

# CUANTIFICACIÓN EMERGÉTICA AMBIENTAL EN LA PRODUCCIÓN DE LOMBRICOMPOST

## ENVIRONMENTAL EMERGY QUANTIFICATION FOR VERMICOMPOST PRODUCTION

Andrea Zavala-Reyna<sup>1</sup>, A. Laura Bautista-Olivas<sup>2\*</sup>, Juana Alvarado-Ibarra<sup>3</sup>, L. Eduardo Velázquez-Contreras<sup>4</sup>, Derek Peña-León<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Ciencias Químico Biológicas, Universidad de Sonora Boulevard Luis Encinas y Rosales S/N, Colonia Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. <sup>2</sup>Departamento de Agricultura y Ganadería, Universidad de Sonora Carretera Bahía Kino Km 21 CP. 305 Hermosillo, Sonora, México. <sup>3</sup>Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales, Universidad de Sonora Boulevard Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. <sup>4</sup>Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora Boulevard Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro, 83000 Hermosillo, Sonora, México. <sup>5</sup>Programa de Posgrado en Sustentabilidad, Departamento de Ingeniería Industrial, Universidad de Sonora Boulevard Luis Encinas y Rosales S/N, Col. Centro, CP. 83000 Hermosillo, Sonora, México (ana.bautista@guayacan.uson.mx)

### RESUMEN

Los estudios de mercado tradicionales sobre lombricompost incluyen análisis de costo-beneficio sin considerar variables ambientales, por lo que no representan el valor real de los impactos generados en estos procesos. La elaboración de lombricompost puede afectar al medioambiente si durante este proceso se consumen más recursos que los beneficios proporcionados. El objetivo de esta investigación fue determinar la emergía ambiental y el contenido de materia orgánica (MO), fósforo (P) y potasio (K) en la producción de lombricompost excretas bovinas, cunícolas y porcinas. El estudio se realizó en el campus Inconfidentes, Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del Sur de Minas Gerais- Brasil de noviembre 2014 a enero 2015. La hipótesis fue que la lombricompost que utilice mayores recursos provenientes del mercado, tendrá un índice de sostenibilidad menor. Los recursos renovables (R), no renovables (N) y económicos (F) empleados para producir tres lombricompost se contabilizaron y se obtuvieron índices emergéticos: rendimiento en emergía (EYR), carga ambiental (ELR), sostenibilidad (ESI) y el porcentaje de recursos (% R). Diez muestras se tomaron 10 muestras al azar y se determinó su contenido de MO, P y K. Con los resultados se realizó un ANDEVA y después la prueba de medias de Tukey ( $p \leq 0.05$ ). Los índices EYR, ELR, ESI y % R obtenidos fueron: lombricompost bovina 3.16, 0.315, 10.06, 68.444 %; cunícula, 8.69, 0.13, 66.80, 88 %; y porcina 5.02, 0.249, 20.2 y 80 %, respectivamente. La lombricompost

### ABSTRACT

Traditional market research about the vermicompost includes cost-benefit analysis without considering environmental variables. Thus, they do not represent the real value of the impacts generated in these processes. The elaboration of vermicompost may affect the environment if during its production process it consumes more resources than their provided benefits. The aim of this research was to determine the environmental emergy and the contents of organic matter (OM), phosphorus (P) and potassium (K) in vermicompost production from bovine, rabbit and pig manure. This study was performed at the Inconfidentes, Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del Sur de Minas Gerais, Brazil, from November 2014 to January 2015. Our hypothesis was that the vermicompost that uses more market resources will have a lower sustainability index. The renewable (R), non-renewable (N) and economic (F) resources employed to produce three vermicompost were assessed and their energetic indexes were obtained: emergy yield (EYR), environmental charge (ELR), sustainability (ESI) and percentage of resources (% R). In the experimental design, OM, P and K content was determined in 10 samples randomly taken. Results were analyzed with an ANOVA and the Tukey test of means ( $p \leq 0.05$ ). The EYR, ELR and ESI index and % R obtained were: for bovine vermicompost 3.16, 0.315, 10.06 and 68.44 %, for rabbit vermicompost 8.69, 0.13, 66.80 and 88 %, and for swine vermicompost 5.02, 0.249, 20.20 and 80.00 %. The vermicompost produced from rabbit manure was the most long term sustainable process, compared to the others. The average OM, P and K content

\* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2016. Aprobado: septiembre, 2016.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 51: 543-553. 2017.

**cunícola se calificó como el proceso más sostenible a largo plazo con respecto a las demás. El contenido promedio de MO, P y K de la lombricompost cunícola fue 35.14, 0.76 y 1.99 %, respectivamente, y superó a la bovina y porcina.**

**Palabras clave:** indicadores emergéticos, compost bovina, cunícola y porcina, sostenibilidad, síntesis de emergía.

## INTRODUCCIÓN

El proceso de composteo se usa para eliminar o modificar contaminantes, por lo cual su utilización es exitosa para rehabilitar suelos salinos y contaminados con metales (Ansari, 2008; Coutris *et al.*, 2012). Según Sharma y Sharma (1999), la implementación del lombricompostaje para disminuir los residuos orgánicos tiene importancia porque los rellenos sanitarios son insuficientes para confinar los desechos que van en aumento. Sin embargo, los estudios sobre lombricompost solo hacen análisis de costo-beneficio que excluyen variables ambientales, lo que representa un riesgo de mayores daños por desconocer los recursos exigidos a los ecosistemas. Entonces, es necesario incorporar métodos o herramientas que analicen y comparen la sostenibilidad de las diversas formas de producir bienes sobre una base justa y equitativa.

