



*Optimización de diferentes volúmenes de fluido con riego tecnificado para la obtención de lixiviados de lombricompost a base de estiércol de *Cavia porcellus**

*Optimization of different fluid volumes with technical irrigation to obtain vermicompost leachate based on *Cavia porcellus* manure*

*Otimização de diferentes volumes de fluidos com irrigação técnica para a obtenção de lixiviados de vermicompostos à base de estrume de *Cavia porcellus**

Cristian Santiago Tapia-Ramírez ^I
cristians.tapia@esPOCH.edu.ec
<http://orcid.org/0000-0003-2104-5972>

Daniel Arturo Román-Robalino ^{II}
daniel.roman@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-0440-8746>

Arturo Miguel Cerón-Martínez ^{III}
arturo.ceron@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0003-2104-4590>

Paul Marcelo Tacle-Humanante ^{IV}
ptacle@esPOCH.edu.ec
<https://orcid.org/0000-0002-7850-6146>

Cinthia Paulina Naranjo-Moyano ^V
cinthianaranjo59@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-5719-4040>

Correspondencia: cristians.tapia@esPOCH.edu.ec

Ciencias Técnicas y Aplicadas
Artículo de Investigación

* **Recibido:** 18 de marzo de 2025 * **Aceptado:** 29 de abril de 2025 * **Publicado:** 22 de mayo de 2025

- I. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.
- II. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.
- III. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.
- IV. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo (Espoch), Facultad de Recursos Naturales, Ecuador.
- V. Investigador Independiente, Ecuador.

Resumen

En el Ecuador existe reducida información en el que se haya incorporado métodos de riego tecnificado para evaluar diferentes volúmenes de agua a fin de obtener lixiviados de lombricompost a base de estiércol de cuy a nivel local. El objetivo general de esta investigación fué evaluar los diferentes volúmenes de agua con riego tecnificado para la obtención de lixiviados de lombricompost a base de estiércol de cuy en San Isidro de Columbe. Los objetivos específicos fueron determinar los volúmenes de agua requeridos para la obtención de lixiviados en el proceso de lombricompost. Valorar la calidad nutricional de los lixiviados obtenidos a partir del lombricompost a base de estiércol de cuy y analizar el beneficio costo de lixiviados obtenidos a partir del lombricompost a base de estiércol de cuy. Para lo cual se utilizó el diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), donde se evaluó 3 volúmenes de agua con 3 repeticiones (V1, V2, V3) siendo V1 volumen requerido (volumen 230,4 L- tiempo de riego de 3,29h), V2 volumen requerido más 25% (volumen 288,4 L – tiempo de riego 4,11h) y V3 volumen requerido –25% (volumen 172,8 L – tiempo de riego de 2,46h), el riego se fracciono para los siete días de la semana, y se rego en la mañana y la tarde. Se realizó mediciones experimentales de Temperatura, Humedad, pH al lombricompost. En el laboratorio de suelo de la Facultad de Recursos Naturales se hicieron análisis de materia orgánica, pH, conductividad eléctrica, macro y microelementos del lixiviado. Finalmente, se analizó el beneficio costo de los tratamientos. Se determinó que el volumen de agua para la obtención de lixiviados en el proceso de lombricompost, fué de 230,4 litros para lo cual se aplicó un tiempo de 3,29 h los mismos que fueron fraccionados en siete días con una aplicación de 28 minutos diarios de 14 minutos en la mañana y 14 minutos en la tarde. Él tratamiento más representativo donde se puede presenciar mejor calidad del lixiviado corresponde al Volumen 1, donde se pudo identificar que tanto el N y K son superiores, el pH es neutro por lo cual asegura el desarrollo de la gran mayoría de microorganismos. Se obtuvo una relación Beneficio/Costo de 1,16 por lo que se concluye que los lixiviados de lombricompost a base de estiércol de cuy siendo económicamente rentable.

Palabras clave: lixiviados; lombricompost; estiércol de cuy; riego tecnificado; beneficio costo.

Abstract

In Ecuador, there is limited information on the use of technical irrigation methods to evaluate different water volumes for obtaining leachate from guinea pig manure-based vermicompost at the local level. The general objective of this research was to evaluate the different water volumes required for obtaining leachate from guinea pig manure-based vermicompost using technical irrigation in San Isidro de Columbe. The specific objectives were to determine the water volumes required to obtain leachate in the vermicomposting process, to assess the nutritional quality of the leachate obtained from guinea pig manure-based vermicompost, and to analyze the cost-benefit ratio of the leachate obtained from guinea pig manure-based vermicompost. For which the experimental design of completely randomized blocks (DBCA) was used, where 3 volumes of water were evaluated with 3 repetitions (V1, V2, V3) being V1 required volume (volume 230.4 L - irrigation time of 3.29 h), V2 required volume plus 25% (volume 288.4 L - irrigation time 4.11 h) and V3 required volume -25% (volume 172.8 L - irrigation time of 2.46 h), irrigation was fractioned for the seven days of the week, and watered in the morning and afternoon. Experimental measurements of Temperature, Humidity, pH were made to the vermicompost. In the soil laboratory of the Faculty of Natural Resources, analyses of organic matter, pH, electrical conductivity, macro and microelements of the leachate were carried out. Finally, the cost benefit of the treatments was analyzed. The volume of water used to obtain leachate in the vermicomposting process was determined to be 230.4 liters, for which the application time was 3.29 hours. The water was divided into seven days, with a 28-minute application period of 14 minutes in the morning and 14 minutes in the afternoon. The most representative treatment, where the best leachate quality was observed, corresponds to Volume 1, where both N and K levels were higher, and the pH was neutral, ensuring the growth of the vast majority of microorganisms. A benefit/cost ratio of 1.16 was obtained, leading to the conclusion that leachate from vermicompost based on guinea pig manure is economically viable.

