to have a more attractive proposal to improve yields, with options for reincorporating organic matter into degraded soils and reducing costs (Martins *et al.* 2022).

Due to the above mentioned, there is also a need to propose solutions to support the comprehensive management of biodegradable solid waste, by proposing treatment methods such as vermicomposting, which allows the transformation of solid waste by biological means under controlled conditions and into products such as fertilizer and substrate. It also takes part in amendments applied in agriculture and in soil bioremediation (Bowman *et al.* 2021).

The objective of this study was to evaluate in an

residuo en el suelo puede causar contaminación de la atmósfera y el agua, por lo que es necesario que se someta a procesos de estabilización para su uso agronómico (Colín-Navarro *et al.* 2018). El área pecuaria se destaca por la producción ganadera de importancia en la economía del Putumayo (Riascos-Vallejos *et al.* 2020 y Urquijo-Pineda 2020). Sin embargo, el establecimiento de la ganadería en el territorio colombiano y en la Amazonía tiene alto costo ambiental. La pérdida de hábitats naturales, la fragmentación de ecosistemas y la disminución en la productividad de los suelos cuentan entre las consecuencias del modelo ganadero que actualmente prospera en Colombia, lo que contribuye a la degradación de los suelos y a la pérdida de materia orgánica (Alkharabsheh *et al.* 2021).

En el departamento del Putumayo, en el sector agrícola, se genera gran cantidad de residuos. Los principales cultivos por área sembrada son el plátano (*Musa paradisiaca*), el maíz (*Zea mays*), la caña panelera (*Saccharum officinarum*), la yuca (*Manihot esculenta*), el chontaduro (*Bactris gasipaes*), el cacao (*Theobroma cacao*), el arroz de secano (*Oryza sativa*), el caucho (*Hevea brasiliensis*) y el frijol (*Phaseolus vulgaris*). En el municipio de Puerto Asís se produce plátano en mayor cantidad, con un total de 5.0 t ha⁻¹ (Tiria Forero *et al.* 2018).

El acelerado crecimiento de la población en áreas urbanas y periurbanas, la actividad industrial y el incremento del consumo contribuyen al importante problema de generación de residuos sólidos, que son aquellas materias generadas en actividades de producción y consumo que no han alcanzado valor económico (Palomino y Huisa 2021). La gestión de los residuos orgánicos mediante el vermicompostaje es una biotecnología con grandes beneficios ambientales y de bajo costo (Huaccha *et al.* 2019). Además, es una alternativa que se enmarca entre los procesos de reciclado y valorización de los residuos orgánicos que genera un efecto para el ambiente, y que permite mejorar las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos (Dada *et al.* 2021).

Las tecnologías de compostaje se han desarrollado muy poco en pequeña escala, y menos aún en condiciones climáticas adversas, en lo que respecta a la humedad, temperatura y precipitación excesiva (Nguyen *et al.* 2022). Elaborar un abono orgánico de calidad basado en residuos orgánicos permitirá al agricultor tener una propuesta más atractiva para mejorar los rendimientos, con opciones de reincorporación de materia orgánica a suelos degradados y reducción de costos (Martins *et al.* 2022).

Por lo antes señalado, surge también la necesidad de plantear soluciones para apoyar la gestión integral de los residuos sólidos biodegradables, al proponer métodos de tratamiento como el vermicompostaje, que permite la transformación de residuos sólidos por medios biológicos en condiciones controladas, en productos como el abono y el sustrato. También toma parte en las enmiendas que se aplican en la agricultura y en la biorrecuperación de suelos (Bowman *et al.* 2021).

El objetivo de este trabajo fue evaluar en una zona de la llanura amazónica el efecto de la fuente de alimento

area of the Amazonian plain the effect of food source on the chemical composition of Californian red worm (*Eisenia foetida*) vermicompost, in terms of its nutrient composition.

Materials and Methods

This research was developed in “El mochilo” farm, from Centro Agroforestal and Acuícola “Arapaima” SENA. This facility is located in Puerto Asís municipality, Putumayo department, Colombia. It is at an altitude of 256 m o s. l., with an average temperature of 25.3 °C, relative humidity of 85 % and annual rainfall between 3.520 and 4932.8 mm, and corresponds to the tropical humid forest life zone (IDEAM 2020).

Three treatments with three replications were established, for a total of 9 experimental units, distributed in random blocks (DRB). Three compost piles corresponded to a block with all treatments: T1) homogeneous mixture (100 %) of fruit and vegetable waste (FV), composed of orange peel, table tomato, long onion, plantain and banana peels in equal proportions; T2) chicken manure (CM) at 100 %; T3) 30 % bovine manure (BM), 35 % chicken manure and 35 % FV. Once the normality of data was verified, analysis of variance was performed. To compare the means, Duncan (1955) ($P < 0.05$) test was applied. The results were analyzed using the InfoStat statistical package (Di Rienzo *et al.* 2012).

Precomposting process. A total of 6000 kg of each of the food sources for the worm (fruit and vegetable waste, chicken manure and bovine manure) were collected. They were distributed in piles of 600 kg, which were daily watered with the help of an aerial irrigation system at 1 m from the ground, four times a week. In addition, a weekly turning with a shovel was carried out.

Vermicomposting process. It was carried out in a greenhouse, where nine wooden containers were installed, lined with polyethylene canvas, with dimensions of 1 m long, 0.50 m wide and 0.25 m deep. From each source of the precomposted material, 60 kg were taken, and 20 were placed in each of the boxes destined for each previously randomized treatment. After, the Californian red worm (*Eisenia foetida*), order: *Haplotaxida*, family: *Lumbricidae* was supplied. Approximately 200 specimens per box were used (Canales-Gutiérrez *et al.* 2021) for a total of 9 experimental units. The wooden boxes were kept covered with 65 % black polyshade, which made it possible to control high temperatures and protect the red worm from sun exposure.