La emergía es una metodología ecológico-termodinámica de valoración ambiental basada en la conversión a unidades comunes de los flujos de energía, masa y dinero usados en un sistema socioecológico (Odum, 1996). Además, esta metodología cuantifica y clasifica todos los recursos renovables (R), no renovables (N) y derivados del mercado (F) que directa o indirectamente requiere un producto. La síntesis de emergía conecta, asocia y visualiza diferentes tipos de energía de una manera sencilla, usando diagramas con los cuales se calculan flujos y se determinan índices (Odum, 1996), mientras que la herramienta de contabilidad emergética da los medios para mantener el balance de la economía, la sociedad y el medioambiente en una sola cuenta de resultados y responde de manera similar al análisis financiero de un negocio o cuentas individuales (Campbell *et al.*, 2005).

Por lo tanto, el uso del análisis en emergía aumenta cada año y se aplica en Brasil, China, y EUA (Bonilla *et al.*, 2010; Xie *et al.*, 2014; Campbell y Lu, 2014). Sin embargo, hay pocos estudios de emergía enfocados a los sistemas productivos agrícolas, por lo

**from the rabbit vermicompost was of 35.14, 0.76 and 1.99 % each, and outperformed the both, the bovine and porcine vermicomposts.**

**Keywords:** emergetic indicators, bovine compost, rabbit compost, pig compost, sustainability, emerging synthesis.

## INTRODUCTION

Composting processes are used to remove or alter contaminants; therefore, its use is successful to rehabilitate saline and contaminated with metals soils (Ansari, 2008; Coutris *et al.*, 2012). According to Sharma and Sharma (1999), the implementation of vermicompost process to reduce organic waste is important because the landfills are insufficient to confine rising debris. However, studies on vermicompost carry out only cost/benefit analysis that excludes environmental variables, which poses a risk of higher damages because of the fact that they ignore the resources required from the ecosystems. Because of that, it is necessary to incorporate methods or tools that analyze and compare the sustainability of the different forms of goods production on a fair and equitable basis.

Emergy is an ecological-thermodynamic method for environmental assessment based on the conversion to common units of the energy, mass, and money flows used in a socio-ecological system (Odum, 1996). In addition, this method quantifies and classifies all renewable (R), non-renewable (N) and market derived (F) resources that directly or indirectly a product requires. Emergy synthesis connects, associates and display different types of energy in a simple way, using diagrams with which fluxes are calculated and indexes are determined (Odum, 1996), while the emergy accounting tool provides the means to keep the balance of the economy, society and the environment into a single account of results which similarly respond like financial business analyses or individual accounts (Campbell *et al.*, 2005).

Therefore, the use of emergy analysis increases every year and is applied in Brazil, China and the US (Bonilla *et al.*, 2010; Campbell and Lu, 2014; Xie *et al.*, 2014). However, there are few emergy studies that focus on agricultural production systems and it is, therefore, important to develop studies to assess the resources required in these production systems.

que es importante desarrollar estudios para contabilizar los recursos exigidos en estos sistemas productivos.

El objetivo de este estudio fue cuantificar la emergencia en la producción de tres lombricompost en desechos orgánicos provenientes de bovinos, cunículas y porcina, mediante la cuantificación de MO, P y K de cada variante. La hipótesis fue que la lombricompost que utilice mayores recursos provenientes del mercado tendrá un índice de sostenibilidad menor.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del Sur de Minas Gerais, campus Inconfidentes, Brasil, ubicado en las coordenadas 19° 52' 18.85" S a 43° 57' 58.49" O, a una altitud de 900 m. El estudio se realizó en tres fases descritas a continuación.

### Fase 1. Producción de lombricomposts

En esta fase se usaron excretas de bovinos, conejos y porcinos, aserrín y hierba fresca (*Axonopus affinis*) en varias combinaciones porque las excretas tienen diferentes contenidos de carbono-nitrógeno y fue necesario uniformizarlos para lograr una relación de 25:1 a 35:1 de acuerdo con las recomendaciones de la FAO (2013). La cantidad de cada componente usado para elaborar la lombricompost se midió con una balanza de laboratorio PCE-HB 2000 (Cuadro 1).

El precomposteo se realizó en una superficie rectangular de 0.7 m de ancho por 1.0 m de largo, y se cubrió con plástico negro. La temperatura del composteo se estabilizó en 30 °C 20 d después de iniciar el proceso. Después, en una muestra de 80 kg de cada variante se inoculó con lombriz *Eisenia foetida* adulta contenida en 3.5 kg y se mantuvo el control de la humedad entre 70 a 80 %, durante 40 d (Morales, 2011).

**Cuadro 1. Contenido en las variantes de masa en peso seco.**  
**Table 1. Dry weight mass content in the variants.**

Variante	Excretas G(kg)	Aserrín (kg)	<i>Axonopus affinis</i> (kg)	Total (kg)
Bovina	92.446	0.495	2.95	95.891
Cunícola	119.833	1.42	2.95	124.203
Porcina	84.382	1.81	2.95	89.142

The objective of this study was to quantify the energy it in the production of three vermicomposts from organic waste from cattle, rabbit, and pork, by quantifying the OM, P and K of each variant. Our hypothesis was that the vermicompost that uses more market resources will have a lower sustainability index.

## MATERIALS AND METHODS

The research was conducted at the Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología de Minas Gerais, campus Inconfidentes, Brazil, located at 19° 52' 18.85" S, 43° 57' 58.49" W, at an altitude of 900 m. The research was carried out in three phases, as described below.

### Phase 1. Vermicompost production

In this phase, cattle, rabbits and pigs manure, sawdust and fresh grass (*Axonopus affinis*) were used in various combinations because manure has different carbon-nitrogen contents and standardizing them was necessary to achieve a 25:1 to 35:1 ratio, according to FAO recommendations (2013). The amount of each component used to make the vermicompost was measured with a PCE-HB 2000 laboratory balance (Table 1).

The pre-composting process was made on a 0.7 m wide by 1.0 m long rectangular surface, and was covered with black plastic. The composting temperature was stabilized at 30 °C 20 days after initiating the process. Later, 80 kg samples from each variant were inoculated with adult *Eisenia foetida* earthworms contained in 3.5 kg and humidity was kept between 70 to 80 %, for 40 d (Morales, 2011).