Keywords: leachate; vermicompost; guinea pig manure; technical irrigation; benefit/cost.

Resumo

No Equador, existe pouca informação sobre a incorporação de métodos técnicos de irrigação para avaliar diferentes volumes de água para obter lixiviados de vermicomposto à base de estrume de porquinho-da-índia a nível local. O objetivo geral desta investigação foi avaliar os diferentes

volumen de água com irrigação técnica para obter lixiviados de vermicomposto à base de estrume de porquinho-da-índia em San Isidro de Columbe. Os objetivos específicos foram determinar os volumes de água necessários para a obtenção de lixiviados no processo de vermicompostagem. Avaliar a qualidade nutricional dos lixiviados obtidos a partir de vermicomposto à base de estrume de cobaia e analisar o custo-benefício dos lixiviados obtidos a partir de vermicomposto à base de estrume de cobaia. Para o qual foi utilizado o delineamento em blocos casualizados inteiramente (DBCA), onde foram avaliados 3 volumes de água com 3 repetições (V1, V2, V3) sendo V1 volume necessário (volume 230,4 L - tempo de irrigação de 3,29h), V2 volume necessário mais 25% (volume 288,4 L - tempo de irrigação 4,11h) e V3 volume necessário -25% (volume 172,8 L - tempo de rega de 2,46h), a rega foi dividida em sete dias por semana, e as regas foram realizadas de manhã e à tarde. As medições experimentais de temperatura, humidade e pH foram feitas no vermicomposto. No laboratório de solos da Faculdade de Recursos Naturais foram realizadas análises de matéria orgânica, pH, condutividade elétrica, macro e microelementos do chorume. Por fim, foi analisado o custo-benefício dos tratamentos. Determinou-se que o volume de água necessário para a obtenção do chorume no processo de vermicompostagem foi de 230,4 litros, para o qual foi aplicado um tempo de 3,29 horas, as quais foram divididas em sete dias com aplicação de 28 minutos diários: 14 minutos de manhã e 14 minutos à tarde. O tratamento mais representativo onde se observa a melhor qualidade do chorume corresponde ao Volume 1, onde foi possível identificar que tanto o N como o K são superiores, o pH é neutro, o que garante o desenvolvimento da grande maioria dos microrganismos. Obteve-se uma relação Benefício/Custo de 1,16, concluindo-se que os lixiviados de vermicomposto à base de estrume de porquinho-da-índia são economicamente rentáveis.

Palavras-chave: lixiviados; vermicomposto; estrume de porquinho-da-índia; irrigação técnica; custo benefício.

Introducción

La agricultura con abonos orgánicos brinda a los suelos la capacidad de absorber los distintos elementos nutritivos, así como reducir el uso de insumos químicos y proteger la salud del ser humano y la biodiversidad del suelo. Los abonos orgánicos no solo aumentan las condiciones nutritivas del suelo, sino que también mejoran su condición física (estructura), incrementan la absorción del agua y mantienen la humedad del suelo. Su acción es prolongada, duradera y pueden

ser utilizados con frecuencia sin dejar secuelas en el suelo y genera ahorro económico (Mosquera, 2010).

Los fertilizantes inorgánicos utilizados en la agricultura cambian las propiedades químicas y biológicas del suelo. El uso intensivo de fertilizantes químicos ha resultado en un bajo contenido de materia orgánica, mala calidad y una mayor demanda de agua para el riego de cultivos (Sinha et al., 2009), el uso excesivo de los fertilizantes nitrogenados propicia una lixiviación de nitratos que contaminan los acuíferos (Medina y Cano, 2001; Figueroa et al., 2002), además este tipo de fertilizantes contribuyen en gran porcentaje a las emisiones de los gases de efecto invernadero (FAO, 2004; Gonzáles y Camacho, 2017).

Las provincias de Azuay, Tungurahua, Chimborazo y Cotopaxi son los principales productores de cuyes en el Ecuador, de acuerdo con una proyección realizada por el Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC) y Censo Agropecuario, se determinó que en el 2016 se produjeron al menos 4,9 millones de cuyes en las cuatro provincias (Robalino, 2018), la crianza de cuyes en la Provincia de Chimborazo, Cantón Colta, Parroquia Columbe, comunidad de San Isidro de Columbe, produce en altas cantidades de excremento producidos por estos pequeños animales, los comuneros utilizan este abono sin esperar el tiempo suficiente para que este se descomponga, presentando consecuencias para sus cultivos, ya que al no descomponerse correctamente puede ocasionar el desarrollo de patógenos que causen enfermedades o daños en sus cultivos (Barreros, 2017).

Debido a lo anterior, la presente investigación tiene el propósito determinar los volúmenes de agua requeridos, calidad nutricional y beneficios costo de los lixiviados obtenidos a partir del lombricompost a base de estiércol de cuy, con los que se pueda tomar decisiones previas a su uso de manera extendida en condiciones de campo e invernadero, como una alternativa de producción de abono orgánico de fácil de realizar.