The pH and temperature were daily measured, which allowed for better control during the process. All the sources were allowed to mature for 21 d, to avoid the presence of pathogens and insect pests. The variables organic matter (OM), carbon-nitrogen ratio (C/N), pH, electrical conductivity (EC), nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) were evaluated, according to the

en la composición química del vermicompost de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), en cuanto a su composición de nutrientes.

Materiales y Métodos

Esta investigación se desarrolló en la granja “El mochilo”, del Centro Agroforestal y Acuícola “Arapaima” SENA. Esta instalación se halla ubicada en el municipio de Puerto Asís, departamento del Putumayo, Colombia. Se encuentra a una altitud de 256 m s.n.m., con temperatura promedio de 25.3 °C, humedad relativa de 85 % y precipitación anual entre 3.520 y 4932.8 mm, y corresponde a la zona de vida bosque húmedo tropical (IDEAM 2020).

Se establecieron tres tratamientos con tres réplicas, para un total de 9 unidades experimentales, distribuidas en bloques al azar (DBA). Tres pilas de compost correspondieron a un bloque con todos los tratamientos: T1) mezcla homogénea (100 %) de residuos de frutas y verduras (RV), compuesta por cáscaras de naranja, tomate de mesa, cebolla larga, cáscaras de plátano y banano en iguales proporciones; T2) gallinaza (G) al 100 %; T3) 30 % de bovinaza (B), 35 % de gallinaza y 35 % de RV. Una vez verificada la normalidad de los datos, se realizó análisis de varianza. Para comparar las medias se aplicó la dócima de Duncan (1955) ($P < 0.05$). Los resultados se analizaron mediante el paquete estadístico InfoStat (Di Rienzo *et al.* 2012).

Proceso de precompostaje. Se recogieron 6000 kg de cada una de las fuentes de alimento para la lombriz (residuos de frutas y verduras, gallinaza y estiércol bovino). Se distribuyeron en pilas de 600 kg, que se regaron diariamente con ayuda de un sistema de riego aéreo a 1 m del piso, cuatro veces por semana. Además, se realizó un volteo con pala semanalmente.

Proceso de vermicompostaje. Se realizó en un invernadero, donde se instalaron nueve contenedores de madera, forrados con lona de polietileno, con dimensiones de 1 m de largo, 0.50 m de ancho y 0.25 m de profundidad. De cada fuente del material precompostado se tomaron 60 kg, y se colocaron 20 en cada uno de los cajones destinados a cada tratamiento previamente aleatorizado. Después se suministró la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*), orden: *Haplotaxida*; familia: *Lumbricidae*. Se utilizaron 200 especímenes por cajón, aproximadamente, (Canales-Gutiérrez *et al.* 2021) para un total de 9 unidades experimentales. Los cajones de madera se mantuvieron tapados con polisombra negra de 65 %, lo que permitió controlar las altas temperaturas y proteger la lombriz roja de la exposición solar.

Se midieron diariamente el pH y la temperatura, lo que permitió generar el mejor control durante el proceso. Todas las fuentes se dejaron madurar durante 21 d, para evitar la presencia de patógenos y de insectos plagas. Se evaluaron las variables materia orgánica (MO), relación carbono-nitrógeno (C/N), pH, conductividad eléctrica (CE), nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K),

chemical analysis methodology, proposed by the soil quality analysis laboratory of "Jorge Tadeo Lozano" University from the biosystems center, N was determined according to Kjeldahl, P by colorimetry, K by atomic absorption; organic carbon by calcination, pH and EC in saturation extract, and the percentage of major elements according to weight to weight ratio.

Results and Discussion

When analyzing the OM, the values for T1, T2 and T3 were 35.61 %, 49.66 % and 42.01 %, respectively (table 1). As reported by Trinidad-Santos and Velasco-Velasco (2016), the percentage of OM obtained through vermicomposting is 40 %, similar to what was recorded in this study for T2 and T3, with the highest values compared to T1, which is probably due to the amount of N provided by the manure in the substrates (Fernando and Arunakumara 2021).

Table 1. Chemical composition of vermicomposting, %

Treatments	OM	N	P	K
T1) FV	35.61 ^b	1.27	0.52 ^b	1.23 ^a
T2) CM	49.66 ^a	1.43	1.10 ^a	0.55 ^b
T3) BM, CM, FV	42.01 ^{ab}	1.60	0.55 ^b	1.20 ^a
Standard error	± 2.62	± 0.16	± 0.04	± 0.03
Significance	P = 0.0470	P = 0.4198	P = 0.0005	P = 0.0001

^{ab}Different letters by columns indicate significant differences ($P < 0.05$)

FV: fruit and vegetable waste

BM: bovine manure

CM: chicken manure

The treatment that achieved the highest OM content was T2, since unmixed manure possibly increased OM levels in vermicomposting (Lammertyn *et al.* 2021), since it works as a conditioner that protects the soil from erosion, improving its physico-chemical characteristics, which allows its structure to be repaired, by increasing water retention, regulating the activity of nitrites and the ability to store and release the nutrients required by plants in a balanced way, such as N, P, K, S and B (Ghorbani and Sabour 2021).

The OM is low in the soils of the Amazonian plain, so when transformed plant waste are applied, such as vermicompost, its fertility increases, by increasing the OM content, in the medium and long term and, with it, the availability of nutrients (González García and Godoy Ponce 2021).

For the percentage of phosphorus, T2 obtained significant differences, with a value of 1.10 % with respect to T1 and T3, with figures of 0.52 % and 0.55 %, respectively. Font-Palma (2019) estimates that, on average, the manure contains 0.25 % phosphorus, so possibly the contribution of chicken manure favored the content of this element in T2.