### Phase 2. Determination of the energy environmental cost due vermicompost production

The energy methodology proposed by Odum (1996) was used in this phase. First, all the resources, goods and services directly or indirectly used in producing vermicompost and their interactions were identified. With this information a diagram of the energy process was carried out.

In the next phase the information was organized in energy tables. Each resource was classified according to R, N, and F nature, and the amount of material used in the elaboration of vermicompost by variant was calculated. The obtained data was converted into energy units using the transformity values on Table 2. The energy from each element was calculated considering a 2-month period duration of the process.

**Fase 2. Determinar del costo ambiental en energía de la producción de las lombricomposts**

En esta fase se usó la metodología emergética propuesta por Odum (1996). Primero se identificaron todos los recursos, bienes y servicios empleados de manera directa o indirecta en la producción de lombricompost y sus interacciones. Con esta información se realizó un diagrama de energía del proceso.

En la fase siguiente se organizó la información en cuadros emergéticos. Cada recurso se clasificó según su naturaleza R, N, y F y se calculó la cantidad de material empleado en la elaboración de lombricompost por variante. Los datos obtenidos se convirtieron en unidades de energía utilizando los valores de transformidad del Cuadro 2. La energía de cada elemento se calculó considerando un periodo de duración del proceso de 2 meses.

La energía por recurso R, N y F de cada lombricompost se dividió entre la cantidad de humus obtenido de cada variante, para cuantificar los resultados por unidad de producción. Con esta información y el uso de las ecuaciones 1, 2, 3 y 4 se calcularon los cuatro indicadores emergéticos descritos aquí.

El rendimiento en energía (EYR) es la energía total usada por unidad de energía invertida. La relación sirve para entender en qué medida una inversión permite a un proceso explotar recursos locales para contribuir a la economía (Odum, 1996) y, según Voora y Thrift (2010), indican que sistemas con un EYR menor a uno son insostenibles. Esta relación se expresa como:

$$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{R + N + F}{F} \quad (1)$$

El índice de carga ambiental (ELR) es la relación entre la suma de las entradas de los recursos de la economía y no renovables con los recursos renovables. El ELR es un indicador de la presión de un proceso de transformación sobre el medio ambiente (Odum, 1996). Según Brown y Ugliati (2004), valores inferiores a 2 indican un impacto bajo sobre el medio ambiente, mientras que valores entre 2 y 10 significan que el sistema causa un impacto moderado y un valor superior a 10 señala que el sistema causará un estrés mayor en el ambiente. La fórmula es:

$$ELR = \frac{(N + F)}{R} \quad (2)$$

El índice de sostenibilidad (ESI) es la relación entre EYR y ELR. Un sistema se considera sustentable al tener un ELR bajo y un elevado EYR (Ugliati y Brown, 1998). Un ESI menor a 1 no

**Cuadro 2. Referencias de transformidad en energía por unidad.**

**Table 2. Transformity references in energy per unit.**

Recurso	Energía por unidad	Unidad
Madera <sup>†</sup>	8.80E+11	seJ kg <sup>-1</sup>
Suelo <sup>‡</sup>	2.21E+04	seJ J <sup>-1</sup>
Acero <sup>§</sup>	2.77E+12	seJ kg <sup>-1</sup>
Arena <sup>¶</sup>	1.68E+12	seJ kg <sup>-1</sup>
Cemento <sup>Ⓢ</sup>	3.04E+15	seJ kg <sup>-1</sup>
Piedra Brita <sup>Ⓢ</sup>	1.68E+12	seJ kg <sup>-1</sup>
Mano de obra <sup>Ⓢ</sup>	4.30E+06	seJ J <sup>-1</sup>
Agua <sup>††</sup>	7.75E+11	seJ m <sup>-3</sup>
Hierba fresca <sup>¶¶</sup>	9.00E+11	seJ kg <sup>-1</sup>
Plástico <sup>§§</sup>	5.87E+12	seJ kg <sup>-1</sup>
Sol <sup>ⓈⓈ</sup>	1.00E+00	seJ J <sup>-1</sup>
Diésel <sup>ⓈⓈ</sup>	6.60E+04	seJ J <sup>-1</sup>
Lombriz <sup>ⓈⓈ</sup>	3.02E+13	seJ kg <sup>-1</sup>

(<sup>†</sup>Brown y Buranakarn, 2003; <sup>‡</sup>Romitelli, 2000; <sup>§</sup>Ugliati *et al.*, 1994; <sup>¶</sup>Pulselli *et. al.*, 2008; <sup>Ⓢ</sup>Silva, 2006; <sup>††</sup>Buenfill, 2001; <sup>¶¶</sup>Brandt-Williamsd, 2001; <sup>§§</sup>Geber y Bjorklund, 2001; <sup>ⓈⓈ</sup>Odum, 1996).

Finally, the energy for R, N and F resources of each vermicompost was divided between the amount of humus retrieved from each variant, to quantify the results per unit of output. With this information and the use of equations 1, 2, 3 and 4 the four energy indicators described below were calculated.

Energy yield ratio (EYR) is the total energy used per energy unit inverted. The relationship is used to understand how much an investment enables a process to exploit local resources to contribute to the economy (Odum, 1996). Voora and Thrift (2010) indicated that the systems with an EYR lower than one are unsustainable. This relationship is expressed as:

$$EYR = \frac{Y}{F} = \frac{R + N + F}{F} \quad (1)$$

The environmental load index (ELR) is the relation between the sums of the inputs of the economy and the non-renewable and the renewable resources. The ELR is an indicator of the pressure of a transformation process on the environment (Odum, 1996). According to Brown and Ugliati (2004) values lower than 2 indicate a low impact on the environment, and values between 2 and 10 represent systems that cause a moderate impact. Values greater than 10 indicate that the system will cause stress in the environment. Its formula is:

es sustentable a largo plazo, entre 1 y 5 es sustentable a mediano plazo, y mayor a 5 es sustentable a largo plazo (Brown y Ulgiati, 2002). La relación entre estos indicadores se expresa como:

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{\frac{Y}{F}}{\frac{N+F}{R}} \quad (3)$$

donde  $Y$ = energía total (seJ meses<sup>-1</sup>);  $F$ =energía de los recursos provenientes del mercado (seJ meses<sup>-1</sup>);  $R$ =energía de los recursos renovables (seJ meses<sup>-1</sup>);  $N$ = energía de los recursos no renovables (seJ meses<sup>-1</sup>).