Metodología de la investigación

Diseño de la investigación

Diseño de las camas

Selección de terreno: El área determinada para el desarrollo de la investigación es esencial que esté ubicado, en una zona abierta, protegido de animales, inundaciones, deslizamiento de tierra,

además que se encuentre cercano al sitio de producción de desechos animales (cuy) y de fácil acceso para facilitar el transporte de este.

Adecuación de terreno: Se realizó el aplanamiento de terreno de 2 m de ancho por 26 m de largo, con la finalidad de corregir el desnivel, del área donde se realizará el montaje de la estructura del experimento.

Construcción de la estructura: Se construyó de madera de pino y eucalipto con una extensión de 2.40m x 1.20m x 50 cm de alto, que abarcan las 9 camas, mismas que se encuentran separado del piso a una altura de 20 cm, la cubierta está constituido de plástico con la finalidad de mantener una temperatura estable dentro de las camas.

Adecuación de las camas: Las camas fueron cubiertas en su totalidad con plástico negro resistente, con la finalidad de evitar el escurrimiento de los lixiviados.

Implementación de sistema de riego: Se utilizaron micro aspersores con un diámetro de alcance de 0,80cm, con sus respectivas mangueras, adaptadas a una manguera de 3/4.

Aplicación de estiércol de cuy: Para el experimento se utilizó estiércol de cuy debido a que contiene mayor cantidad de los principales nutrientes para los cultivos como nitrógeno, potasio y fósforo, en comparación con el estiércol de otros animales como vaca, cerdo o caballo.

Implementación de lombrices: Se utilizaron 2kg de lombriz roja californiana por cama, debido a que esta especie aceleran el proceso de degradación de la materia orgánica, transformando residuos en recursos.

Control de parámetros: La utilización de sondas multiparamétricas como peachímetro, medidor de temperatura y humedad permitieron controlar estos parámetros con la finalidad de mantenerlos estables y controlados, con la finalidad de evitar la muerte de las lombrices y mantener las condiciones adecuadas de la materia orgánica.

Recolección y evaluación de lixiviados: Entre otros efectos importantes, este biofertilizante mejora la fertilidad del suelo y consigue excelentes resultados productivos, aumentando la rentabilidad de las actividades agrícolas en todos los cultivos en los que se utiliza, los lixiviados se colectaron en un valde colector mismo que se encuentra, debidamente hermético conectado de manera directa a las 9 camas experimentales.

Diseño experimental

El proyecto de investigación se lo realizo con la utilización del diseño experimental de bloques completamente al azar (DBCA), donde se evaluó 3 volúmenes de agua con 3 repeticiones.

V1 volumen requerido

V2 volumen requerido + 25% de agua

V3 volumen requerido – 25% de agua

Análisis funcional

Análisis de varianza (Anova)

Prueba de Tukey al 5% cuando existió diferencia significativa entre los tratamientos.

Análisis económico Beneficio/ Costo

Determinación del volumen de agua requerido

Para el cálculo del volumen requerido se tomó en cuenta los siguientes aspectos, el caudal unitario del micro aspersor, el número de micro aspersores, área mojada, área de las camas de lombricompost.

En el ensayo se estableció 9 camas, cada una de estas tienen una medida de 1.20 x 2.40 m², en la cual se incorporó estiércol de cuy y lombrices rojas californianas, cada una de estas camas tienen distintos volúmenes de agua. Para determinar los volúmenes de agua requeridos para la obtención de lixiviados en el proceso de lombricompost, se desarrolló la siguiente metodología:

La medición de la altura de la capa de materia orgánica (estiércol cuy) se colocó 8 cm, y la materia orgánica se incorporará cada 7 días.

Para calcular el volumen de agua requerida, se consideró la altura de la capa de materia orgánica.

Cálculo del caudal del microaspersor

$$Q = \frac{V}{T}$$

Para obtener el caudal del microaspersor se tomó cuatro muestras de agua en un envase de un litro, además, para determinar el tiempo de llenado se utilizó el cronómetro de un celular.

Una vez tomada las cuatro muestras se procedió a sumar y dividir para cuatro, y se obtuvo en caudal del microaspersor.

Donde:

Q es el caudal en litros por hora (Lt/h).

V es el volumen de agua en litros (Lt).

T es el tiempo en segundos que dura el riego.

Cálculo del área mojada (A)

El área mojada se calcula utilizando la fórmula:

$$A = \text{ancho} \times \text{largo de la cama}$$

Donde:

A es el área en metros cuadrados (m^2).

lado es la longitud de un lado de la cama de lombricompost en metros (m).

Cálculo del volumen de agua requerido (V)

El volumen de agua requerido se calcula multiplicando el área de la cama por la altura de la capa de materia orgánica en las camas de lombricompost:

$$V = A \times h$$

Donde:

V es el volumen de agua requerido en litros (Lt).

A es el área de la cama de lombricompost en metros cuadrados (m^2).

h es la altura de la materia orgánica a colocar en las camas de lombricompost en metros (m).

Se determinó el tiempo de riego necesario para aplicar el volumen de agua calculado, este tiempo se ajustó según las condiciones específicas de cada tratamiento y las necesidades de humedad del lombricompost.

Se determinó el número de micro aspersores necesarios para aplicar el agua de riego de manera uniforme sobre el lombricompost. Este número se calculó en función del caudal de agua disponible y el área de cobertura requerida.