Because it has a higher percentage of P, T2 could become a source for worm feeding, since it acts as a soil

de acuerdo con la metodología de análisis químico, propuesta por el laboratorio de análisis de calidad de suelos de la Universidad "Jorge Tadeo Lozano" del centro de biosistemas, el N se determinó según Kjeldahl, el P por colorimetría, el K mediante absorción atómica; el carbono orgánico por calcinación, el pH y CE en extracto de saturación, y el porcentaje de elementos mayores según relación peso a peso.

Resultados y Discusión

Al analizar la MO, los valores para el T1, T2 y T3 fueron 35.61 %, 49.66 % y 42.01 %, respectivamente (tabla 1). Según lo informado por Trinidad-Santos y Velasco-Velasco (2016), el porcentaje de MO que se obtiene mediante vermicompostaje es de 40 %, similar a lo registrado en este estudio para el T2 y T3, con los valores más altos con respecto al T1, lo que probablemente se deba a la cantidad de N aportada por el estiércol en los

sustratos (Fernando y Arunakumara 2021).

El tratamiento que logró mayores contenidos de MO fue el T2, ya que posiblemente el estiércol sin mezcla incrementó los valores de MO en el vermicompostaje (Lammertyn *et al.* 2021b), pues funciona como un acondicionador que protege al suelo de la erosión, mejorando sus características físicoquímicas, lo que permite reparar su estructura, al aumentar la retención hídrica, regular la actividad de los nitritos y la capacidad de almacenar y liberar los nutrientes requeridos por las plantas de forma equilibrada, como el N, P, K, S y B (Ghorbani y Sabour 2021).

La MO es baja en los suelos de la llanura amazónica, por lo que cuando se le aplican residuos vegetales transformados, como el vermicompost, aumenta su fertilidad, al incrementarse el contenido de MO, a mediano y largo plazo y, con ello, la disponibilidad de nutrientes (González García y Godoy Ponce 2021).

Para el porcentaje de fósforo, el T2 obtuvo diferencias significativas, con un valor de 1.10 % con respecto al T1 y T3, con cifras de 0.52 % y 0.55 %, respectivamente. Font-Palma (2019) estima que, como promedio, el estiércol contiene 0.25 % de fósforo, por lo que posiblemente el aporte de la gallinaza favoreció el contenido de este elemento en el T2.

Por tener mayor porcentaje de P, el T2 se podría

conditioner and allows the P content to increase in the final product. This generates an additional value, since this element is in low contents or is little available in the soil (Coban *et al.* 2022).

Studies conducted by Benjawan *et al.* (2015) report lower values in P content. According to what they refer, in week 12, for example, they have 0.36 % and they increase in week 16, with 3.06 %. It is used as a base dry garbage, manure, lime, charcoal, green manure and rice husk. The cited authors also obtained K contents of 0.5 % at week 24, lower than those achieved in this study at T1 and T3.

For the percentage of potassium, in T1 and T3, values of 1.23 and 1.20 % were obtained, respectively, with differences with respect to T2, with 0.55 %. Similar studies estimate that, on average, manure contains 0.5 % K (Sepúlveda Casadiego and Mosquera 2021). Other studies show higher values for this element, with the use of cattle manure as a substrate for worm feeding (Ahmad *et al.* 2021a).

It could be deduced that the content of K decreases, while P increases. The K is higher when the source has fruit and vegetable waste (Lachica *et al.* 2020) for T1 and T3, whose contents were mostly orange peel, table tomato, long onion, plantain and banana. These last two are in greater proportion.

The amount of K also depends on the interaction between factors, such as added moisture and the amount of waste (Bin Dohaish 2020). Possibly, the amount of fruits and vegetables waste in the sources of treatments T1 and T3, allowed the increase in potassium content. Therefore, the unmixed harvest waste allow obtaining a higher K content, which is why it is possible that T1 obtained significant differences for this variable, compared to the other treatments.

Table 2 shows the indicators that must be additionally measured when vermicomposting is made. When analyzing the C/N ratio, there were no differences in the evaluated treatments. Indeed, Singh *et al.* (2020) highlight the importance of the C/N ratio, since it is one of the indices that allow studying the speed of decomposition of the substrate during the vermicomposting process. And this is because it represents the loss of organic carbon, as a consequence of the mineralization of its components, and because it measures the increase in the concentration of N, due to weight loss. Values similar to those reported here were obtained by Gudeta *et al.* (2022), who refer to a C/N ratio of 10.77. Figures below 15 show that it is a stable and mature vermicompost (Nazeri *et al.* 2021).

According to Xavier *et al.* (2022), microbial activity soon reaches its maximum due to the rapid release of energy and the release of carbon dioxide. Under these conditions, N quickly disappears from the soil, due to the insistent demand by microorganisms

convertir en una fuente para la alimentación de lombrices, ya que actúa como acondicionador del suelo y permite que se incremente el contenido de P en el producto final. Esto genera un valor adicional, ya que este elemento se presenta en contenidos bajos o se encuentra poco disponible en el suelo (Coban *et al.* 2022).

Estudios realizados por Benjawan *et al.* (2015) informan valores más bajos en el contenido de P. Según refieren, en la semana 12, por ejemplo, presentan 0.36 % y se incrementan en la semana 16, con 3.06 %. Se utiliza como base basura seca, estiércol, cal, carbón vegetal, abono verde y cascarilla de arroz. Los autores citados también obtuvieron contenidos de K de 0.5 % en la semana 24, inferiores a los que se lograron en este estudio en el T1 y en el T3.

