

# Captura y cría de la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) para la biodegradación de desechos orgánicos en Puerto Quito, Ecuador



## Capturing and rearing the Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) for organic waste biodegradation in Puerto Quito, Ecuador

Del Hierro, Ana G.; Anrango, María José; Ortiz, Daniel; Sánchez, Lucía

Ana G. Del Hierro

ana.delhierro@biodiversidad.gob.ec

Instituto Nacional de Biodiversidad, Ecuador

María José Anrango

manrango@tecnologicosucre.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Sucre e Instituto

Nacional de Biodiversidad, Ecuador

Daniel Ortiz

dortiz@tecnologicosucre.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Sucre e Instituto

Nacional de Biodiversidad, Ecuador

Lucía Sánchez

luciasanchez@tecnologicosucre.edu.ec

Instituto Superior Tecnológico Sucre, Ecuador

### Ecuadorian Science Journal

GDEON, Ecuador

ISSN-e: 2602-8077

Periodicidad: Semestral

vol. 5, núm. Esp.3, 2021

esj@gdeon.org

Recepción: 30 Septiembre 2021

Aprobación: 31 Octubre 2021

URL: <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/606/6062738027/index.html>

DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.164>

### Financiamiento

Fuente: La realización de este trabajo fue financiada a través de fondos públicos de investigación del Gobierno Ecuatoriano, Convocatoria de Investigación INEDITA. Acuerdo firmado el 10 de diciembre de 2018 entre el Instituto Nacional de Biodiversidad (INABIO) y la Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) para la ejecución del proyecto "Bioconversión de residuos orgánicos y plásticos de invertebrados de Ecuador", código 00110378. La recolección de muestras se realizó en cumplimiento del Contrato Marco de Acceso a Recursos Genéticos del Programa de Investigaciones Científicas denominado "Biodiversidad Genética del Ecuador" suscrito entre el Ministerio de Medio Ambiente, a través del Subsecretaría de

**Resumen:** *Hermetia illucens*, la mosca soldado negra-BSF (Black Soldier FLY), es una de las especies más estudiadas por poseer un gran potencial de convertir desechos orgánicos en alimentos para animales y fertilizantes. Esta larva de invertebrados transforma hasta el 50% de la biomasa orgánica, reintroducida en las cadenas tróficas como alternativa natural de reciclaje de nutrientes y gestión de residuos. A pesar de los numerosos informes mundiales, Ecuador no ha documentado ninguna información científica sobre la captura y multiplicación de BSF. Esta investigación busca determinar la mejor opción de captura de *H.illucens* en climas tropicales rurales de Ecuador y los mejores desechos locales para alimentar larvas y convertir desechos. Los resultados determinaron que la trampa más adecuada para capturar el insecto fue TE-005 (trampa tipo red), que captura organismos adultos, seguida de la trampa TD-004 (trampa tipo bandeja), donde las moscas colocan sus huevos para posterior eclosión y selección de larvas de BSF. El diseño experimental empleado se basó en un tratamiento de control de banano y cinco tipos de sustratos diferentes: verduras, frutales, carne, estiércol de cerdo y desechos domésticos mixtos. Los resultados mostraron un porcentaje de bioconversión del 77,66% para la prueba de control, seguido de un 55% para el sustrato de residuos domésticos. El presente trabajo se basa en estudios a nivel mundial, indicando que el tratamiento de residuos BSF es una alternativa viable para ser implementada en Puerto Quito-Ecuador.