Mediciones experimentales

En el ensayo del lombricompost, se tomó datos diarios de temperatura ($^{\circ}C$), humedad (%) y pH con la ayuda de un medidor específico de cada propósito.

Se realizó análisis del lixiviado en el laboratorio de suelo en la Facultad de Recursos Naturales – ESPOCH, se determinó el pH, MO, CE, macro y microelementos (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn) y un análisis de la materia orgánica (estiércol cuy) que se determinó los macros y microelementos (N, P, K, Ca, Mg, Fe, Zn, Mn).

Cantidad de producción del lixiviado

Para la producción de lixiviados se midió semanalmente, con la ayuda de un recipiente graduado en mililitros, recolectando la cantidad producida de lixiviados, en baldes plásticos y guardados en un lugar oscuro.

Temperatura (°C), humedad (%) y pH del lombricompost

La temperatura (°C), humedad (%) y pH del lombricompost se tomó datos diariamente con la ayuda de un medidor de calidad de suelo, la cual se realizó todas las mañanas a la misma hora.

pH, MO, CE, macro y microelementos de lixiviados.

Para valorar la calidad nutricional de los lixiviados obtenidos mediante el lombricompost se realizaron análisis de los lixiviados en dos fases:

Etapa 1: involucró la recolección de muestras cuando la cama de lombricompost estaba a la mitad de su capacidad.

Etapa 2: las muestras se tomaron una vez que la cama alcanzó su capacidad total.

Beneficio/costo

Para el análisis de beneficio costo de los lixiviados obtenidos a partir del lombricompost se realizó lo siguiente:

Evaluación de costos directos e indirectos: se realizó una estimación detallada de los costos asociados con la producción de los lixiviados a partir del lombricompost, incluyendo costos directos como mano de obra, insumos y equipos, así como costos indirectos como el uso de instalaciones y servicios.

Cálculo del costo de producción: Se calculó el costo total de producción de los lixiviados, sumando los costos directos e indirectos.

Cálculo de los ingresos: se estimó con base a los ingresos por la venta del lixiviado, en función del volumen a producir, por un área de 1000 m²

Se calculó la relación beneficio-costo para evaluar la viabilidad económica del proceso de producción de los lixiviados.

Resultados y discusión

Volúmenes de agua requeridos para la obtención de lixiviados en el proceso de lombricompost.

Caudal

Con la finalidad de medir el caudal se, tomó cuatro muestras de agua en un envase de un litro, además, para determinar el tiempo de llenado se utilizó el cronómetro de un celular.

T1= 50 (s)

T2= 53 (s)

$$T3 = 52 \text{ (s)}$$

$$T4 = 51 \text{ (s)}$$

$$\text{Suma: } 206 \text{ (s) } /4$$

$$\text{Total: } 51,5 \text{ (s)}$$

$$Q = \frac{V}{T} = \frac{1Lt}{51,5(s)} = 0,0194 \frac{L}{s} \times \frac{3600s}{1h} = 69,84 \frac{Lt}{h}$$

8 cm = 80 mm lamina o altura del estiércol de cuy aplicado cada 7 días

$$1 \text{ mm} = \frac{1Lt}{m^2} \times 2,88 \text{ m}^2$$

$$1 \text{ mm} = 2,88 \text{ Lt}$$

$$80 \text{ mm} = 2,88 \text{ Lt} \times 80 = 230,4 \text{ Lt}$$

Volumen requerido

$$8 \text{ mm} = \frac{V}{A(1,20 \text{ m} \times 2,40 \text{ m})}$$

$$0,08 \text{ m} = \frac{V}{2,88 \text{ m}^2}$$

$$V1 = 230,4 \text{ litros}$$

Volumen requerido + 25%

$$V2 = V1 + 25\% \times V1$$

$$V2 = 230,4 \text{ litros} + 0,25 \times 230,4 \text{ litros}$$

$$V2 = 230,4 \text{ litros} + 57,6 \text{ litros}$$

$$V2 = 288 \text{ litros}$$

Volumen requerido - 25%

$$V3 = V1 - 25\% \times V1$$

$$V3 = 230,4 \text{ litros} - 0,25 \times 230,4 \text{ litros}$$

$$V3 = 230,4 \text{ litros} - 57,6 \text{ litros}$$

$$V3 = 172,8 \text{ litros}$$

Tiempo de riego para cada tratamiento

Tratamiento 1

$$\frac{1h}{x} \frac{70L}{230,4 \text{ Lt}} = \frac{1 \text{ h} \times 230,4 \text{ Lt}}{70 \text{ Lt}} = 3,29h$$

$$T1 = 3,29h$$

Tratamiento 2

$$\frac{1h}{x} \frac{70L}{288 Lt} = \frac{1 h x 288 Lt}{70 Lt} = 4,11 h$$

$$T2 = 4,11 h$$

Tratamiento 3

$$\frac{1h}{x} \frac{70L}{172,8 Lt} = \frac{1 h x 172,8 Lt}{70 Lt} = 2,46 h$$

$$T3 = 2,46 h$$

Calidad nutricional de los lixiviados obtenidos a partir del lombricompost a base de estiércol de cuy

La adecuada disponibilidad de los macronutrientes y micronutrientes son fundamental para el buen desarrollo de los cultivos agrícolas, estos nutrientes son importantes para el crecimiento de la planta, formación de clorofila e incluye en el aprovechamiento del nitrógeno. Se determinó la disponibilidad de nutrientes en dos etapas (intermedia y final) de la experimentación.