El porcentaje de recursos (% R) es la relación de energía renovable y el uso total de energía. A largo plazo, solo procesos con un alto %R son sostenibles (Odum, 1996). La fórmula es:

$$R\% = 100 \left( \frac{R}{Y} \right) \quad (4)$$

**Fase 3. Caracterización y comparación del contenido nutrimental del humus**

En el laboratorio de suelos del Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del Sur de Minas Gerais, campus Inconfidentes, se determinó el contenido de MO, P y K en los tres tipos de lombricompost, tomando 10 muestras al azar de cada variante, con base a la metodología NMX-FF-109-SCFI-2007. Los datos se analizaron mediante ANDEVA. Los supuestos de esta técnica se justificaron mediante el teorema del límite central y la homocedasticidad fue cubierta en todos los casos. Los análisis se realizaron con el JMP versión 5. 01. considerando un valor de confiabilidad ( $\alpha=0.05$ ) y la comparación de medias se hizo con la prueba de Tukey ( $p \leq 0.05$ ).

**RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En la Figura 1 se observa la cantidad de humus del proceso de lombricompostaje. La producción de humus bovina, cunícula y porcina fue 50.2, 72.4 y 43.9 kg, respectivamente. Los datos de lombricompost bovina y porcina coinciden con los reportados por Ravera y De Sanzo (2003). La variante de conejo superó la producción de humus a la bovina y porcina en 30.66 y 39.77 %.

$$ELR = \frac{(N + F)}{R} \quad (2)$$

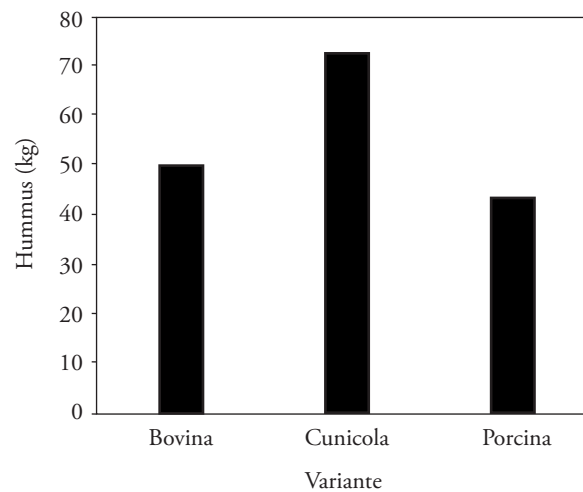
The emery sustainability index (ESI) is the ratio of EYR to ELR. A system is considered to be sustainable when it has a low ELR and a high EYR (Ulgiati and Brown, 1998). An ESI lower than 1 is not sustainable in the long term, between 1 and 5 is sustainable over the medium term, and greater than 5 is sustainable in the long term (Brown and Ulgiati, 2002). The relationship between these indicators is expressed as:

$$ESI = \frac{EYR}{ELR} = \frac{\frac{Y}{F}}{\frac{N + F}{R}} \quad (3)$$

where  $Y$  is total emery (seJ months<sup>-1</sup>),  $F$ : emery from the market resources (seJ months<sup>-1</sup>),  $R$ : emery from the renewable resources (seJ months<sup>-1</sup>),  $N$ : emery from non-renewable resources (seJ months<sup>-1</sup>).

The resources percentage (% R) is the relationship of renewable emery and the total emery use. On the long run, only processes with a high % R are sustainable (Odum, 1996). The formula is:

$$R\% = 100 \left( \frac{R}{Y} \right) \quad (4)$$



**Figura 1. Producción de las tres variantes de lombricompost. Figure 1. Production of three vermicompost variants.**

En la Figura 2 se observa la entrada de todos los recursos necesarios para producir la lombricompost. La salida del sistema se presenta como suelo erosionado, el cual es una pérdida de energía (por entropía). El producto final del sistema es el humus y lombriz.

En el Cuadro 3 se presentan los recursos empleados para construir y operar los lombricompostuarios, la clasificación de los recursos, los valores de energía, las transformidades y la emergía para un periodo de dos meses.

En los tres procesos de elaboración de lombricompost las excretas bovinas, cunícolas y porcinas representan el porcentaje mayor de los recursos renovables usados: 67, 88 y 78 %, respectivamente. De los recursos usados la mano de obra fue 11 % para las excretas bovinas, 5 % para las cunículas y 9 % para las porcinas. Solo en la lombricompost bovina se utilizó diésel (7 %) de los recursos usados, pues fue necesario transportar las excretas al lugar del composteo.

