



Efectividad de la larva *Hermetia illucens* como organismo bioconversor de excretas humanas en condiciones de laboratorio

Effectiveness of the larvae *Hermetia illucens* as bioconversor organism of human excretas under laboratory conditions

Verónica Isela Vera-Marmanillo^{1,*}; Daniel Enrique Rado Arenas²; Renzo Rodrigo Quiñones Loaiza³; Adriana Jiménez Morvelí³

¹ Universidad Andina del Cusco, Urb. Ingeniería Larapa Grande A-7, Cusco, Perú.

² Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental – OEFA. Dirección Supervisión Ambiental en Infraestructura y Servicios. MINAM, Perú.

³ Círculo de investigaciones ambientales por la Sostenibilidad, Escuela profesional de Ingeniería Ambiental, Universidad Andina del Cusco (CIAS-UAC), Cusco, Perú.

*Autor corresponsal: veronika.vera@unsaac.edu.pe (V. I. Vera-Marmanillo).

ID ORCID de los autores

V. I. Vera-Marmanillo:  <https://orcid.org/0000-0002-2777-2874>

R. R. Quiñones Loaiza  <https://orcid.org/0000-0003-4133-5088>

D. E. Rado Arenas:  <https://orcid.org/0000-0002-1864-8724>

A. Jiménez Morvelí  <https://orcid.org/0000-0002-5670-7588>

RESUMEN

El objetivo fue determinar la efectividad de la larva de *Hermetia illucens* como organismo bioconversor de excretas humanas, en pro de un sistema de saneamiento básico en zonas rurales carentes de éste. El método por inducción de posturas en sustrato para oclusión y desarrollo larval, la primera muestra 181,2 g de biomasa (1010 larvas) para el primer tratamiento en un sustrato de 4,5 kg de materia fecal y 364,2 g de biomasa (1908 larvas) para el segundo tratamiento en un sustrato de 4,9 kg de materia fecal. Monitoreo de parámetros fisicoquímicos de NPK, pH, EC, T y HR y biológicos (*Blastocystis hominis* y huevos de helmintos). Los resultados evidenciaron una reducción de MO (4,5 kg a 1,5 kg muestra 1) y (4.942 kg a 1,1 kg muestra 2) reduciendo olores y eliminando protozoarios. La efectividad mineralizadora de *Hermetia illucens* evidenciada en la electroconductividad (1536 μ S/cm inicial y 5487 μ S/cm final) para la muestra 1, (2463 μ S/cm inicial y 4825 μ S/cm final) para la muestra 2. En el análisis por fluorescencia de rayos X, se obtuvo, N: 4,4%, P: 1,9% K: 2,5% para la muestra 1 tratada y N: 4,9%, P: 2,9% K: 2,5% para la muestra 2 tratada. Se evaluó la disminución de agentes microbiológicos por SEM, sin quistes de protozoarios descritos por análisis microbiológico (*Blastocystis hominis*) y disminución del volumen de las excretas.

Palabras clave: *Hermetia illucens*; bioconversión; saneamiento; letrinas secas; NPK.

ABSTRACT

The objective was to determine the effectiveness of the larva of *Hermetia illucens* as a bioconverting organism of human excreta, in favor of a basic sanitation system in rural areas lacking it. The method by induction of postures in substrate for occlusion and larval development, the first sample 181.2 g of biomass (1010 larvae) for the first treatment in a substrate of 4.5 kg of fecal matter and 364.2 g of biomass (1908 larvae) for the second treatment in a substrate of 4.9 kg of fecal matter. Monitoring of physicochemical parameters of NPK, pH, EC, T and HR and biological (*Blastocystis hominis* and helminth eggs). The results showed a reduction of MO (4.5 kg to 1.5 kg sample 1) and (4,942 kg to 1.1 kg sample 2) reducing odors and eliminating protozoa. The mineralizing effectiveness of *Hermetia illucens* evidenced in the electroconductivity (1536 μ S/cm initial and 5487 μ S/cm final) for sample 1, (2463 μ S/cm initial and 4825 μ S/cm final) for sample 2. In the analysis by X-ray fluorescence, N: 4.4%, P: 1.9% K: 2.5% was obtained for sample 1 treated and N: 4.9%, P: 2.9% K: 2.5% for sample 2 treated. The decrease in microbiological agents was evaluated by SEM, without protozoan cysts described by microbiological analysis (*Blastocystis hominis*) and decrease in the volume of excreta.

Keywords: *Hermetia illucens*; bioconversion; sanitation; dry latrines; NPK.

Recibido: 21-04-2023.

Aceptado: 02-06-2023.