Características químicas de los lixiviados obtenidos a partir del lombricompost en base de estiércol de cuy

Se determinó dos etapas para el análisis de las características químicas de los lixiviados obtenidos a partir del lombricompost en base de estiércol de cuy:

Temperatura

Según la Tabla 4-2, en el análisis de la varianza para los promedios de temperatura de la materia orgánica, no se obtuvo diferencias significativas entre los tratamientos, con un coeficiente de variación de 5,19.

Tabla 4-2: Análisis de varianza para promedios de la temperatura durante el ciclo.

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | Sig. |
|--------------|-------|----|------|------|---------|------|
| Repeticiones | 6,57 | 2 | 3,29 | 2,83 | 0,1717 | ns |
| Tratamientos | 4,86 | 2 | 2,43 | 2,09 | 0,239 | ns |
| Error | 4,65 | 4 | 1,16 | | | |
| Total | 16,09 | 8 | | | | |
| CV | 5,19 | | | | | |

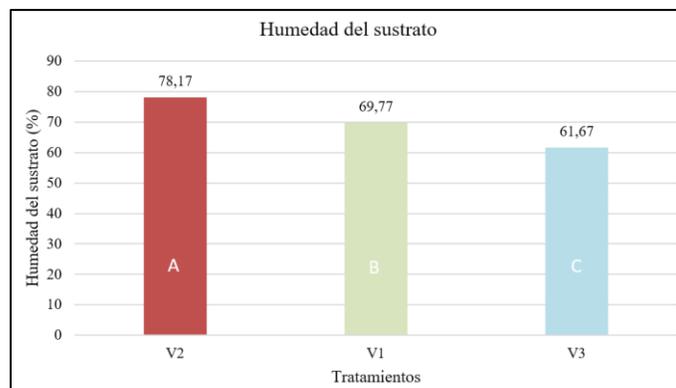
*Nota: p-valor > 0,01 y >0,05 = ns (No significativo); p-valor > 0,01 y < 0,05 = * (Significativo); p-valor <0,01 y < 0,05= ** (Altamente significativo).*

La temperatura de la materia orgánica en las camas fue para el V1 fue 20,31°C para el V2 ,21,83°C y para V3 de 20,24°C.

Según el estudio realizado por Castro, (2022) donde realiza comparaciones para medir la efectividad del lombricompostaje entre tres tratamientos, siendo uno el estiércol de cuy, identificó que la temperatura osciló entre los 16 y 19,5°C, en el estudio realizado por Girón, (2020), cuyo foco de estudio fue identificar la composición mineral del lixiviado generado por la lombriz roja californiana en base a de estiércol de cuy, la temperatura de los módulos de lombricario osciló entre 23 ± 24 °C, dentro del rango óptimo de la lombriz roja californiana. para Ávila, (2010), una temperatura entre 18 a 25 grados centígrados es considerada óptima en un proceso de lombricompost, que conlleva el máximo rendimiento de las lombrices. Cuando la temperatura desciende por debajo de 15° C las lombrices entran en un período de latencia, disminuyendo su actividad. Las temperaturas fuera del rango mencionado reducen en cierta medida la ingesta de alimento y la actividad reproductiva de la lombriz (Cano, 2018).

Humedad del sustrato

En el análisis de la varianza para los promedios de la humedad del sustrato, se obtuvo diferencias significativas entre los tres tratamientos, con un coeficiente de variación de 1,78.



Según la Ilustración 4-3, la prueba de Tukey al 5% para promedios de humedad del sustrato durante el ciclo se observan tres grupos, en el grupo A con una media de 78,17% se ubica el tratamiento

V2, el grupo B con una media de 69,77% se encuentra el tratamiento V1, y en tercer lugar correspondiente al grupo C con 61,67% correspondiente al tratamiento V3.

El mayor contenido de humedad 78,17% corresponde al tratamiento V2, esto no quiere decir que a mayor cantidad de agua ocurre más escurrimiento de nutrientes. Según el estudio realizado por Castro, (2022) donde realiza comparaciones para medir la efectividad del lixiviado entre tres tratamientos, siendo el estiércol de cuy, identificó que la humedad osciló entre los 60% y 77%, lo cual se relaciona con el estudio realizado, Barreno, (2007) menciona que el proceso de compostaje es importante que la humedad alcance unos niveles óptimos del 40-60 %. Si el contenido en humedad es mayor, el agua ocupará todos los poros y por lo tanto el proceso se volvería anaeróbico, es decir, se produciría una putrefacción de la materia orgánica. Si la humedad es excesivamente baja se disminuye la actividad de los microorganismos y el proceso es más lento. La humedad es un factor de mucha importancia que influye en la reproducción. Debe estar entre el 70 y 80%. Una humedad superior al 85 % hace que las lombrices entren en un período de latencia y se afecta la producción de vermicompost y la reproducción. Debajo de 70 % de humedad es una condición desfavorable. Niveles de humedad inferiores al 55 % son mortales para las lombrices (Ávila, 2010).

pH del sustrato

Según la Tabla 4-4, en el análisis de la varianza para los promedios de pH del sustrato, no se obtuvo diferencias significativas (ns) en tratamientos, con un coeficiente de variación de 2,54.