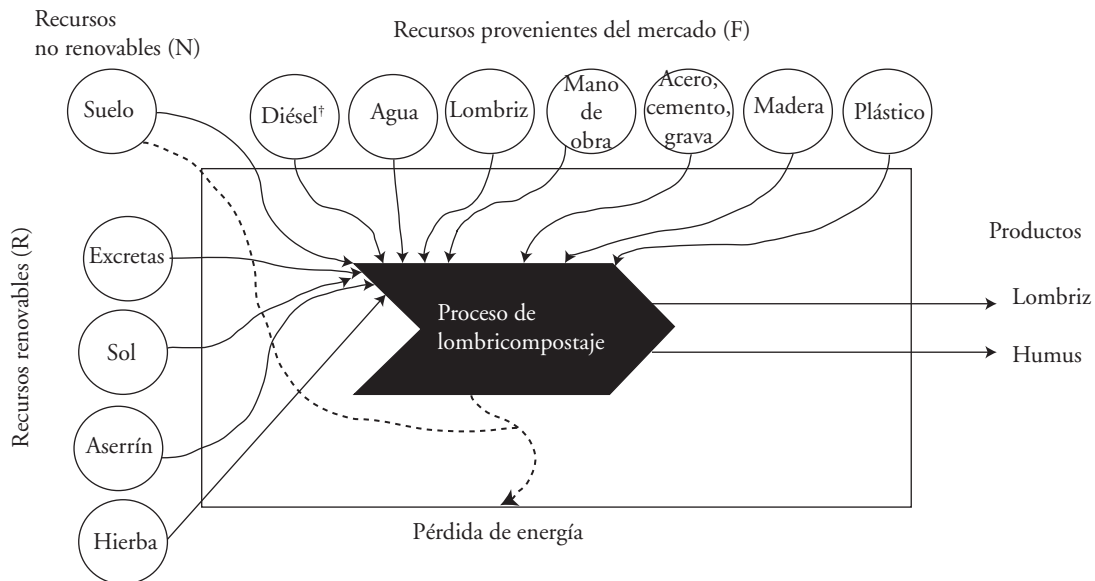
En el Cuadro 4 se presentan la integración de los recursos R, N, F y la emergía total por unidad de producción. La lombricompost bovina tuvo un costo energético menor, aunque se usó el diésel como un recurso del mercado en una proporción mayor respecto a las otras dos variantes.

### Phase 3. Characterization and comparison of the nutrient content in humus

The content of OM, P and K in the three vermicompost types was determined in 10 random samples from each variant, based on the NMX-FF-109-SCFI-2007 methodology. The data was analyzed by ANOVA. The assumptions of this technique were justified by the central limit theorem; homoscedasticity was covered in all cases. Analyses were performed with the JMP version 5.01 with  $\alpha=0.05$ , and the comparison of means was made with the Tukey test ( $p \leq 0.05$ ). Analyses were carried out at the Soils Laboratory from the Instituto Federal de Educación, Ciencia y Tecnología del Sur de Minas Gerais, Inconfidentes campus.

## RESULTS AND DISCUSSION

Figure 1 shows the amount of humus of the vermicomposting process. The production of bovine, rabbit and pig humus production was of 50.2, 72.4, and 43.9 kg. Bovine and porcine vermicompost data coincide with those reported by Ravera and De Sanzo (2003). The rabbit variant surpassed the humus production of to the bovine and porcine by 30.66 and 39.77 %.



**Figura 2. Diagrama de lombricompostaje general (elaboración propia).**

†El diésel se utiliza solo en el proceso de lombricompostaje de la variante bovino.

**Figure 2. General vermicomposting diagram.**

†Diesel was only used in the bovine vermicomposting process.

**Cuadro 3. Cálculo de la emergía en la elaboración de lombricompost con excretas bovina, cunícola y porcina.**  
**Table 3. Calculation of the emergy in the elaboration of vermicompost with bovine, rabbit and pork manure.**

Material	Clase	Unidad	Cantidad	UEV <sup>†</sup> (seJ un-1)	Factor de corrección	Energía (seJ 2 meses-1)					
						Bovina	%	Cunicula	%	Porcina	%
Construcción											
Suelo	N	J	3.00E+05	2.21E+04	1	6.63E+09	0	6.63E+09	0	6.63E+09	0
Acero	F	kg	3.32E-01	6.97E+12	1	2.31E+12	1	2.31E+12	1	2.31E+12	1
Arena	F	kg	5.89E+00	1.68E+12	1	9.90E+12	5	9.90E+12	2	9.90E+12	4
Cemento	F	kg	1.25E+00	3.04E+12	1	3.80E+12	2	3.80E+12	1	3.80E+12	2
Grava	F	kg	3.66E+00	1.00E+12	1	3.66E+12	2	3.66E+12	1	3.66E+12	2
Madera	F	kg	2.33E-01	8.80E+11	1	2.05E+11	0	2.05E+11	0	2.05E+11	0
Mano de obra	F	J	3.90E+05	4.30E+06	1	1.68E+12	1	1.68E+12	0	1.68E+12	1
Operación											
Hierba	R	kg	2.95E+00	9.00E+11	1	2.66E+12	1	2.66E+12	1	2.66E+12	1
Madera (aserrín)	R	kg	4.95E-01	8.80E+11	1	4.36E+11	0	1.24E+12	0	1.59E+12	1
Excretas	R	kg	9.24E+01	1.59E+12	1	1.47E+14	67	3.61E+14	88	1.86E+14	78
Sol	R	J	2.47E+07	1	1	2.47E+07	0	2.47E+07	0	2.47E+07	0
Agua	F	m <sup>3</sup>	1.60E-01	7.75E+11	1	1.24E+11	0	2.95E+11	0	8.29E+10	0
Lombriz	F	kg	2.33E-02	3.01E+13	1	7.01E+11	0	7.01E+11	0	7.01E+11	0
Acero	F	kg	6.20E-01	6.97E+12	1	4.32E+12	2	9.83E+11	0.24	9.83E+11	0
Plástico	F	kg	4.72E-02	5.87E+12	1	2.77E+11	0	2.77E+11	0	2.77E+11	0
Madera	F	kg	2.97E+00	8.80E+11	1	2.61E+12	1	2.61E+12	1	2.61E+12	1
Mano de obra	F	J	5.41E+06	4.30E+06	1	2.33E+13	11	2.11E+13	5	2.11E+13	9
Diésel	F	J	8.76E+07	1.11E+05	1.68	1.63E+13	7				

<sup>†</sup>Valor de unidad emergética ♦ Emergy unit value.