**Palabras clave:** BSF, bioconversión, residuos orgánicos, *Hermetia*.

**Abstract:** *Hermetia illucens*, the black soldier fly- BSF (Black Soldier FLY), is one of the most studied species with the enormous potential to convert organic waste into animal food and feed and fertilizers. This invertebrate larva transforms up to 50% of organic biomass, reintroduced in the trophic chains as a natural nutrient recycling and waste management alternative. Despite the numerous worldwide reports, Ecuador has not documented any scientific information on capturing, multiplying BSF. This research seeks to determine the best *H.illucens* capture option in rural tropical climates in Ecuador

Patrimonio Natural. Instituto Nacional de Biodiversidad MAE-DNB-CM-2016-0045.  
 N° de contrato: 00110378  
 Beneficiario: Secretaría de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT)

Los autores mantienen los derechos sobre los artículos y por tanto son libres de compartir, copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra sus sitios web personales o en depósitos institucionales, después de su publicación en esta revista, siempre y cuando proporcionen información bibliográfica que acredite su publicación en esta revista. Licencia de Creative Commons Las obras están bajo una <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.es>



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional.

Como citar: Del Hierro, A.G., Anrango, M. J., Ortiz, D., & Sánchez, L. (2021). Captura y cría de la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) para la biodegradación de desechos orgánicos en Puerto Quito, Ecuador. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3), 341-354. DOI: <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.164>

and the best local waste to feed larvae and convert waste. The results determined that the most suitable trap to capture the insect was TE-005 (net-type trap), which showed capturing adult organisms, followed by the TD-004 trap (tray-type trap), where flies place their eggs for later hatching and selection of BSF larvae. The experimental design used a banana control treatment and three different substrates types: vegetables, fruit trees, meat, pig manure, and mixed domestic waste. The results showed a bio-conversion percentage rate of 77.66% for the control test, followed by 55% for the domestic waste substrate. The current research was based on implemented several studies worldwide, indicating that the BSF waste treatment is a viable alternative to be implemented in Puerto Quito- Ecuador.

**Keywords:** BSF, bioconversion, organic waste, *Hermetia*.

## INTRODUCCIÓN

A medida que la población aumenta, los residuos se multiplican en volumen y permanencia. Los residuos sólidos urbanos (RSU) comprenden residuos domésticos, industriales, peligrosos y no peligrosos (Yucalan et al., 2017). En los países en desarrollo, existe evidencia de un alto crecimiento de la población y urbanización asociados con altas tasas de consumismo, por lo tanto, aumento de los RSU (Aleluia, 2016).

Las prácticas de mala gestión de residuos en los países en desarrollo y la sobreexplotación de los servicios de los ecosistemas contribuyen al aumento de los problemas ambientales y sociales (Ferronato, 2019). Lo más obvio son las complicaciones de salud pública, el acceso a agua limpia, los impactos en la soberanía alimentaria y la pérdida de biodiversidad (Inglezakis, 2015). La mayor parte de la contaminación ambiental se debe principalmente a una gestión inadecuada de los desechos y a la falta de alternativas para degradar de manera efectiva los desechos orgánicos e inorgánicos (Wilson, 2015). Las inversiones públicas y privadas que se realizan para el manejo de residuos, la restauración ambiental y los costos asociados para la remediación generan innumerables gastos para un país.

Las soluciones sostenibles para la gestión de residuos sólidos son fundamentales en la actualidad. El desafío crítico consiste en la valorización de los residuos, el fomento de la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías. La circularidad de los residuos busca mejorar las condiciones de bienestar de la población; Está relacionado con la limpieza y el saneamiento del agua, la generación de ingresos y el crecimiento económico y las ciudades y comunidades sostenibles, contribuyendo al logro de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (Flores, 2015).

Las alternativas naturales estudiadas a nivel mundial como la bioconversión de residuos a través de invertebrados, específicamente la mosca soldado negra, *Hermetia illucens*, (BSF) (Bulak et al., 2018; Gold et al., 2020; Lee et al., 2020; Parodi et al., 2020; Sheppard et al., 2002), manifiestan que es una especie cosmopolita que devora materia orgánica durante su etapa larvaria y reserva nutrientes en su cuerpo en forma de proteínas, grasas y carbohidratos. (Bosch et al., 2020; Smetana et al., 2016). En la fase adulta presenta altas tasas de reproducción, con las hembras depositando alrededor de 600 huevos en un lugar seco cerca de la materia orgánica en descomposición. Los huevos eclosionan y sufren seis transformaciones larvarias mientras se alimentan de desechos orgánicos, animales y vegetales hasta convertirse en adultos (Sripontan et al., 2019).