Tabla 4-4: Análisis de varianza para promedios de pH del sustrato durante el ciclo.

| F.V. | SC | gl | CM | F | p-valor | Sig. |
|---------------------|-----------|-----------|-----------|----------|----------------|-------------|
| Repeticiones | 0,05 | 2 | 0,03 | 0,96 | 0,4566 | Ns |
| Tratamientos | 0,19 | 2 | 0,1 | 3,61 | 0,127 | Ns |
| Error | 0,11 | 4 | 0,03 | | | |
| Total | 0,35 | 8 | | | | |
| CV | 2,54 | | | | | |

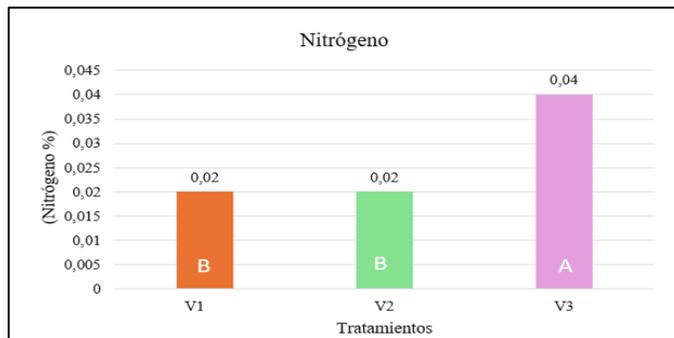
Nota: $p\text{-valor} > 0,01$ y $> 0,05 = ns$ (No significativo); $p\text{-valor} > 0,01$ y $< 0,05 = *$ (Significativo); $p\text{-valor} < 0,01$ y $< 0,05 = **$ (Altamente significativo).

El pH de la materia orgánica se obtuvo para el V1, 6,22 para el V2 ,6,58 y para el V3, 6,39. Según Ávila, (2010), el pH influye en el proceso de lombricompost debido a su acción sobre organismos, la lombriz acepta sustratos con pH de 5 a 8,4, fuera de esta escala, la lombriz entra en una etapa de latencia. (Somarriba, 2004). En el estudio realizado por Murray et al., (2023), enfocado en la

composición química de excremento entero, composta y lixiviado de la cama de cuyes, se pudo identificar que el pH de la materia orgánica osciló entre 6,93 y 7,03, lo cual es similar al estudio realizado. A un pH del inferior a 5.2 (ácidos), los nutrientes como el calcio, magnesio, nitrógeno, fósforo y boro pueden dejar de estar disponibles para las plantas, en suelos muy ácidos, el proceso de mineralización de la materia orgánica se ralentiza e incluso puede detenerse por completo ya que la actividad microbiana disminuye en condiciones de pH bajo.

Nitrógeno (N)

En el análisis de la varianza para los promedios de nitrógeno, no se obtuvo diferencias significativas (ns) entre el primer y tercer tratamiento, pero si se obtuvo diferencias significativas con el segundo tratamiento, con un coeficiente de variación de 8,36.

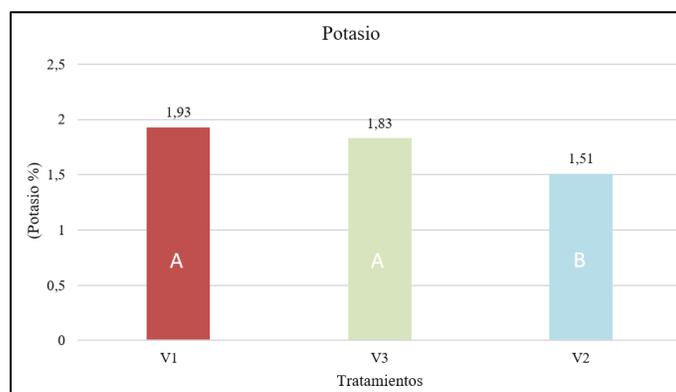


Según la Ilustración 4-4, la prueba de Tukey al 5% para promedios del nitrógeno del lixiviado durante el ciclo se observan dos grupos, en el grupo A con una media de 0,04% se ubica el tratamiento V3, el grupo B con una media de 0,02% corresponden al tratamiento V1 y V2, estos valores son inferiores a los resultados obtenidos por Murray et al., (2023), donde caracterizó la composición química del lixiviado de la cama de cuyes donde obtuvo un porcentaje de 1.84% de nitrógeno correspondiente a lixiviados, lo cual es superior a lo obtenido en los tres tratamientos del presente estudio. Según Vitra, (2020) el nitrógeno forma parte de las proteínas, enzimas y clorofila, por tanto, es esencial en los procesos de síntesis de proteínas y en la fotosíntesis, siendo más concretos entre sus funciones también destaca el aceleramiento de la división celular, y la elongación de las raíces, una planta con carencia de nitrógeno no podrá completar procesos metabólicos indispensables para su desarrollo. Para la FAO (1993), la aportación de elementos

nutritivos en los cultivos crecerá bien y darán buenos rendimientos, el aprovechamiento eficaz de los nutrientes puede duplicar el rendimiento.

Potasio (k)

En el análisis de la varianza para los promedios del potasio, no se obtuvo diferencias significativas (ns) entre el primer y tercer tratamiento, pero si existió diferencia con el segundo tratamiento, con un coeficiente de variación de 2,06.