**Cuadro 4. Cuantificación de recursos utilizados en la elaboración de lombricomposts.**

**Table 4. Table 4. Resources quantification of vermicompost production.**

Variante	<sup>†</sup> R (seJ kg <sup>-1</sup> )	<sup>‡</sup> N (seJ kg <sup>-1</sup> )	<sup>§</sup> F (seJ kg <sup>-1</sup> )	<sup>¶</sup> Y (seJ kg <sup>-1</sup> )
Bovina	2.99E+12	1.32E+08	1.38E+12	4.37E+12
Cunícola	5.04E+12	9.16E+07	6.57E+11	5.70E+12
Porcina	4.33E+12	1.51E+08	1.08E+12	5.41E+12

<sup>†</sup>Recursos renovables; <sup>‡</sup>recursos no renovables; <sup>§</sup>recursos del mercado; <sup>¶</sup>emergía ♦  
<sup>†</sup>Renewable resources; <sup>‡</sup>non-renewable resources; <sup>§</sup>market resources; <sup>¶</sup>emergy.

En el Cuadro 5 se observan los indicadores de emergía de las tres lombricomposts. El EYR fue superior en la variante de conejo con un valor de 8.69, seguido de la porcina y la bovina. Gianetti *et. al.* (2011), Gianetti *et. al.* (2016), Bonilla *et. al.* (2010) y Del pozo *et. al.*, (2014) calcularon este mismo indicador en la producción de mango, café orgánico, bambú y plátano en sistema agroforestal, con valores de 1.9, 1.13, 1.36 y 3.16, respectivamente. De

Figure 2 shows the input of all the necessary resources for vermicompost production. The output of the system is presented as eroded soil, which is an energy loss (due to entropy). The final system products are humus and worms.

Table 3 shows the resources used to build and operate vermicomposting sites, the resource classification, energy values, transformities and emergy for a two months period.

**Cuadro 5. Indicadores emergéticos para el proceso de compostaje con excretas bovinas, cunícolas y porcinas.**  
**Table 5. Emergetic indicators for bovine, rabbit and pig manure composting process.**

Indicadores	Bovina	Cunícola	Porcina
EYR <sup>†</sup>	3.169	8.69	5.02
ELR <sup>‡</sup>	0.315	0.130	0.249
ESI <sup>§</sup>	10.06	66.800	20.2
%R <sup>¶</sup>	68.44 %	88.42 %	80 %

<sup>†</sup>Rendimiento en emergencia, <sup>‡</sup>índice de carga ambiental, <sup>§</sup>índice de sostenibilidad; <sup>¶</sup>porcentaje de recursos ♦ <sup>†</sup>Emergy yield; <sup>‡</sup>environmental load index; <sup>§</sup>sustainability index; <sup>¶</sup>resources porcentaje.

acuerdo con Voora y Thrift (2010), la emergía en los tres procesos de compostaje en este estudio son sustentables, pues presentaron valores superiores a uno.

Para el indicador ELR la variante bovina tuvo el índice más alto, 0.315, seguido de la porcina y cunícola (Cuadro 5) pues en el proceso emplea más mano de obra (11%) y se usa diésel para el transporte de las excretas (Cuadro 3). En los tres procesos de compostaje los valores del indicador ELR fueron inferiores a 2 y esto significa un bajo impacto sobre el medioambiente. Estos resultados coinciden con Del pozo *et al.* (2014) y Giannetti *et al.* (2016) quienes reportan 0.46 y 1.4 para este indicador. Pero Bonilla *et al.* (2010) y Gianetti *et al.* (2011) obtuvieron valores de 2.75 y 4.13.

El indicador ESI para la variante cunícola presentó el valor más alto, 66.80, y la bovina mostró el más bajo por usar mano de obra y diésel en mayor proporción. El ESI en los tres procesos fue mayor a 6, lo cual indica que son sostenibles a largo plazo, y coincide con Gianetti *et al.* (2016) reporta 14. Sin embargo, Bonilla *et al.* (2010), Gianetti *et al.* (2011) y Del Pozom *et al.* (2014) muestran valores de 0.050, 1.3 y 0.30.

Respecto a la relación de emergía renovable y el uso total de emergía (% R), la variante cunícola utilizó 88.42 %, seguido de la porcina y la bovina. Esto significa que el proceso de compostaje es sustentable y sostenible, al emplear los recursos renovables en un porcentaje mayor, lo cual está de acuerdo con Odum (1996). Del Pozom *et al.* (2014) y Gianetti *et al.* (2016) reportan valores de 41.9 y 68.33 % para este indicador.

In the three vermicompost elaboration processes, the manure represents the highest percentage of used renewable resources: 67, 88 and 78 % respectively. From the used resources, labor was 11 % for bovine, 5 % for the rabbit and 9 % for the swine manure. Only in the bovine vermicompost diesel was used (7 %), because it was necessary to transport the manure to the composting facilities.

Table 4 presents the integration of R, N, F resources and the total emery per production unit. Bovine vermicompost had the lowest emery cost, although diesel was used as a market resource on a higher proportion with respect to the other two variants.

Table 5 shows the emery indicators of from the three vermicomposts. The EYR was superior in the rabbit variant with a value of 8.69, followed by the porcine and bovine. Gianetti *et al.* (2011), Gianetti *et al.* (2016), Bonilla *et al.* (2010) and Del Pozo *et al.* (2014) calculated this same indicator in mango, organic coffee, bamboo, and banana production in agroforestry systems. These had values of 1.90, 1.13, 1.36, and 3.16, respectively. According to Voora and Thrift (2010), the emery in the three composting processes in this research are sustainable, because they present greater than one emery values.

For the ELR indicator the bovine variant had the highest rate (0.315), followed by the porcine and cunicular (Table 5). This is because more labor is used in the process (11 %) and diesel was used for the transportation of the manure (Table 3). In the three composting processes the ELR indicator values were less than 2, which represent a low impact on the environment. These results are consistent with those from Del Pozom *et al.* (2014) and Giannetti *et al.* (2016) who report 0.46 and 1.4 for this indicator. Nevertheless, Bonilla *et al.* (2010) and Gianetti *et al.* (2011) obtained values of 2.75 and 4.13.