Estudios realizados en países en desarrollo han demostrado que la BSF se usa como una alternativa de manejo de desechos para producir alimentos de bajo costo para animales domésticos como pollo o tilapia; también representa una fuente de ingresos para los pequeños agricultores (Bortolini et al., 2020; De Souza-Vilela et al., 2019; Lalander et al., 2019; van Huis, 2013).

Según Smetana et al, (2016), 60 kg de residuos necesitan 40.000 larvas BSF por metro cuadrado para convertir el 50% de los residuos orgánicos en 15 días. Por otro lado, Salomone et al, (2016), establece que el material generado por la bioconversión larvaria es un excelente biofertilizante por su contenido de humedad estable (25,7%), pH de 6,95 y valores de 1,49%, 0,98%, 1,03 % de nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) respectivamente.

En consecuencia, la bioconversión de residuos orgánicos a partir de invertebrados, es una tecnología de aprovechamiento de residuos para obtener productos valiosos como alimento animal (larva) y fertilizante (sustrato de alimento). Por lo tanto, los insectos son descomponedores naturales con el potencial de reducir la presión de los residuos por la contaminación y malas practicas ambientales de gestión (Bulak et al., 2018).

En Ecuador, existe escasa información científica publicada sobre la presencia de BSF y las tasas de bioconversión. Esta investigación busca determinar la mejor opción de captura de *H.illucens* en climas tropicales rurales de Ecuador y los mejores desechos locales para alimentar larvas y bio convertir los residuos. Los resultados e insumos de esta investigación se enfocan a comunidades locales, Cantón Puerto Quito, como una posible alternativa a la gestión de residuos orgánicos.

## Residuos Orgánicos

Si bien los residuos orgánicos no se consideran peligrosos, su aumento se debe al consumismo y la falta de una gestión adecuada. Por otro lado, la eliminación de desechos en vertederos al aire libre o en vertederos clandestinos contamina las aguas subterráneas debido a la filtración de lixiviados, las emisiones de gases de efecto invernadero que contribuyen al cambio climático, el agotamiento del suelo y otras consecuencias que afectan al medio ambiente (EMGIRS, 2018).

Según Gustavsson et al. (2011), cada año se descartan 1.300 millones de toneladas de residuos alimentarios. A nivel mundial, solo el 13,5% se recicla y el 5,5% se convierte en abono (Varelas, 2019). Por lo tanto, si la humanidad no cambia las prácticas actuales, uno de los desafíos ambientales para el futuro cercano es encontrar espacio disponible o tecnología adecuada para eliminar los desechos. La gestión sostenible es una alternativa prometedora, en los sectores urbano y agroalimentario requerirá de tratamientos biológicos eficientes que minimicen los impactos en el medio ambiente. (WFP, 2009).

En este sentido, la biorremediación surge como un proceso que aprovecha varios organismos para eliminar o transformar de forma natural los contaminantes (Lui et al., 2018). Específicamente, la bioconversión basada en insectos representa un método sostenible para la gestión de residuos orgánicos, los insectos constituyen una tecnología conveniente para desintegrar tejidos, formar agregados de materia orgánica y regularizar la mineralización. Además, la biomasa resultante diversifica la bio industria proporcionando productos como alimentos, biocombustibles y compost (Salomone et al., 2016).