Esta obra está publicada bajo la licencia [CC BY 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

INTRODUCCIÓN

El saneamiento básico en zonas rurales, sigue constituyendo un serio problema social y ambiental; y de por sí, el acceso al agua de consumo humano de calidad para nuestros ciudadanos en este ámbito es limitado; y falta de infraestructura para el acopio de efluentes residuales o para la eliminación de excretas o su tratamiento de manera adecuada, el gobierno central promueve este tipo de proyectos para implementar las unidades básicas de saneamiento; sin embargo no se ve reflejada la intervención en el ámbito rural o es muy lenta (López, 2020). Los habitantes de zonas rurales, debido a la falta de letrinas, o la adecuada eliminación de sus excretas, las disponen en hoyos y las cubren con tierra o los acopian en xilos con implementación deficiente y no llegan a ser tratados, (Solano, 2010), convirtiéndose en focos infecciosos que repercuten en la calidad de vida de los pobladores y representando un factor de riesgo que linda con la salud pública. Así mismo, son un potencial punto neurálgico de contaminación ambiental y la gran proliferación de cientos de vectores (Sepúlveda, 2013). En ese sentido el trabajo de investigación pretende dar una alternativa de solución a este problema, insertando procesos biológicos en el tratamiento de material orgánico humano (excretas); y que, a través de la utilización de agentes consumidores, desintegradores y transformadores de la materia orgánica, se pueda controlar el problema que atañe a la salud de las personas y consecuente estado de conservación ambiental. *Hermetia illucens* es un díptero que tiene como hábitos alimenticios en su etapa larval, el consumo de la materia orgánica, transformándola en material compostable libre de patógenos, teniendo la probabilidad de ser utilizado como abono orgánico. No existe evidencia, que se haya implementado esta metodología en excretas humanas, poniendo a consideración experimental, procesos sistemáticos que nos permitan lograr el objetivo y dar una alternativa de solución a tan álgido problema en el ámbito rural. El proyecto de investigación tiene relevancia técnica, científica y teórica, porque proporcionará información sobre la utilidad que proporcionan algunos organismos vivos como es la especie

Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) en estadio larval; debido a que, los adultos viven, se aparean y ponen sus huevos en grietas y hendiduras cerca del hábitat de las larvas y pueden alimentarse de estiércol, carne en descomposición o frutas y vegetales, entre otros (Solano, 2010). Este insecto favorece en la disminución de la *Escherichia coli* en estiércol o excretas y las larvas pueden digerir los residuos sólidos resultantes de la producción agrícola de banano, palma de aceite y café de acuerdo con la bibliografía (Caruso, 2014). Es importante conocer el ciclo de vida de esta especie, más aún porque en su estado larval requiere de algún tipo de sustrato para alimentarse (Abduh, 2022) destacando que la hembra puede depositar un promedio de 600 huevos, los cuales pasan por un período de incubación de 3 a 4 días; con lo cual las larvas alcanzan el estado de pupa en 14 días aproximadamente a 30 °C de temperatura, lo que permite que se alimenten de algunos productos antes mencionados (Oliveira, 2014). Por otra parte, la demanda en los últimos años, pese al esfuerzo de los diferentes niveles de gobierno e instituciones privadas, por brindar un adecuado sistema de saneamiento (eliminación adecuada de excretas humanas) en las zonas rurales, es un problema arduo tanto para la salud de las personas como para el ambiente, debido a que la eliminación de excretas es dispuesta directamente sobre el componente suelo y/o en letrinas secas, con la consiguiente incorporación de patógenos al precitado componente, pudiendo afectar incluso agua subterránea (Kim, 2020). Así surge la idea de implementar acciones de control y erradicación de patógenos en las excretas humanas que son dispuestas directamente sobre el componente suelo; para lo cual, se emplearía este organismo beneficioso desde el punto de vista ambiental y social; debido a que, en su estadio larval, bajo condiciones de laboratorio, pueda degradar estas excretas, con la finalidad de mejorar su manejo y repercuta en la calidad de vida de los pobladores en el ámbito rural, con la consiguiente eliminación de los patógenos; y obteniendo a su vez un producto capaz de ser incorporado en las áreas de cultivo de estos pobladores.

METODOLOGÍA

Técnicas de análisis de datos

El análisis microbiológico en los diferentes sustratos antes y después del tratamiento fue realizado en un laboratorio microbiológico para evidenciar la carga patogénica de las excretas humanas a tratar y consecuente resultado luego del tratamiento sometido con *Hermetia illucens*.

La caracterización espectroscópica se aplicó a fin de evidenciar la presencia de elementos químicos en el sustrato después del tratamiento, para establecer la interpretación de la conductividad eléctrica. Para la técnica de Fluorescencia de Rayos X, se usó el espectrómetro de energía dispersiva marca BRUKER modelo XFlash 6160 y Microscopía electrónica de barrido SEM.

Balance de masa adecuación de materia prima

Debido al contenido de humedad en las deyecciones humanas a trabajar (Entre 70% y 80%), se requiere acondicionar el sustrato para alcanzar una humedad del 90% (en promedio). Hanwen Guo (2020) y otros autores en su estudio estipulan que la relación ideal para la adición del material a tratar es de 4:1, por lo que se establece la siguiente relación para hallar la cantidad de materia fecal que se requiere con respecto a los desechos a disponer en este estudio:

$$x = 9,4 \text{ kg residuos} / 4 = 2,25 \text{ kg}$$

Se establece el siguiente balance de masa para conocer el valor del sustrato:

$$M_1 + M_2 = MTpd \quad (1)$$

$$MT_1 = 4,5 \text{ kg}/25d$$

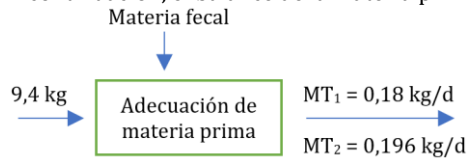
$$MT_1 = 0,18 \text{ kg/d} \quad (2)$$

$$M_1 + M_2 = MT_{pd}$$

$$MT_2 = 4,9 \text{ kg}/25\text{d}$$

$$MT_2 = 0,196 \text{ kg/d}$$

A continuación, el balance de la materia prima:



Balace de materia en el bioconversor

Dortmans & Diener (2017) tienen como referente a 10 mil larvas para 15 kg de sustrato en un larvero de 40x60x17 cm con un volumen de 40,8 L. Por otro lado, Hanwen Guo utilizan 14 mil larvas para 25 kg de sustrato en larveros de 30x26x17 cm que equivale a 13,26 L. El primero usa 666 larvas por kg de sustrato y otro usa 560 larvas por kg de sustrato, respectivamente, se decide usar como fuente de referencia a Hanwen Guo ya que, aunque la diferencia no es muy alta, este autor requiere menos larvas por kg de sustrato. Se establece un peso aproximado de 0,19 g y 0,23 g por larva, en edades de 3-4 días. Por ello fue necesario calcular el número de larvas necesarias para disponer de los 0,18 kg/d para la muestra 1 y 0,196 kg/día para la muestra 2 en los bioconversores y su peso promedio.

$$1 \text{ kg} \text{ ---- } 560 \text{ larvas}^*$$

M1:

$$4,5 \text{ kg} \text{ ---- } 1010 \text{ larvas (entre } 0,19\text{g} - 0,23\text{g)}$$

$$\text{total de biomasa} = 181,2 \text{ g}$$

M2:

$$4,9 \text{ kg} \text{ ---- } 1908 \text{ larvas (entre } 0,19\text{g} - 0,23\text{g)}$$

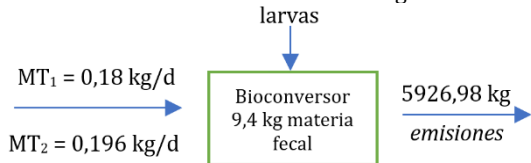
$$\text{total de biomasa} = 362,4 \text{ g}$$

En este proceso existe una salida de emisiones por las reacciones de descomposición que suceden en el bioconversor. Las emisiones compuestas por carbono, nitrógeno y metano (Dortmans & Diener, 2017) se calculó un promedio de emisiones para la cantidad de sustrato a trabajar:

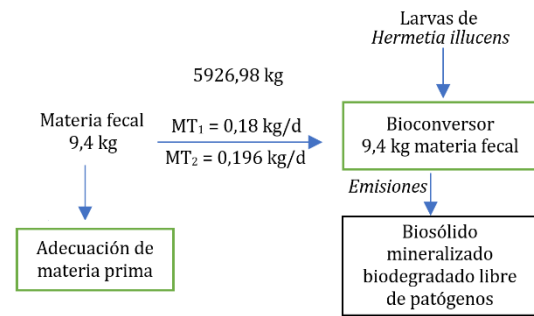
$$1250 \text{ kg sustrato} \text{ ---- } 630,53 \text{ kg emisiones}^*$$

$$9,4 \text{ kg sustrato} \text{ ---- } 5926,98 \text{ kg emisiones}$$

A continuación este balance en forma gráfica:



A continuación, se muestra el balance en el procesamiento de excretas humanas por bioconversión:



Análisis estadístico

Se utilizó el programa SPSS para establecer la confiabilidad del instrumento para el monitoreo y evaluación de los parámetros que denotan el grado de mineralización aplicando el proceso de biodegradación a través del organismo mediador, de acuerdo con la primera muestra donde se utilizó 181,2 g de biomasa, el factor de reconversión de la materia orgánica otorgó un valor de 0,709 de confiabilidad al proceso (Alfa de Cronbach) (Tabla 1).

Tabla 1
Análisis de fiabilidad (Muestra 1) – Alfa de Cronbach

Estadísticas de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizado	N° de elementos
0,709	0,969	6

Se hizo lo mismo para el monitoreo y evaluación de los parámetros que denotan el grado de mineralización aplicando el proceso de biodegradación a través del organismo mediador, de acuerdo con la segunda muestra donde se utilizó 362,4 g de biomasa, el factor de reconversión de la materia orgánica otorgó un valor de 0,724 de confiabilidad al proceso (Alfa de Cronbach) (Tabla 2).

Tabla 2
Análisis de fiabilidad (Muestra 2) – Alfa de Cronbach

Estadísticas de fiabilidad		
Alfa de Cronbach	Alfa de Cronbach basada en elementos estandarizado	N° de elementos
0,724	0,945	6

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el desarrollo de la investigación se utilizó como agente de prueba a la especie *Hermetia illucens*, para observar las respuestas fisiológicas que presentan estos organismos en el proceso de biodegradación y transformación de excretas humanas en condiciones de laboratorio.

Para la muestra 1 se dispuso 181,2 g de biomasa inicial en 4,5 kg de sustrato inicial de tratamiento, el mismo que fue incrementado paulatinamente, llegando a un peso final de 1,5 kg en los 25 días de tratamiento a fin de evaluar el balance másico

diferencial de las excretas humanas sometidas a tratamiento y el rendimiento del proceso (Tabla 3).

Tabla 3
Datos generales (Muestra 1)

Propiedad	Dato
Peso inicial de biomasa	181,2 g
Peso inicial de sustrato	4,5 kg
Peso final de sustrato tratado	1,5 kg
Días de tratamiento	25
Fase biológica	larva-prepupa

La Tabla 4 muestra el seguimiento sistemático de los parámetros en los 25 días de evaluación, estableciendo un incremento importante del potasio (K) y la electroconductividad (EC) hecho que traduce en el aumento de minerales en el sustrato producto de la biodegradación de la materia fecal. En la Figura 1 se muestra la evolución de los principales parámetros.