The ESI indicator for the cuniculus variant showed the highest value, 66.80. The bovine variant showed the lowest mainly due to the human labor and diesel. The ESI in the three processes was greater than 6. This indicates that they are sustainable in the long term, and it coincides with the 14 value reported by Gianetti *et al.* (2016). However, Bonilla *et al.* (2010), Gianetti *et al.* (2011) and Del Pozom *et al.* (2014) showed values of 0.05, 1.30 and 0.30.

With regard to the renewable emery and the total emery use relationship (% R), the rabbit manure



Al considerar los índices emergéticos EYR, ELR, ESI y %R en el proceso de elaboración de la lombricompost con excretas bovina, cunícola y porcina, la cunícola fue el proceso más sostenible a largo plazo. Pero las tres variantes son procesos sostenibles a largo plazo y con bajo impacto ambiental.

Estos resultados responden a nuestra hipótesis de que el proceso en el cual se use en mayor cantidad recursos del mercado, tendrá un índice de sostenibilidad menor.

En el Cuadro 6 se muestran los resultados del análisis del contenido de MO, P y K de cada variante con su desviación estándar, así como los resultados de la prueba de Tukey. De acuerdo con los datos, hay una diferencia significativa entre los tres procesos de lombricompostaje. La variante cunícola supera los niveles de contenido de MO, P y K con respecto a la bovina y porcina. En las tres variantes el contenido de MO cumple con los estándares de calidad establecidos en NMX-FF-109-SCFI-2007 que sugiere valores entre 20 y 40, y coincide con lo reportado por Castro *et al.*, (2009).

Duran y Henríquez (2007) indican valores más altos para el P y K en lombricompost de excretas bovinas respecto a los obtenidos en nuestro estudio, lo cual se atribuye al periodo del proceso de lombricompostaje pues los sustratos estuvieron 60 d con las lombrices. Según Garv y Gupta (2010), las diferencias en cambios químicos por acción de las lombrices se aprecian a los 105 d de vermicompostaje. Asimismo Tognetti *et al.* (2005) mostraron que la composición química de la lombricompost depende del tipo de alimento proporcionado a las lombrices y del manejo en el sistema productivo.

variant used 88.42 %, followed by the porcine and bovine manure variants. This indicates that the composting processes are sustainable, by using a higher percentage of renewable resources, which is in accordance with Odum (1996). Del Pozo *et al.* (2014) and Gianetti *et al.* (2016) reported values of 41.9 and 68.33 % for this indicator.

When comparing the EYR, ELR, ESI and %R emergetic indexes in the evaluated vermicompost elaboration process, the rabbit vermicompost was the most long term sustainable process. Yet, the three variants are long term sustainable and with low environmental impact.

These results correspond to our hypothesis, which states that the process in which most market resources are used will have a lower sustainability index.

Table 6 shows the results of the OM, P and K content for each variant and its standard deviation, as well as the Tukey's test results. According to the data, there are significant differences between the three vermicompost processes. The cunicular variant exceeded the OM, P and K contents levels respect to the bovine and porcine vermicompost. In the three variants, the OM content complied with the quality standards set in the NMX-FF-109-SCFI-2007 norm, which suggests values between 20 and 40, and coincided with the results reported by Castro *et al.* (2009).

Duran and Henríquez (2007) indicated higher P and K values in the bovine manure vermicompost respect to those obtained in our study, which is attributed to the time for the vermicomposting process, as the earthworms were 60 d in the substrates. According to Garv and Gupta (2010), the chemical

**Cuadro 6. Contenido de nutrientes en tres variantes de lombricompost.**  
**Table 6. Nutrient content in three vermicompost variants.**

	MO %	P %	K %
Bovina	30.03 +/- 0.82 C	0.225 +/- 0.01 B	0.60+/- 0.12 C
Cunícola	35.14 +/- 0.60 A	0.760 +/- 0.91 A	1.99+/- 0.17 A
Porcina	32.84 +/- 1.02 B	0.247 +/- 0.02 B	1.51+/- 0.12 B

Medias con letra distinta en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); +/- desviación estándar ♦ Means with a different letter in a column are statistically different (Tukey,  $p \leq 0.05$ ); +/--standard deviation.

## CONCLUSIONES

Los indicadores emergéticos muestran que los procesos de elaboración de lombricompost con excretas bovina, cunícula y porcina son sustentables a largo plazo y con bajo impacto ambiental. Además, la lombricompost con excreta cunícula presenta un índice de sostenibilidad mayor, contiene y proporciona más MO, P y K respecto a la lombricompost con excreta bovina y porcina.

La metodología de emergía es recomendable aplicarla en los sistemas productivos agrícolas para contabilizar los recursos requeridos y así optimizar la síntesis emergética, lograr un uso eficiente de los recursos y disminuir su impacto ambiental.