## Hermetia illucens

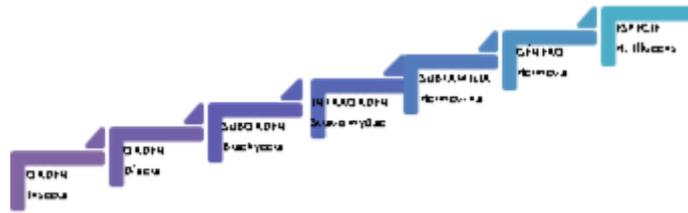


FIGURA 1.  
Clasificación Taxonómica, Hermetia Illucens  
Salomone et al, 2016

La mosca soldado negra-BSF, es una especie del orden Díptera (Figura 1) de 150.000 especies conocidas. La mayoría de las especies de BSF están asociadas con la descomposición de materia orgánica (Hoc et al., 2019). La BSF, originaria de América, es un insecto holometábólico adaptado a climas tropicales y subtropicales de todo el mundo (Kaya et al., 2021). Su desarrollo larvario comprende seis etapas con un ciclo de vida de cuatro semanas, que varía según las condiciones ambientales (Sheppard et al., 2002). La etapa adulta dura entre 6 y 8 días y solo se alimenta de agua. Después de la eclosión de huevos, las larvas neonatales desarrollan la eficiencia enzimática de su sistema oral, microbiota intestinal y sistema digestivo. Estas características le convierten en un organismo detritívoro que degrada grandes cantidades de desechos orgánicos (Morales & Palález, 2010).

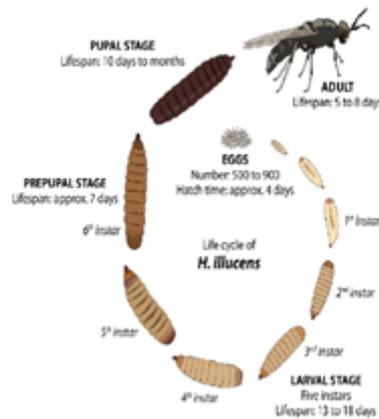


FIGURA 2.  
Ciclo de Vida *Hermetia Illucens*  
Salomone et al, 2016

En condiciones óptimas, cada larva de BSF consume de 25 a 500 miligramos de materia orgánica por día (Oonincx et al., 2015). Sin embargo, si el sustrato no está disponible adecuadamente, el rendimiento se ve reducido. A diferencia de otros insectos que consumen desechos, la BSF no se considera un vector de enfermedades o plaga. Su rápida capacidad para procesar materia orgánica reduce los malos olores y el desarrollo de bacterias, incluida *Escherichia coli* (Hoc et al., 2019).

Los individuos adultos tienen pigmentación oscura con alas marrones o negras, antenas dos veces más largas que su cabeza. Las patas son generalmente negras y en la zona basal tienen una pigmentación blanca. Su torso es alargado, similar a una avispa (Figura 3). Las BSF no son buenos voladores y generalmente se encuentran cerca de instalaciones de producción animal, en áreas soleadas o en plantas (Salomone et al., 2016).



FIGURA 3  
Fisiología de *Hermetia Illucens*, adulta nativa de Puerto Quito,  
Ecuador.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de Estudio

La provincia de Pichincha (Puerto Quito) y la provincia de Esmeraldas (La Unión y La Independencia) de Ecuador fueron elegidas como el sitio para la captura de especímenes, en base a los registros reportados por la plataforma iNaturalist ([www.inaturalist.org](http://www.inaturalist.org)). Los ensayos de bioconversión se realizaron en el insectario de la Finca Malacatos (0° 06'55.5 "N 79° 14'19.4" W). En esta zona existe vegetación típica de bosques tropicales húmedos con temperaturas que oscilan entre 18 y 34 ° C, humedad relativa entre 70 y 83%, precipitación anual de 2000 mm.

### Fase de Captura

Se utilizaron cinco prototipos de trampas para capturar a BSF en su estado natural. Estas trampas se colocaron en tres localidades Finca Puerto Rico (Puerto Quito), Finca San Jorge (La Concordia) y Finca El Limón (La Unión) para obtener el pie de cría, un número considerable de hembras para la ovoposición de huevos, y larvas de 5-6 días de eclosión o adultos para el apareamiento.