Para el porcentaje de potasio, en el T1 y el T3, se obtuvieron valores de 1.23 y 1.20 %, respectivamente con diferencias con respecto al T2, con 0.55 %. Trabajos similares estiman que, como promedio, el estiércol contiene 0.5 % de K (Sepúlveda Casadiego y Mosquera 2021). Otros estudios demuestran valores superiores para este elemento, con la utilización de estiércol vacuno como sustrato para la alimentación de lombrices (Ahmad *et al.* 2021a).

Se podría deducir que el contenido de K disminuye, mientras que el de P aumenta. El K es mayor cuando la fuente tiene residuos de frutas y verduras (Lachica *et al.* 2020) para T1 y T3, cuyos contenidos fueron, en su mayoría, cascaras de naranja, tomate de mesa, cebolla larga, plátano y banano. Estos dos últimos se hallan en mayor proporción.

La cantidad de K también depende de la interacción entre factores, como la humedad agregada y la cantidad de desechos (Bin Dohaish 2020). Posiblemente, la cantidad de desechos de frutas y verduras en las fuentes de los tratamientos T1 y T3, permitió el incremento del contenido de potasio. Por consiguiente, los residuos de cosecha sin mezclar permiten obtener mayor contenido de K, razón por lo que es posible que el T1 obtuviera diferencias significativas para esta variable, en comparación con los otros tratamientos.

La tabla 2 muestra los indicadores que se deben medir adicionalmente, cuando se elabora vermicompostaje. Al analizar la relación C/N, no se obtuvieron diferencias en los tratamientos evaluados. En efecto, Singh *et al.* (2020) resaltan la importancia de la relación C/N, ya que es uno de los índices que permite estudiar la celeridad de descomposición del sustrato durante el proceso de vermicompostaje. Y esto es porque representa la pérdida de carbono orgánico, como consecuencia de la mineralización de sus componentes, y porque mide el aumento de la concentración de N, debido a la pérdida de peso. Valores similares a los que aquí se informan obtuvieron Gudeta *et al.* (2022), quienes refieren una relación C/N de 10.77. Cifras inferiores a 15 indican que se trata de un vermicompost estable y maduro (Nazeri *et al.* 2021).

Según Xavier *et al.* (2022), la actividad microbiana llega pronto al máximo por la rápida liberación de

Table 2. Indicators of carbon: nitrogen ratio, pH and electrical conductivity in vermicomposting

Treatments	C/N	pH	EC (dS.m)
T1: FV	13.13	8.57 ^a	12.72 ^a
T2: CM	16.53	7.23 ^c	7.03 ^b
T3: BM, CM, FV	12.09	8.33 ^b	14.47 ^a
Standard error	± 1.15	± 0.06	± 115.00
Significance	P = 0.1071	P = 0.0002	P = 0.0221

^{abc}Different letters by columns indicate significant differences (P < 0.05)

FV: fruit and vegetable waste

BM: bovine manure

CM: chicken manure

to synthesize their tissues, and after a while there is no longer any of this element. Therefore, when degradation occurs in T3, the C/N ratio was the lowest and the N content was the highest, with a value of 1.60 %. This shows that there is possibly an influence of the mixtures from the different sources to obtain a greater amount of N in the vermicompost content (Ferreira *et al.* 2018).

Table 2 shows the pH values, where it is evident that there were differences between the treatments: T1) 8.57, T2) 7.23 and T3) 8.33. These values agree with those obtained by Vukovi *et al.* (2021), who affirm that the parameters of a stable vermicompost are between 4.5 and 8.5, it is advisable to keep them above 7 for the control of predators and pests. Also during the process there is a succession with a predominance of different microorganisms, influenced by different factors. One of these is the chemical nature of the substrate, which is digested with greater intensity, according to moisture content, oxygen availability, temperature, C/N ratio and pH. That is why some microorganisms multiply more quickly than others, and predominate in the fermentation medium (Palacios Valenzuela *et al.* 2021).

The electrical conductivity values presented in table 2 show differences between treatments. It can be said that the chemical properties of vermicompost can be variable, depending on the type, state of decomposition and storage time of the by-products used for its manufacture (Durán and Henríquez 2009 and Ahmad *et al.* 2021b), which is why, possibly, the values may change depending on the substrate used. From the above, it should be taken into account that one of the product quality criteria is related to the stability of the material, which is determined from the variables pH and electrical conductivity (Santos *et al.* 2021).

However, the addition of manure increases the pH value, by mixing it with fruit and vegetable waste (Méndez *et al.* 2018). On the contrary, in this case, the pH was lower in the treatments where animal manure was used. Although possibly this stabilizes during the sanitation process, and it will depend on the type of plant

energía y el desprendimiento de dióxido de carbono. En estas condiciones, el N desaparece rápidamente del suelo, debido a la insistente demanda por parte de los microorganismos para sintetizar sus tejidos, y después de un tiempo ya no queda nada de este elemento. Por tanto, cuando se produce la degradación en el T3, la relación C/N fue la más baja y el contenido de N fue el más alto, con valor de 1.60 %. Esto muestra que posiblemente existe influencia de las mezclas de las diferentes fuentes para obtener mayor cantidad de N en el contenido de vermicompost (Ferreira *et al.* 2018).

La tabla 2 deja ver los valores de pH, donde se evidencia que hubo diferencias entre los tratamientos: T1) 8.57, T2) 7.23 y T3) 8.33. Estos valores concuerdan con los obtenidos por Vukovi *et al.* (2021), quienes afirman que los indicadores de un vermicompost estable están entre 4.5 y 8.5, es recomendable mantenerlos por encima de 7 para el control de depredadores y plagas. También durante el proceso existe una sucesión con predominio de diferentes microorganismos, influenciados por diferentes factores. Uno de estos es la naturaleza química del sustrato, que se digiere con mayor intensidad, de acuerdo con el contenido de humedad, la disponibilidad de oxígeno, la temperatura, la relación C/N y el pH. Es por ello que algunos microorganismos se multiplican más rápidamente que otros, y predominan en el medio de fermentación (Palacios Valenzuela *et al.* 2021).