La evolución del Nitrógeno (N) mineralizado desde la implementación del tratamiento en la muestra 1, evidenció un incremento sustancial a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El valor del Nitrógeno (N) en la materia fecal de la muestra 1 antes del proceso de biodegradación fue de 263 mg y finalizado los 25 días fue de 407 mg, con una biomasa de 181,2 g teniendo una línea de tendencia creciente. El Fósforo (P) mineralizado desde la implementación del tratamiento en la muestra 1, evidenció un incremento sustancial a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El valor del Fósforo (P) en la materia fecal de la muestra 1 antes del proceso de biodegradación fue de 337 mg y finalizado los 25 días fue de 590 mg, con una biomasa de 181,2 g teniendo una línea de tendencia creciente. Esto evidenció un gran factor de mineralización del sustrato.

muestra 1 antes del proceso de biodegradación fue de 337 mg y finalizado los 25 días fue de 590 mg, con una biomasa de 181,2 g teniendo una línea de tendencia creciente. El Potasio (K) mineralizado desde la implementación del tratamiento en la muestra 1, evidenció un incremento sustancial a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El valor del Potasio (K) en la materia fecal de la muestra 1 antes del proceso de biodegradación fue de 804 mg y finalizado los 25 días fue de 1315 mg, con una biomasa de 181,2 g con una tendencia creciente. La Electroconductividad (EC) desde la implementación del tratamiento en la muestra 1, evidenció un incremento sustancial a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El valor de la Electroconductividad (EC) en la materia fecal de la muestra 1 antes del proceso de biodegradación fue de 1536 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y finalizado los 25 días fue de 5487 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una biomasa de 181,2 g teniendo una línea de tendencia creciente. Esto evidenció un gran factor de mineralización del sustrato.

Tabla 4

Bitácora de monitoreo biológico- Heces humanas – Muestra 1

Parámetro	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
N (mg kg^{-1})	263	129	235	400	370	383	472	407
P (mg kg^{-1})	337	176	418	464	478	565	603	590
K (mg kg^{-1})	804	538	1028	1338	1201	1174	1472	1315
pH	7,1	6,8	6,8	7,8	7,9	7,3	7,5	7,4
T ($^{\circ}\text{C}$)	24,7	24,9	24,6	23,1	27,2	24,5	27,9	26,6
Humedad (HR%)	65,7	32,5	68,5	60	98,5	94	92,6	92
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1536	1930	4773	5724	5125	5675	6863	5487

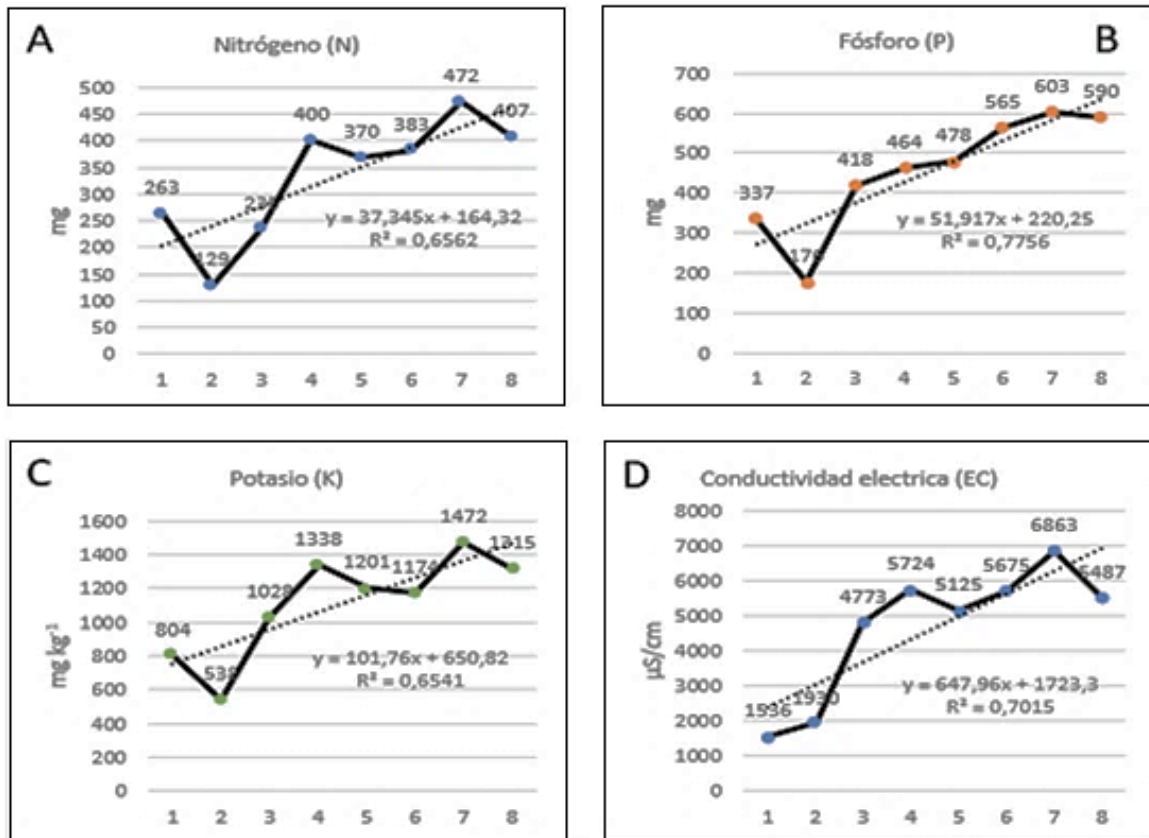


Figura 1. Coeficientes de correlación entre concentración y días de tratamiento del Nitrógeno (A), Fósforo (B), Potasio (C) y Conductividad Eléctrica (D) de la muestra 1.