Según la Ilustración 4-5, la prueba de Tukey al 5% para promedios del potasio durante el ciclo se observan dos grupos, en el grupo A con una media de 1,93% y 1,83%, para el tratamiento V1 y V3 y el grupo B el tratamiento V2 con el 1,51%. En el estudio realizado por Quishpe (2017), para la obtención de compost a partir de estiércol de cuy, el potasio osciló entre los 0,3 y 0,7% de lo cual en el presente estudio se registraron datos superiores a los resultados obtenidos por Quishpe. Según Kaba et al., (2022) el potasio confiere a las plantas la capacidad de mantener el potencial osmótico y la turgencia de las células, y, por lo tanto, este elemento es el mayor osmolito inorgánico que regula la función estomática; por lo que su disponibilidad puede mejorar la resistencia a la sequía y favorecer el intercambio gaseoso en las plantas. Por otro lado, se sabe que el K es un activador de enzimas esenciales para la fotosíntesis y la respiración, así como contribuyente al potencial osmótico de las células, por lo que una deficiencia provoca alteraciones en diversos procesos metabólicos como el transporte y acumulación de compuestos nitrogenados.

Beneficio costo de lixiviados obtenidos a partir del lombricompost a base de estiércol de cuy.

| Tratamientos | Costo de inversión 50m ² | Producción de lixiviado 50m ² (Lt) | Producción de lixiviados 1000 m ² (Lt) | RB/C |
|--------------|-------------------------------------|---|---|---------|
| T1 | \$ 938,50 | 58 | 1160 | \$ 0,99 |
| T2 | \$ 938,50 | 68 | 1360 | \$ 1,16 |
| T3 | \$ 938,50 | 43 | 956 | \$ 0,81 |

En la Tabla 4-7 se muestra el análisis económico de cada repetición o tratamiento, donde la mejor relación beneficio/costo se la obtuvo con el tratamiento T2, con un valor de 1,16. esto quiere decir que, por cada dólar invertido se recupera dicho dólar y se obtiene una ganancia de 16 centavos. Le sigue el tratamiento T1 con un valor de 0,99 cada uno, Contrariamente, los tratamientos T3 correspondientes a las dosis bajas de riego, no son rentables debido a que los costos de producción son igual a los ingresos percibidos por ventas y por ende se presenta una pérdida de dinero.

Conclusiones

El volumen de agua determinado para la obtención de lixiviados en el proceso de lombricompost, fue de 230,4 litros para lo cual se aplicó un tiempo de 3,29 h los mismos que fueron fraccionados en siete días con una aplicación de 28 minutos diarios de 14 minutos en la mañana y 14 minutos en la tarde.

El método más representativo donde se puede presenciar mejor calidad del lixiviado corresponde al Tratamiento 1, donde se pudo identificar que tanto el N y K son superiores, el pH es neutro por lo cual asegura el desarrollo de la gran mayoría de microorganismos.

Se obtuvo una relación Beneficio/Costo de 1,16 por lo que se concluye que los lixiviados de lombricompost a base de estiércol de cuy es económicamente rentable.

Recomendaciones

Se recomienda utilizar el riego tecnificado en 230,4 litros ya que el agua se distribuye de forma homogénea y esto es favorable para las lombrices.

Se recomienda utilizar con otro tipo de estiércol para alcanzar los niveles óptimos de macro y micronutrientes en los lixiviados.

Continuar investigaciones de este tipo para promover una agricultura sostenible.

Referencias

1. ACERO, C. Propuesta de tratamientos alternativos para residuos orgánico en el relleno sanitario carapacho, del municipio de Chiquinquirá–Boyacá. [En línea]. 2021. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucundinamarca.edu.co/handle/20.500.12558/4191>
2. ÁVILA, B. Desarrollado en el tema de transferencia de la técnica de manejo y producción a base de pulpa de café, con pequeños caficultores de la Aldea Los Coles, San Pedro Necta, Huehuetenango. [En línea]. 2010. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <http://www.repositorio.usac.edu.gt/7145/>
3. CASTILLO, A. Producción de tres variedades de pepino (*cucumis sativus* L.) con la aplicación de lixiviados en el cantón La Maná. Tesis de Licenciatura. Ecuador: La Maná: Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC). [En línea]. 2023. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/11467>
4. CÉSPEDES LEÓN, C. Manejo de la fertilidad del suelo. Boletín INIA, XXX, 21-32. Ministerio de Agricultura, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Chillán, Chile. 2010. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/quilamapu/boletines/NR37206.pdf>
5. ESTRADA, A. Efecto de diferentes abonos orgánicos en el rendimiento del cultivo de orégano (*origanum vulgare*) en el distrito de San Luis, Carlos Fermín Fitzcarrald, Ancash, [En línea]. 2019. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.unasam.edu.pe/handle/UNASAM/4476>
6. FACULTAD DE ECONOMIA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE ADMINISTRACION DE MEXICO. Estudio técnico. [En línea]. 2012. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <http://www.economia.unam.mx/secss/docs/tesisfe/GomezAM/cap2a.pdf>
7. FIGUEROA, V; FLORES O; & PALOMO, M. Uso de biosólidos en suelos agrícolas. Folleto Técnico 3. Campo Experimental Valle de Juárez-Centro de Investigación Regional Norte Centro-Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Chihuahua, México. 2002.