Los valores de conductividad eléctrica presentados en la tabla 2 muestran diferencias entre los tratamientos. Se puede decir que las propiedades químicas del vermicompost pueden ser variables, según el tipo, estado de descomposición y tiempo de almacenamiento de los subproductos utilizados para su fabricación (Durán y Henríquez 2009 y Ahmad *et al.* 2021b), razón por la cual, posiblemente, los valores pueden cambiar según el sustrato que se utilice. A partir de lo anterior, se debe tener en cuenta que uno de los criterios de calidad del producto está relacionado con la estabilidad del material, lo que se determina a partir de las variables pH y conductividad eléctrica (Santos *et al.* 2021).

No obstante, la adición de estiércol incrementa el valor de pH, al mezclarlo con residuos de frutas y verduras (Méndez *et al.* 2018). Por el contrario, en este caso, el pH

waste that is mixed with the manure.

As mentioned above, the application of organic fertilizers produces an interaction of several microorganisms that biosynthesize different intermediate substances and generate a multienzymatic process that breaks the chains and rings of hydrocarbons, which favors the biorecovery of contaminated soils (Chilon and Chilon 2016).

Not using compost reveals greater environmental impacts, associated with the generation of greenhouse gases (Bernstad-Saraiva-Schott *et al.* 2016). Vermicomposting is one of the most widely applied technologies for managing biowaste in developing countries, due to its low investment cost, simple operation, and generation of a value-added product (Peralta *et al.* 2019). Vermicomposting, produced from vegetable waste, bovine manure and chicken manure, has physicochemical and microbiological characteristics that appear in quality standards (Da Costa *et al.* 2018).

The vermicomposting must have good characteristics, in terms of nutrients richness, as well as it must also inhibit the germination of pathogens. It is an alternative to recycle biodegradable organic solid waste (Suárez-Tapia *et al.* 2018), transform it into fertilizers for agriculture and avoid its improper disposal. Thus, it becomes a viable alternative for farmers in Colombia and, especially, in Putumayo department (Galindo 2018 and Gunya and Masika 2022).

Conclusions

According to the chemical characterization of the vermicompost obtained in this research from different substrates, it is concluded that it has adequate quality, which could be an alternative for soil improvement.

The research showed that the food source affects the final composition of the vermicompost. A source with a higher content of fruits and vegetables obtained a higher amount of K. On the contrary, higher contents of P and OM were obtained from a source that contained chicken manure.

Acknowledgements

Thanks to the support offered by Dr. Magaly Herrera, from Biomathematics group, in processing the statistical data. Also to the research assistant Leidy Milena Daza, to the SENA apprentices, Jenny Riascos and Lina Yurani Quintero, for their collaboration in the field work, as well as to the SENA National Learning Service, financed by the SENNOVA project, Putumayo region, Colombia.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interest between them

Authors contribution

A.R. Riascos-Vallejos: Conceptualization, Funding

fue inferior en los tratamientos donde se utilizó estiércol animal. Aunque posiblemente este se establezca durante el proceso de higienización, y dependerá del tipo de residuo vegetal que se mezcle con el estiércol.

Según lo antes mencionado, la aplicación de abonos orgánicos produce una interacción de varios microorganismos que biosintetizan distintas sustancias intermedias y generan un proceso multienzimático que rompe las cadenas y anillos de hidrocarburos, lo que favorece la biorrecuperación de suelos contaminados (Chilon y Chilon 2016).

No utilizar compostados deja ver mayores impactos ambientales, asociados a la generación de gases de efecto invernadero (Bernstad-Saraiva-Schott *et al.* 2016). El vermicompostaje es una de las tecnologías de mayor aplicación para el manejo de los biorresiduos en países en desarrollo, por su bajo costo de inversión, operación sencilla y generación de un producto de valor agregado (Peralta *et al.* 2019). El vermicompostaje, producido a partir de residuos vegetales, estiércol bovino y gallinaza, presenta características fisicoquímicas y microbiológicas que figuran en los estándares de calidad (Da Costa *et al.* 2018).

El vermicompostaje debe presentar buenas características, en cuanto a riqueza de nutrientes, así como debe también de inhibir la germinación de patógenos. Es una alternativa para reciclar residuos sólidos orgánicos biodegradables (Suárez-Tapia *et al.* 2018), transformarlos en fertilizantes para la agricultura y evitar su deposición inadecuada. Se convierte así en una alternativa viable para los productores de Colombia y, en especial, del departamento del Putumayo (Galindo 2018 y Gunya y Masika 2022).

Conclusiones

De acuerdo con la caracterización química del vermicompost obtenido en esta investigación a partir de diferentes sustratos, se concluye que este presenta una calidad adecuada, lo cual podría ser una alternativa para la mejora de suelos.

La investigación mostró que la fuente de alimento afecta la composición final del vermicompost. Una fuente con mayor contenido de frutas y verduras obtuvo mayor cantidad de K. Por el contrario, mayores contenidos de P y MO se obtuvieron a partir de una fuente que contenía gallinaza.

Agradecimientos

Se agradece el apoyo ofrecido por la Dra. Magaly Herrera, del grupo de Biomatemática, en el procesamiento de los datos estadísticos. También al auxiliar de investigación Leidy Milena Daza, a los aprendices del SENA, Jenny Riascos y Lina Yurani Quintero, por la colaboración en las labores de campo, así como al Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, financiado por el proyecto SENNOVA, regional Putumayo, Colombia.