El pH desde la implementación del tratamiento en la muestra 1, se mantiene estable a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El pH en la materia fecal de la muestra 1 antes del proceso de biodegradación fue de 7,1 y finalizado los 25 días fue de 7,4 con una biomasa de 181,2 g sin marcar una tendencia de incremento o decremento. La Temperatura (T) desde la implementación del tratamiento en la muestra 1, se mantiene estable a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. La T en la materia fecal de la muestra 1 antes del proceso de biodegradación fue de 24,7 °C y finalizado los 25 días fue de 26,6 °C con una biomasa de 181,2 g sin marcar una tendencia de incremento o decremento. Se trató de mantener esta temperatura estable, a fin de garantizar que el potencial biótico de la larva de *Hermetia illucens* no viera afectada su actividad y que la temperatura no represente un factor de resistencia ambiental. La Humedad Relativa (HR) expresada en porcentaje, se vio incrementada de manera inducida, procurando mantener altos niveles de humedad para que las larvas pudieran verse favorecidas por el factor y desarrollen su potencial biótico. La Humedad Relativa (HR) de la materia fecal al momento de la implementación del proceso fue de 65,7%, transcurridos los 25 días de evaluación terminó con una HR de 92% a fin de garantizar la idoneidad del medio, para una biomasa de 181,2 g.

Tabla 5
Datos generales (Muestra 2)

Propiedad	Dato
Peso inicial de biomasa	362,4 g
Peso inicial de sustrato	4,942 kg
Peso final de sustrato tratado	1,1 kg
Días de tratamiento	25
Fase biológica	larva - prepupa

Para la muestra 2 se dispuso 362,4 g de biomasa inicial en 4,942 kg de sustrato inicial de tratamiento, el mismo que fue incrementado paulatinamente, llegando a un peso final de 1,1 kg en los 25 días de tratamiento a fin de evaluar el balance másico diferencial de las excretas humanas sometidas a tratamiento y el rendimiento del proceso.

En la Tabla 6 muestra el seguimiento sistemático de los parámetros en los 25 días de evaluación, estableciendo un incremento importante del Nitrógeno (N) Fósforo (P) potasio (K) y la electroconductividad (EC) hecho que traduce en el aumento de minerales en el sustrato producto de la biodegradación de la materia fecal, a mayor número de individuos (biomasa) mejores resultados.

La evolución del Nitrógeno (N) mineralizado desde la implementación del tratamiento en la muestra 2, evidenció un incremento sustancial a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El valor del Nitrógeno (N) en la materia fecal de la muestra 2 antes del proceso de biodegradación fue de 128 mg y finalizado los 25 días fue de 407 mg, con una biomasa de 362,4 g teniendo una línea de tendencia creciente. El Fósforo (P) mineralizado desde la implementación del tratamiento en la muestra 2, evidenció un incremento sustancial a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El valor del Fósforo (P) en la materia fecal de la muestra 2 antes del proceso de biodegradación fue de 258mg y finalizado los 25 días fue de 590 mg, con una biomasa de 362,4 g teniendo una línea de tendencia creciente. El Potasio (K) mineralizado desde la implementación del tratamiento en la muestra 2, evidenció un incremento sustancial a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El valor del Potasio (K) en la materia fecal de la muestra 2 antes del proceso de biodegradación fue de 603 mg y finalizado los 25 días fue de 796 mg, teniendo picos de 1103 mg, con una biomasa de 362,4 g teniendo una línea de tendencia creciente.

La Electroconductividad (EC) desde la implementación del tratamiento en la muestra 2, evidenció un incremento sustancial a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El valor de la Electroconductividad (EC) en la materia fecal de la muestra 2 antes del proceso de biodegradación fue de 2463 $\mu\text{S}/\text{cm}$ y finalizado los 25 días fue de 4825 $\mu\text{S}/\text{cm}$, con una biomasa de 362,4 gr teniendo una línea de tendencia creciente. Esto evidenció un gran factor de mineralización del sustrato.

La evolución pH desde la implementación del tratamiento en la muestra 2, se mantiene estable a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. El pH en la materia fecal de la muestra 2 antes del proceso de biodegradación fue de 6,5 y finalizado los 25 días fue de 6,9 con una biomasa de 362,4 g sin marcar una tendencia de incremento o decremento. La Temperatura (T) desde la implementación del tratamiento en la muestra 2, se mantiene estable a medida que el proceso de biodegradación de la materia fecal fue ocurriendo. La T en la materia fecal de la muestra 2 antes del proceso de biodegradación fue de 21,3 °C y finalizado los 25 días fue de 22,4 °C con una biomasa de 362,4 g sin marcar una tendencia de incremento o decremento.