8. GARCÍA, M. Rentabilidad y rendimiento agronómico de lechuga acuapónica. Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. [En línea]. 2021, [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <http://cienciasagricolas.inifap.gob.mx/index.php/agricolas/article/view/2942>
9. HIDALGO, B. Aplicación de la técnica didáctica y uso de un manual de Horticultura, desde una visión cristiana y humanista para mejorar el aprendizaje de los estudiantes del Centro de Educación Técnico-Productiva-Recuay, [En línea]. 2019.
10. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.ucss.edu.pe/handle/20.500.14095/887>
11. 9. HORTICULTURA. Leonardita la lucha contra la mineralización del suelo. [En línea]. 2007 [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/biblioteca/revistas/pdf_Hort%2FHort_1990_62_124_126.pdf
12. 10. INIFAB. Manuales prácticos para la elaboración de bioinsumos. [En línea]. 2021. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/737316/15_Lixiviado_de_lombriz.pdf
13. 11. JHORAR, B. Kinetics of composting rice straw with glue waste at different C/N ratios in a semiarid environment. Arid Soil Rest. [En línea]. 1991. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/15324989109381289>
14. 12. LITTERICK, A; HARRIER, L; WALLACE, P; WATSON, C; & WOOD, M. The role of uncomposted materials, composts, manures, and compost extracts in reducing pest and disease incidence and severity in sustainable temperate agricultural and horticultural crop production A Review. Critical Reviews in Plant Sciences. 2004 23(6):453-479.
15. 13. LÓPEZ, J. Efecto de las diferentes dosis de humus líquido sobre el crecimiento y desarrollo de posturas de café (coffea aràbica. L.) En un vivero temporal de esta especie Autores e infomación del artículo. [En línea]. 2017. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.eumed.net/rev/caribe/2017/05/vivero-cafe-cuba.zip>
16. 14. LUNA, L. Producción de abonos orgánicos de buena calidad. Corpoica, Produmedios, Bogotá, pp. 6 – 25, [En línea]. 2007. [Consulta: 10 noviembre 2023].

17. 15. MACNEIL, C. Desmitificación del análisis de costo-beneficio: 5 pasos para tomar mejores decisiones. 2022. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://jaimedv.com/eco/4c1-cba/gines-de-rus--cost-benefit-analysis--book.pdf>
18. 16. MANCILLA, D. Rendimiento y valor nutricional de Azolla filiculoides fertilizada con estiércol de cuy en Arbieto, Cochabamba. Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales, vol. 9, no 2, p. 7-14. [En línea]. 2022, [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S2409-16182022000200007&script=sci_arttext
19. 17. MÁRQUEZ, C. Uso del Valor actual Neto, tasa Interna de retorno y relación Beneficio-coste en la evaluación financiera Revista de la Facultad de Ciencias Veterinarias, 56(1), 052-057. [En línea]. 2015. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/3731/373140822008.pdf>
20. 18. MEDINA, M. C. & P. CANO R. Contaminación por nitratos en agua, suelo y cultivos de la Comarca Lagunera. Rev. Chapingo Ser. Zonas Áridas. 2001. 2: 9-14.
21. 19. SOMARRIBA, R. Análisis de la influencia de la cachaza de caña y estiércol bovino como sustrato de la lombriz roja californiana para producción de humus. [En línea]. 2004. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/775/1/tnf04s693.pdf>
22. 20. TORRES CX. Manual agropecuario: Tecnologías orgánicas de la granja integral autosuficiente Tomo II. Disponible en: Fundación Hogares Juveniles Campesinos, Bogotá, pp. 481 – 502. 2002.
23. 21. VELÁSQUE, M. Evaluación del rendimiento de producción de biogás comparando el estiércol de vacuno, de cuy y residuos de leguminosas en un biodigestor anaerobio en la UAP-Arequipa [En línea]. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: 2017. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/8269>
24. 22. VILLALBA, C. Gestión y costos de producción: Balances y perspectivas. Revista de Ciencias Sociales. [En línea]. 2021. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7817700>
25. 23. WANDER, M. Soil Organic Matter Fractions and Their Relevance to Soil Function. Soil Organic Matter in Sustainable Agriculture. 3:67-102. [En línea]. 2004.

- [Consulta: 25 febrero 2024].
<https://revistas.unheval.edu.pe/index.php/reina/article/view/1381/1424>
26. 24. MINASNY, B; MCBRATNEY, A; BROUGH. D; & JACQUIER, D. Models relating soil pH measurements in water and calcium chloride that incorporate electrolyte concentration, *European Journal of Soil Science*, vol. 62, n.o 5, págs. 728-732, oct. [En línea]. 2011. [Consulta: 25 febrero 2024].
<https://bsssjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/j.1365-2389.2011.01386.x>
27. 25. RIVERA, P. Dinámica de hierro y zinc aplicados en soluciones ácidas a suelos calcáreos. *Terra latinoamericana*, 2003, vol. 21, no 3, p. 341-350.[Consulta: 25 febrero 2024].
<https://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.redalyc.org/pdf/573/57321305.pdf>
28. 26. BORIS ARIEL, B. Desarrollado en el tema de transferencia de la técnica de manejo y producción a base de pulpa de café, con pequeños caficultores de la Aldea Los Coles, San Pedro Necta, Huehuetenango. 2010. Tesis Doctoral. Universidad de San Carlos de Guatemala.
29. 27. SOMARRIBA, R.; GUZMÁN, F. Guía de lombricultura. Universidad Nacional Agraria. Managua, Nicaragua. 2004.
30. 28. GIRÓN, N; & LÓPEZ HURTADO, M. Selección de tecnologías LPWAN para la implementación de un sistema aplicado a la lombricultura. 2020. Memorias.
<https://bit.ly/3xqUfIR>

© 2025 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0) (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).