Conflicto de intereses

Los autores declaran que no existe conflicto de

acquisition, Research, Supervision, Writing – original draft

G. Crespo-López: Conceptualization
E.M. Guerrero-Guerrero: Visualization
Yolaine Medina-Mesa: Data Curation, Formal Analysis

intereses entre ellos

Contribución de los autores
A.R. Riascos-Vallejos: Conceptualización, Adquisición de fondos, Investigación, Supervisión, Redacción – borrador original
G. Crespo: Conceptualización
E.M. Guerrero-Guerrero: Visualización
Yolaine Medina-Mesa: Curación de datos, Análisis formal

References

- Ahmad, A., Aslam, Z., Bellitürk, K., Iqbal, N., Idrees, M., Nawaz, M., Nawaz, M.Y., Munir, M.K., Kamal, A., Ullah, E., Jamil, M.A., Akram, Y., Abbas, T. & Aziz, M.M. 2021a. "Earth Worms and Vermicomposting: A Review on the Story of Black Gold". *Journal of Innovative Sciences*, 7(1): 167-173, ISSN: 2411-2240. <https://doi.org/10.17582/journal.jis/2021/7.1.167.173>.
- Ahmad, A., Aslam, Z., Bellitürk, K., Iqbal, N., Naeem, S., Idrees, M., Kaleem, Z., Nawaz, M.Y., Nawaz, M., Sajjad, M., Rehman, W.U., Ramzan, H.N., Waqas, M., Akram, Y., Jamal, M.A., Ibrahim, M.U., Baig, H.A.T. & Kamal, A. 2021b. "Vermicomposting Methods from Different Wastes: An Environment Friendly, Economically Viable and Socially Acceptable Approach for Crop Nutrition: A Review". *International Journal of Food Science and Agriculture*, 5(1): 58–68, ISSN: 2578-3475. <http://dx.doi.org/10.26855/ijfsa.2021.03.009>.
- Alkharabsheh, H.M., Seleiman, M.F., Battaglia, M.L., Shami, A., Jalal, R.S., Alhammad, B.A., Almutairi, K.F. & Al-Saif, A.M. 2021. "Biochar and its broad impacts in soil quality and fertility, nutrient leaching and crop productivity: A review". *Agronomy*, 11(5): 993, ISSN: 2073-4395. <https://doi.org/10.3390/agronomy11050993>.
- Benjawan, L., Sihawong, S., Chayaprasert, W. & Liamlam, W. 2015. "Composting of biodegradable Organic Waste from Thai Household in a Semi-Continuous Composter". *Compost Science & Utilization*, 23(1): 11-17, ISSN: 1065-657X. <http://doi.org/10.1080/1065657X.2014.963742>.
- Bernstad-Saraiva-Schott, A., Wenzel, H. & La Cour-Jansen, J. 2016. "Identification of decisive factors for greenhouse gas emissions in comparative life cycle assessments of food waste management - An analytical review". *Journal of Cleaner Production*, 119: 13-24, ISSN: 1879-1786. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.01.079>.
- Bin Dohaish, E.J.A. 2020. "Vermicomposting of organic waste with *Eisenia foetida* increases the content of exchangeable nutrients in soil". *Pakistan Journal of Biological Sciences*, 23(4): 501–509, ISSN: 1028-8880. <https://doi.org/10.3923/pjbs.2020.501.509>.
- Bowman, K.W., Dale, S.A., Dhanani, S., Nehru, J. & Rabishaw, B.T. 2021. "Environmental degradation of indigenous protected areas of the Amazon as a slow onset event". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 50: 260-271, ISSN: 1877-3435. <https://doi.org/10.1016/j.cosust.2021.04.012>.
- Canales-Gutiérrez, Á., Mestas-Gutiérrez, N.I., & Chambi-Alarcon, M.S. 2021. "Crecimiento y producción de cocones de la *Eisenia foetida* (lombriz roja) en cuatro sustratos". *Revista de Investigaciones Veterinarias del Perú*, 32(5): e19843, ISSN: 1609-9117. <https://doi.org/10.15381/rivep.v32i5.19843>.
- Coban, O., De Deyn, G. B. & Van der Ploeg, M. 2022. "Soil microbiota as game-changers in restoration of degraded lands". *Science*, 375 (6584): abe0725, ISSN: 1095-9203. <https://doi.org/10.1126/science.abe0725>.
- Colín-Navarro, V., Domínguez-Vara, I., Olivares-Pérez, J., Castelán-Ortega, O., García-Martínez, A. & Avilés-Nova, F. 2019. "Propiedades químicas y microbiológicas del estiércol de caprino durante el compostaje y vermicompostaje". *Agrociencia*, 53 (2): 161-173, ISSN: 1405-3195.
- Chilon, E. & Chilon, J. 2016. "Compostaje altoandino, seguridad alimentaria, cambio climático y biorremediación de suelos". *CienciAgro. Journal of Agricultural Science and Technology*, 6(1): 43 – 56, ISSN: 2077-317X.
- Da Costa, D.A., Da Silva, N., Da Costa, A., Lima, C., De Sousa, S., Nascimento, V., Dos Santos, C. & Navarro, M. 2018. "Efecto del compost de residuos orgánicos domiciliarios, vegetales y estiércol en el crecimiento de lechuga". *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2): 464-474, ISSN: 2422-3719. <https://doi.org/10.17584/rcch.2018v12i2.7902>.
- Dada, E.O., Akinola, M.O., Owa, S.O., Dedek, G.A., Aladesida, A.A., Owagboriaye, F.O. & Oludipe, E.O. 2021. "Efficacy of Vermiremediation to Remove Contaminants from Soil". *Journal of Health and Pollution*, 11(29): 1–15, ISSN: 2156-9614. <https://doi.org/10.5696/2156-9614-11.29.210302>.
- Di Rienzo, J.A., Casanoves, F., Balzarini, M.G., González, L., Tablada, M. & Robledo, C.W. 2012. *InfoStat version 2012 [Windows]*. Grupo InfoStat, Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. Available: <http://www.infostat.com.ar>.
- Duncan, D.B. 1955. "Multiple range and multiple F test". *Biometrics*, 11(1): 1-42, ISSN: 0006-341X. <https://doi.org/10.2307/3001478>.
- Durán, L. & Henríquez, C. 2009. "Crecimiento y reproducción de la lombriz roja (*Eisenia foetida*) en cinco sustratos orgánicos. Nota Técnica". *Agronomía Costarricense*, 33 (2): 275-281, ISSN:0377-9424.
- Fernando, K.M.C. & Arunakumara, K.K.I.U. 2021. "Sustainable organic waste management and nutrients replenishment in the soil by vermicompost: A review". *AGRIEAST Journal of Agricultural Sciences*, 15(2): 32-51, ISSN: 1391-5886. <https://doi.org/10.4038/agrieast.v15i2.105>.
- Ferreira, P.A.A., Marchezan, C., Ceretta, C.A., Tarouco, C.P., Lourenzi, C.R., Silva, L.S., Soriani, H.H., Nicoloso, F.T.,