Tabla 6
Bitácora de monitoreo biológico- Heces humanas – Muestra 2

Parámetros	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º	9º	10º	11º
N (mg kg^{-1})	128	210	256	311	289	383	472	407	407	407	407
P (mg kg^{-1})	258	225	357	415	406	565	603	590	590	590	590
K (mg kg^{-1})	603	720	805	689	657	874	960	805	1103	985	796
Ph	6,5	6,3	7,1	6,9	6,5	7,1	6,9	6,7	7,2	6,8	6,9
T(°C)	21,3	20,4	21,6	21,9	22,4	20,4	22,1	20,9	21,6	21,8	22,4
Humedad (HR%)	65,1	68,8	71,8	74,1	88,9	87,6	79,1	81,6	88,7	78,9	84,5
Conductividad eléctrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	2463	3640	2986	3049	4289	4698	5096	5136	4982	5041	4825

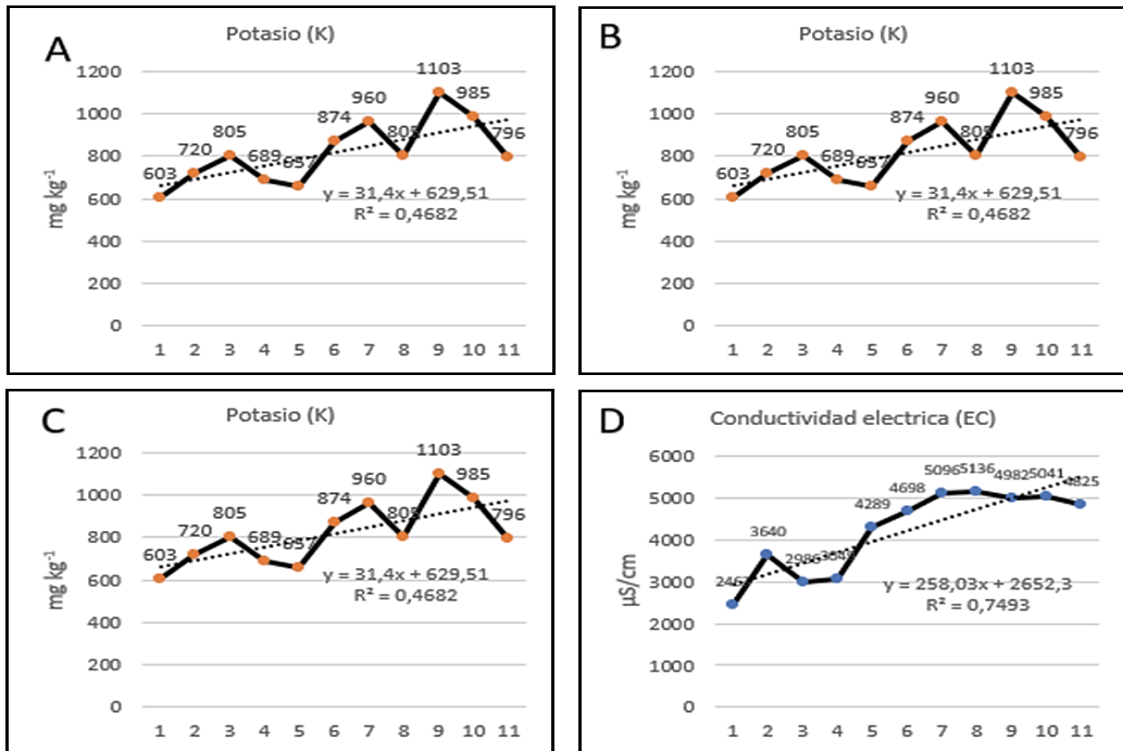


Figura 2. Coeficientes de correlación entre concentración y días de tratamiento del Nitrógeno (A), Fósforo (B), Potasio (C) y Conductividad Eléctrica (D) de la muestra 2.

Se mantuvo la temperatura estable a fin de garantizar que el potencial biótico de la larva no se viera afectada y que la temperatura no represente un factor de resistencia ambiental. La Humedad Relativa (%HR) se vio incrementada de manera inducida, procurando mantener altos niveles de humedad para que las larvas pudieran verse favorecidas por el factor y desarrollen su potencial biótico. La HR de la materia fecal al momento de la implementación del proceso fue 65,1%, transcurridos los 25 días de evaluación terminó con de 84,5%

a fin de garantizar la idoneidad del medio, para una biomasa de 362,4 g.

En el análisis SEM (Microscopia electrónica de barrido) a una escala de 20 µm y EHT de 20,00 kV a una magnificancia de 524 X no se observaron presencia de quistes de protozoarios (*Blastocystis hominis*) ni huevos de helmintos. A una escala de 20 µm y EHT de 20,00 kV a una magnificancia de 1,02 K X no se observaron presencia de quistes de protozoarios (*Blastocystis hominis*) ni huevos de helmintos.