## LITERATURA CITADA

- Ansari, A., A. 2008. Soil profile studies during bioremediation of sodic soils through the application of organic amendments (Vermiwash, Tillage, Green Manure, Mulch, Earthworms and Vermicompost). *World J. Agric. Sci.* 4: 550-553.
- Bonilla S., H., R. Guarnetti L., C. Almeida M., and B. Giannetti F. 2010. Sustainability assessment of a giant bamboo plantation in Brazil: exploring the influence of labour, time and space. *J. Cleaner Product.* 18: 83-91.
- Brandt-Williams, S. 2002. Handbook of emergy evaluation: a compendium of data for emergy computation issued in a series of Folios. Folio# 4. Emergy of Florida Agriculture. 40 p.
- Brown, M., T., and V. Buranakarn. 2003. Emergy indices and ratios for sustainable material cycles and recycle options. *Resources, Conservation and Recycling* 3:1-22.
- Brown, M., T., and S. Ulgiati. 2002. Emergy evaluations and environmental loading of electricity production systems. *J. Cleaner Prod.* 10: 321-334
- Brown, M., T., and S. Ulgiati. 2004. Emergy analysis and environmental accounting. *Encyclopedia Energy* 2: 329-54.
- Buenfill, A., A. 2001. Emergy Evaluation of Water. University of Florida. pp: 248.
- Campbell, D., E., and H. Lu. 2014. Emergy evaluation of formal education in the United States: 1870 to 2011. *Systems* 2: 328-65.
- Campbell, D. E., S. Brandt-Williams, L., and M. Meisch E. 2005. Environmental accounting using emergy: Evaluation of the state of West Virginia, US Environmental Protection Agency, Office of Research and Development, National Health and Environmental Effects Research Laboratory, Atlantic Ecology Division. USA. pp:167.
- Castro, A., C. Henríquez y F. Bertsch. 2009. Capacidad de suministro de N, P y K de cuatro abonos orgánicos. *Agron. Costarricense* 33: 31-43.
- Coutris C., T., T. Hertel-Aas T., E. Lapied E., E. Joner J., and D. Oughton H. 2012. Bioavailability of cobalt and silver nanoparticles to the earthworm *Eisenia fetida*. *Nanotoxicology* 6: 186-95.

differences in the vermicompost composition due to the earthworm's action can be seen at 105 d of the vermicomposting process. Also, Tognetti *et al.* (2005) showed that vermicompost chemical composition depends on the type of food provided to the earthworms and the handling of the production system.

## CONCLUSIONS

The emergetic indicators show that the vermicompost processes with bovine, cunicular and porcine manure are long term sustainable with low environmental impact. In addition, cunicular manure vermicompost presents the highest sustainability index, contains and provides more OM, P and K compared to the bovine and porcine manure vermicompost.

The methodology for emergy determination is recommended for agricultural production systems purposes to assess the required resources and thus optimize their emergy synthesis, achieve efficient use of the resources and reduce its environmental impact.

—End of the English version—

-----\*-----

- Del Pozom P., C. Vallim M., y R. Ortega E. 2014. Emergy analysis as a valuable tool to evaluate the sustainability on two production systems. *Rev. Ciencias Téc. Agropec.* 23:59-63.
- Duran L., y C. Henríquez. 2007. Caracterización química, física y microbiológica de vermicompostes producidos a partir de cinco sustratos orgánicos. *Agron. Costarricense* 31 : 41-51
- FAO. 2013. Manual de Compostaje del Agricultor. Experiencias en América Latina. Santiago de Chile. pp: 112.
- Garv V., K., and R. Gupta. 2010. Potential of *Eisenia fetida* for vermicomposting of garden trimmings spiked with cow dung. *Global Environ. Issues* 10: 293-309
- Geber U., and J. Bjorklund J. 2001. The relationship between ecosystem services and purchased input in Swedish wastewater treatment system - a case study. *Ecolog. Eng.* 18:39-59.
- Gianetti B., Y. Ogura P., S. Bonilla H., and C. Almeida. 2011. Accounting emergy flows to determine the best production model of a coffee plantation. *Energy Policy* 39: 7399-7407.
- Giannetti B., L. Prevez., F. Agostinho, and C. Almeida. 2016. Greening a cuban local mango supply chain: Sustainability options and management strategies. *J. Environ. Account. Manage.* 4: 251-266.

- NMX-FF-109-SCFI-2007. Humus de lombriz (lombricompost) especificaciones y métodos de prueba. pp: 28
- Morales M., R. 2011. Taller de elaboración de lombricompost. Universidad Iberoamericana, Departamento de Ingenierías. México. pp: 12
- Odum H.,T. 1994. *Ecological and General Systems: An Introduction to Systems Ecology*. University Press of Colorado, PO Box 849, Niwot, CO., 80544. pp: 644.
- Odum H.,T. 1996. *Environmental Accounting: Emery and Decision Making*. John Wiley, NY. pp: 370.
- Pulselli R., M., E. Simoncini P., R. Ridolfi R., and S. Bastianoni. 2008. Specific emery of cement and concrete: Na energy-based appraisal of building materials and their transporte. *Ecol. Indic.* 8: 647-56.
- Ravera R., R., and D. Santo E. 2003. *Lombricultura*. Buenos Aires. [www.agroconnection.com/specialites/5054a00281.htm](http://www.agroconnection.com/specialites/5054a00281.htm) 02/02/2016
- Romitelli M.,S. 2000. Emery analysis of the new Bolivian-Brazil gas pipeline (gasbol). *Emery Synthesis*. University of Florida. Gainesville. pp: 53-64.
- Sharma R., C., and S. Sharma. 1999. *Fungal Diseases of Onion and Garlic in India*. *Diseases of Horticultural Crops: Vegetables, Ornamentals, and Mushrooms*. pp:350.
- Silva C.,C. 2006. Estudio de caso de sistemas de tratamiento de efluentes domésticos com o uso de indicadores ambientais. *Universidade Paulista*. Sau Paulo. pp:108.
- Tognetti C., F. Laos., M. Mazzarino, and M. Hernandez. 2005. Composting vs. vermicomposting: A comparison of end product quality. *Compost science utilization*. *Pro Quest Biol. J.* 13: 613.
- Ulgiati S., H. Odum T., and S. Bastianoni. 1994. Emery use, environmental loading and sustainability an emery analysis of Italy. *Ecol. Modell.* 73: 215-268.
- Ulgiati S., and M. Brown T.1998. Monitoring patterns of sustainability in natural and man-made ecosystems. *Ecol. Modell.*108: 23-36.
- Voorra, V., and C. Thrift. 2010. Using emery to value ecosystem goods and services. *Alberta enviroment winnipeg*. Manitoba, Canada 5-39.
- Xie, H., J. Zou H., H. Jiang, N. Zhang, and Y. Choi. 2014. Spatiotemporal pattern and driving forces of arable land-use intensity in China: Toward sustainable land management using emery analysis. *Sustainability* 6: 3504-3520.