- Cesco, S., Mimmo, T. & Brunetto, G. 2018. "Soil amendment as a strategy for the growth of young vines when replanting vineyards in soils with high copper content". *Plant Physiology and Biochemistry*, 126: 152-162, ISSN: 1873-2690. <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2018.03.003>.
- Font-Palma, C. 2019. "Methods for the treatment of cattle manure—a review". *Journal of Carbon Research*, 5(2): 27, ISSN: 2311-5629. <https://doi.org/10.3390/c5020027>.
- Galindo, L.A. 2018. Estandarización de la técnica de compostaje enriquecido con fósforo como método de reaprovechamiento de los residuos orgánicos de la Plaza del Sur de Tunja. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Tesis en opción al título de Magister en Ciencias Biológicas p. 83.
- Ghorbani, M. & Sabour, M.R. 2021. "Global trends and characteristics of vermicompost research over the past 24 years". *Environmental Science and Pollution Research*, 28: 94–102, ISSN: 1614-7499. <https://doi.org/10.1007/s11356-020-11119-x>.
- González García, J.C. & Godoy Ponce, S.C. 2021. "Evaluación de la adaptación de la lombriz roja «*Eisenia foetida*» a lodos de lixiviación de un relleno sanitario con perspectivas a su utilización en procesos de vermicompostaje". *Conciencia Digital*, 4(3.1): 6–22, ISSN: 2600-5859. <http://dx.doi.org/10.33262/concienciadigital.v4i3.1.1808>.
- Gudeta, K., Bhagat, A., Julka, J. M., Sinha, R., Verma, R., Kumar, A., Kumari, S., Ameen, F., Bhat, S. A., Amarowicz, R. & Sharma, M. 2022. "Vermicompost and Its Derivatives against Phytopathogenic Fungi in the Soil: A Review". *Horticulturae*, 8: 311, ISSN: 2311-7524. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8040311>.
- Gunya, B. & Masika, P.J. 2022. "*Eisenia foetida* worm as an alternative source of protein for poultry: Mini review". *International Journal of Tropical Insect Science*, 42: 1-8, ISSN: 1742-7592. <https://doi.org/10.1007/s42690-021-00531-6>.
- Hernández-Ruiz, J., Isiordia-Lachica, P.C., Elías-González, M., Ruiz-Nieto, J.E., Hernández-Marin, J.A., Rodríguez Hernández, G., Pérez-Zavala, M. & Mireles-Arriaga, A. 2020. Memoria in extenso de sesión de carteles 10 Foro de Agronegocios 2020, División de Ciencias de la Vida. Irapuato, Guanajuato, México.
- Huaccha, A., Fernández, F., Quiroga, S. & Álvarez, B. 2019. "Uso de la *Eisenia hortensis* (lombriz de tierra) en el vermicompostaje de residuos orgánicos". *Revista Científica Pakamuros*, 7(2): 32-40, ISSN: 2306-9805. <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v7i2.91>.
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales-IDEAM. 2020. Subdirección de Meteorología. Available: <http://www.ideam.gov.co/web/atencion-y-participacion-iudadana/publicaciones-ideam>.
- Khatua, C., Sengunpta, S., Balla, V.K., Kundu, B., Chakraborti, A. & Tripathi, S. 2018. "Dynamics of organic matter decomposition during vermicomposting of banana Stem waste using *Eisenia foetida*". *Waste Management*, 79: 287-295, ISSN: 1879-2456. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.07.043>.
- Lammertyn, S., Masín, C. E., Zalazar, C. S. & Fernandez, M. E. 2021. "Biomarkers response and population biological parameters in the earthworm *Eisenia foetida* after short term exposure to atrazine herbicide". *Ecological Indicators*, 121: 107173, ISSN: 1470-160X. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2020.107173>.
- Martins, W.B.R., de Matos Rodrigues, J.I., de Oliveira, V.P., Ribeiro, S.S., dos Santos Barros, W. & Schwartz, G. 2022. "Mining in the Amazon: Importance, impacts, and challenges to restore degraded ecosystems. Are we on the right way?". *Ecological Engineering*, 174: 106468, ISSN: 0925-8574. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2021.106468>.
- Méndez-Matías, A. Robles, C, Ruiz-Vega, J. & Castañeda-Hidalgo, E. 2018. "Compostaje de residuos agroindustriales inoculados con hongos lignocelulósicos y modificación de la relación de C/N". *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 9 (2): 271-280, ISSN: 2007- 0934. <https://doi.org/10.29312/remexca.v9i2.1070>.
- Muñoz-Rojas, M., Delgado-Baquerizo, M. & Lucas-Borja, M.E. 2021. "La biodiversidad y el carbono orgánico del suelo son esenciales para revertir la desertificación". *Ecosistemas*, 30(3): 2238, ISSN: 1697-2473. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2238>.
- Nazeri, R., Esmailzadeh, L., Karimi-Torshizi, M. A., Seidavi, A. & Zangeronimo, M. G. 2021. "Use of earthworm meal with vermi-humus in diet for laying quail". *Pesquisa Agropecuaria Brasileira*, 56: e02453, ISSN: 1678-3921. <https://doi.org/10.1590/S1678-3921.PAB2021.V56.02453>.
- Nguyen, M.K., Lin, C., Hoang, H.G., Sanderson, P., Dang, B.T., Bui, X.T. & Tran, H.T. 2022. "Evaluate the role of biochar during the organic waste composting process: A critical review". *Chemosphere*, 299: 134488, ISSN: 1879-1298. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134488>.
- Palomino, A.Q. & Huisa, V.Q. 2021. "Reutilización y reciclaje de residuos sólidos en economías emergentes en Latinoamérica: una revisión sistemática". *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 5(6): 13184-13202, ISSN: 2707-2215. https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v5i6.1316.
- Palacios Valenzuela, A.B., Granados Olivas, A., Soto Padilla, M.Y. & Flores Tavizón, E. 2021. "Composición mineral de lixiviados (biofertilizante) de lombriz roja californiana". *TECNOCENCIA Chihuahua*, 14(3): 166–182, ISSN: 2683-3360. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v14i3.751>.
- Peralta, A., De Freitas, G., Watthier, M. & Henrique, R. 2019. "Compost, bokashi y microorganismos eficientes: sus beneficios en cultivos sucesivos de brócolis". *IDESIA (Chile)*, 37(2): 59-66, ISSN: 0073-4675. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292019000200059>.
- Riascos-Vallejos, A.R., Reyes-González, J.J. & Aguirre Mendoza, L.A. 2020. "Nutritional characterization of trees from the Amazonian piedmont, Putumayo department, Colombia". *Cuban Journal of Agricultural Science*, 54(2): 257-265, ISSN: 2079-3480.
- Santos, J.M., Ayala H., Franco, F.C. & Castro-Mojica, M. 2021. Evaluación de tres sustratos sobre el desempeño productivo y reproductivo de lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*). *Revista Colombiana de Zootecnia*, 7(12): 18–23, ISSN: 2462-8050.
- Sepúlveda Casadiego, Y.A. & Mosquera, R.A. 2021. Agricultura digital urbana en Colombia: tendencias y desafíos. Alternativas de producción agroecológica urbana-periurbana y su contribución en la seguridad alimentaria de Colombia. Editorial:

- Universidad Nacional abierta y a distancia, Bogotá D.C. <https://doi.org/10.22490/9789586517997>.
- Singh, S., Singh, J., Kandoria, A., Quadar, J., Bhat, S. A., Chowdhary, A. B. & Vig, A. P. 2020. "Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earthworm: A comprehensive review". *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 9(4): 423–439, ISSN: 2251-7715. <https://doi.org/10.30486/ijrowa.2020.1893367.1037>.
- Suárez-Tapia, A., Thomsen I.K., Rasmussen J. & Christensen B.T. 2018. "Residual N effect of long-term applications of cattle slurry using winter wheat as test crop". *Field Crops Research*, 221: 257-264, ISSN: 0378-4290. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2017.10.013>.
- Tiria Forero, L.N., Bonilla Castillo, J. S. & Bonilla Castillo, C.A. 2018. "Transformación de las coberturas vegetales y uso del suelo en la llanura amazónica colombiana: el caso de Puerto Leguizamó, Putumayo (Colombia)". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía*, 27(2): 286–300, ISSN: 2256-5442. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v27n2.70441>.
- Trinidad-Santos, A. & Velasco-Velasco, J. 2016. "Importancia de la materia orgánica en el suelo". *Agro Productividad*, 9(8): 52-58, ISSN: 2594-0252.
- Urquijo-Pineda, M.Á. 2020. "El antropoceno: una revisión crítica desde los márgenes. La Amazonía como última frontera del proyecto económico global". *De Raíz Diversa: Revista Especializada en Estudios Latinoamericanos*, 7(13): 161-192, ISSN: 2448-7988. <http://dx.doi.org/10.22201/ppela.24487988e.2020.13.72351>.
- Velasco-Velasco, J., Ferrera-Cerrato, R., Almaraz-Suárez, J.J. & Parkinson, R. 2016. "Emisión de amoníaco durante los procesos de compostaje y vermicompostaje: Aspectos prácticos y aplicados". *Agro Productividad*, 9(8): 45-51, ISSN: 2594-0252.
- Vuković, A., Velki, M., Ečimović, S., Vuković, R., Štolfa Čamagajevac, I. & Lončarić, Z. 2021. "Vermicomposting — Facts, Benefits and Knowledge Gaps". *Agronomy*, 11(10): 1952, ISSN: 2073-4395. <https://doi.org/10.3390/agronomy11101952>.
- González, F., González, A., González, J. & Deza, C. 2022. "Analysis of the impact on the sewage sludge treatment community by means of wetlands and vermicomposting and the production of fertilizer: systematic review". *Revista Científica Interdisciplinaria Investigación y Saberes*, 12(1): 1–23, ISSN: 1390-8146.
- Yuvaraj, A., Thangaraj, R., Karmegam, N., Ravindran, B., Chang, S.W., Awasthi, M.K. & Kannan, S. 2021. "Activation of biochar through exoenzymes prompted by earthworms for vermibiochar production: A viable resource recovery option for heavy metal contaminated soils and water". *Chemosphere*, 278: 130458, ISSN: 1879-1298. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2021.130458>.

Received: January 12, 2022

Accepted: July 28, 2022