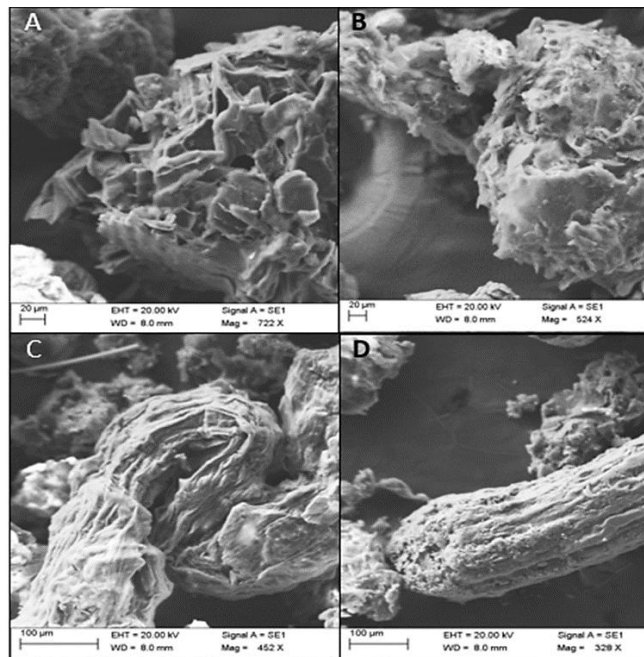


Figura 3. Imágenes SEM: Análisis de presencia de *Blastocystis hominis* o huevos de helmintos. (A) muestra 1, 20 µm. EHT: 20,00 kV. Magnificancia: 722 X. (B) muestra 1, 20 µm. EHT: 20,00 kV. Magnificancia: 524 X. (C) muestra 2, 100 µm. EHT: 20,00 kV. Magnificancia: 452 X. (D) muestra 2, 100 µm. EHT: 20,00 kV. Magnificancia: 328 X.

CONCLUSIONES

Se determinó la efectividad de la larva de *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) como organismo degradador de excretas humanas bajo condiciones de laboratorio, habiendo logrado la mineralización del sustrato orgánico y consecuente biodegradación, reduciendo la materia orgánica significativamente, de 4,5 kg para la muestra 1 a 1,5 kg aplicando una biomasa de 181,2 g y para la muestra 2 de 4,942 kg a 1,1 kg aplicando una biomasa de 362,4 g, mitigando olores y eliminando los protozoarios presentes en la muestra a tratar durante 25 días de monitoreo sistemático, no habiendo encontrado marcada diferencia entre ambos tratamientos en cuanto a la reducción de sustrato para los parámetros establecidos. En el análisis espectroscópico porcentual por Fluorescencia de rayos X, se observó un 4,4% de Nitrógeno, 1,9% de Fósforo y 2,5% de Potasio para la muestra 1 tratada y 4,9% de Nitrógeno, 2,9% de Fósforo y 2,5% de Potasio para la muestra 2 tratada, lo que representa un alto nivel de mineralización.

Se evaluaron las condiciones ambientales idóneas para el crecimiento larval de *Hermetia illucens* como organismo degradador de excretas humanas bajo condiciones de laboratorio, logrando un estándar de HR del 92%, una temperatura de 25,4 °C donde las larvas alcanzaron su potencial metabólico.

Se describieron sistemáticamente los parámetros fisicoquímicos de pH, NPK, EC, T y HR de las excretas humanas antes del tratamiento con *Hermetia illucens* como organismo degradador de excretas humanas bajo condiciones de laboratorio

como parámetros de instalación siendo éstos para la muestra 1: pH-7.1, Nitrógeno (N): 263 mg, Fósforo (P): 337 mg, Potasio (K): 804 mg, EC: 1536 µS/cm, T: 24,7 °C y HR: 65,7%. Para la muestra 2: pH-6.5, Nitrógeno (N): 128 mg, Fósforo (P): 258 mg, Potasio (K): 603 mg, EC: 2463 µS/cm, T: 21,3 °C y HR: 65,1%, denotando características propias de las deyecciones humanas.

Se describieron los parámetros fisicoquímicos de pH, NPK, T, HR y EC de las excretas humanas después del tratamiento con *Hermetia illucens* como organismo degradador de excretas humanas bajo condiciones de laboratorio, siendo éstos para la muestra 1: pH-7.4, Nitrógeno (N): 407 mg, Fósforo (P): 590 mg, Potasio (K): 1315 mg, EC: 5487 µS/cm, T: 26,6 °C y HR: 92%. Para la muestra 2: pH-6.9 Nitrógeno (N): 407 mg, Fósforo (P): 590 mg, Potasio (K): 796 mg, EC: 4825 µS/cm, T: 22,4 °C y HR: 84,5%, evidenciando una plena mineralización después del tratamiento.

Se identificaron los agentes microbiológicos patógenos de las excretas humanas antes del tratamiento con *Hermetia illucens* como organismo degradador de excretas humanas bajo condiciones de laboratorio, siendo el encontrado *Blastocystis hominis*.

Se evaluó la disminución de agentes microbiológicos patógenos de las excretas humanas después del tratamiento con *Hermetia illucens* como organismo degradador de excretas humanas bajo condiciones de laboratorio a través de SEM, no encontrando ningún quiste de protozoarios descritos antes del tratamiento, concluyendo en una desinfección absoluta durante el tratamiento.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Andina del Cusco por medio de la DGI por fomentar la investigación a través de fondos concursables, resultado del trabajo de

investigación realizado y aprobado mediante Resolución N°534-CU-2021-UAC.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abduh, M. Y., Perdana, M. P., Bara, M. A., Anggraeni, L. W., & Putra, R. E. (2022). Effects of aeration rate and feed on growth, productivity and nutrient composition of black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) larvae. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 25(2). doi: 10.1016/j.aspen.2022.101902
- Buitrago Vargas, A. T., & Camargo Díaz, M. V. (2022) Diseño del proceso de producción de harina de mosca soldado-negra (*Hermetia Illucens*) alimentadas con pulpa de café. Trabajo de grado, Fundación Universidad de América.
- Cheng, J. et al. (2017). Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management*, 67, 315-323. doi: 10.1016/j.wasman.2017.05.046
- Cho, S., Kim, CH., Kim, MJ. et al. Effects of microplastics and salinity on food waste processing by black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *J ecology environ* 44, 7. <https://doi.org/10.1186/s41610-020-0148-x>
- Cardona, E., Estrada-Otálora, Y. (2022). Bioconversión de residuos orgánicos, con larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), una estrategia para el desarrollo sostenible. *Revista Synergia latina*, 1, 12-19.
- Caruso, D., Devic, E., Subamia, I. W., Talamond, P., & Baras, E. (2013). Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, Stratiomyidae. 1st ed, Bogor. Indonesia. 144 pp. ISBN: 978-979-493-610-8
- De Smet, J., Wynants, E., Cos, P., & Van Campenhout, L. (2018). Microbial community dynamics during rearing of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) and impact on exploitation potential. *Applied and Environmental Microbiology*, 84(9). <https://doi.org/10.1128/AEM.02722-17>
- Del Hierro, A. G., Anrango, M. J., Ortiz, D., & Sánchez, L. (2021). Inglés Captura y crianza de la Mosca Soldado Negra (*Hermetia Illucens*) para la biodegradación de desechos orgánicos en Puerto Quito, Ecuador. *Revista Ecuatoriana de Ciencias*, 5(3), 341. <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.164>
- Dortmans, S., Diener, B., Verstappen, B., & Zurbrügg, C. (2017). *Procesamiento de bioresiduos de mosca soldado negro: Una guía paso a paso* Dubendorf, Suiza. Eawag, Sandec. 87 pp.
- Gobbi, P., Martínez-Sánchez, A., & Rojo, S. (2013). Los efectos de la dieta de las larvas en los rasgos de la historia de vida de los adultos de la mosca soldado-negra, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *EUR. J. Entomol.*, 110(3), 461-468. DOI: 10.14411/eje.2013.061
- Gold, M., Cassar, C. M., Zurbrügg, C., Kreuzer, M., Boulos, S., Diener, S., & Mathys, A. (2020). Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, 102, 319-329. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>
- Guo, H., Jiang, C., Zhang, Z., Lu, W., & Wang, H. (2021). Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*)

- L.). *The Science of the total environment*, 750, 141656. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.141656>
- Jeon, H., Park, S., Choi, J. et al. (2021) La comunidad bacteriana intestinal en las larvas reductoras de desperdicio de alimentos de *Hermetia illucens*. *Curr Microbiol*, 62, 1390-1399. <https://doi.org/10.1007/s00284-011-9874-8>
- Kim, C., et al (2021). Use of Black Soldier Fly Larvae for Food Waste Treatment and Energy Production in Asian Countries: A Review. *Processes*, 9(1), 161. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/pr9010161>
- León, L., & Pacheco, H. (2010). Manual de capacitación a familias, cuidado, uso y mantenimiento de nuestras letrinas o baños. OPS/OMS 1ra. Ed. 22pp.
- Lópes, I. G. (2020). Tratamento dos resíduos da aquicultura. Compostagem e uso da mosca soldado negro. São Paulo: UNESP. <http://hdl.handle.net/11449/191840>
- Moon, R. D., Mullen, G., & Durden, L. (2009). Medical and veterinary entomology. 3ra. Ed, 794pp (182). United States.
- Muñoz, V., & Frade, C. (2005). *Blastocystis hominis*: PARÁSITO ENIGMÁTICO. *Cuadernos Hospital de Clínicas*, 50(1), 78-87.
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D. W., Burtle, G., & Dove, R. (2005). Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. Animal and Poultry Waste Management Center, North Carolina State University, Raleigh, NC, 18.
- Oliveira, FR, Doelle, K., List, R., & O'reilly, J. (2015). Evaluación de Diptera: Stratiomyidae, género *Hermetia illucens* (L., 1758) mediante microscopía electrónica. *Revista de estudios de entomología y zoología*, 3, 147-152.
- Reátegui, J., Barriga, X., Obando, A., Moscoso, G., Manrique, P., & Salazar, I. (2020). Harina de larva de *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) como ingrediente proteico de reemplazo parcial de harina de soja en la alimentación de Cavia porcellus (Cuy): efecto en el consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia. *Scientia Agropecuaria*, 11(4), 513-519. <https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.06>
- Sepúlveda, L., & Alvarado, J. (2013). Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de Aburrá. Oficina Asesora de Comunicaciones del Área Metropolitana del Valle de Aburrá. Medellín, Colombia.
- Tomberlin, J., & Sheppard, D. (2022). Factors Influencing Mating and Oviposition of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) in a Colony. *Journal of Entomological Science* 1, 37(4), 345-352. doi: <https://doi.org/10.18474/0749-8004-37.4.345>
- Wang, Y. S., & Shelomi, M. (2017). Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food. *Food (Basel, Switzerland)*, 6(10), 91. <https://doi.org/10.3390/foods6100091>
- Zhang, J., Li J., Tomerlin, J., Xiao-peng Xiao, Kashif ur, Cai, Long-yu Zheng, & Yu, Z. (2021) Black soldier fly: A new vista for livestock and poultry manure management. *Journal of Integrative Agriculture*, 20(5), 1167-1179, [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(20\)63423-2](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(20)63423-2).