### Trampa tipo cono

Se elaboró a partir de botellas reciclables (capacidad 3 L). En la mitad de una botella se realizó dos aberturas para colocar la mitad de dos botellas más pequeñas (capacidad 300 mL), y en la parte superior se colocó otra botella de la misma capacidad para el ingreso de moscas adultas. Este modelo de trampa se colocó en la parte alta y media de árboles frutales de la zona.

### Trampa con ventanas

Esta trampa se elaboró con botellas recicladas de un galón de agua, en la parte superior se realizó dos aberturas de 6x6 cm en forma de ventana, dentro de la botella se colocó paquetes de cartón corrugado de doble cara de 3 x 3 cm de largo y ancho, se sujetó a las paredes de la botella provista de una piola.

## Trampa de larvas

Se incluye un recipiente de 30 cm de largo de profundidad con pequeños orificios en la base para drenar los lixiviados. Como resultado de la descomposición natural de los desechos, el contenedor descansa sobre una base con una inclinación de 35-45 °. Se hicieron dos aberturas de aproximadamente 10 cm x 5 cm en la tapa. Una de las aberturas sirvió para colgar un cubo para la recolección de larvas. Dentro del contenedor se pegaron pequeñas capas de cartón ondulado una encima de la otra, 2, 5cm x 5cm cerca de materia orgánica sin mojar el cartón. Las trampas se colocaron en la superficie del suelo en el sitio de estudio.

## Trampa de red entomológica:

Consiste en una malla de red construida sobre un filtro de plástico de fácil uso como base. El olor a materia orgánica en descomposición atrajo a las moscas cerca del sustrato. Las moscas hembras capturadas con esta trampa se colocaron en una jaula con un sustrato de fructificación para permitir la ovoposición.

## Ensayos de Bioconversión – Diseño Experimental

La tasa de bioconversión de residuos por de larvas de *H. illucens* se determinó mediante el diseño experimental DCA – Diseño completamente aleatorizado. La variable independiente fue el tipo de sustrato (hortalizas, frutales, carne, estiércol porcino y mixto) y la variable respuesta fue la tasa de degradación. Las pruebas consistieron en colocar 25 huevos con 6 g de sustrato en un recipiente hermético, Tabla 1. Cada tratamiento de sustrato se triplicó y el sustrato de banano sirvió como control.

TABLA 1.  
Descripción del Diseño experimental

Sustrato	Tratamiento	Repetición	Código
Hortalizas (papa)	1	3	MH01 R1 MH01 R2 MH01 R3
Frutas (sandía)	2	3	MH02 FR1 MH02 FR2 MH02 FR3
Carne (pollo)	3	3	MH03 CR1 MH03 CR2 MH03 CR3
Estiércol porcino (cerdo)	4	3	MH04 ER1 MH04 ER2 MH04 ER1
Mixto	5	3	MH05 MR1 MH05 MR2 MH05 MR1
Control (banana)	-	3	Control

Autores

## Evaluación de ensayos de bioconversión

El ensayo duró 45 días. Se registró cada cinco días el peso del sustrato, peso del residuo, pH del medio, temperatura, fase de crecimiento larvario y número de larvas vivas y muertas. Con los resultados obtenidos se calculó la tasa de bioconversión de los residuos orgánicos en cada tratamiento, propuesto por Salomone et al., 2016.

$$TB = \frac{W - R}{W} \times 100 \quad [1]$$

Donde:

TB, tasa de bioconversión

W, Peso de sustrato añadido, g

R, Peso de residuo remanente del proceso de bioconversión, g

## Análisis Estadístico – ANOVA

Los resultados se analizaron estadísticamente para comparar la eficiencia de la bioconversión. Se utilizó la herramienta estadística ANOVA de un factor para evaluar el efecto del tratamiento aplicado sobre la variabilidad de la respuesta a lo largo de 45 días.

Para el análisis de varianza se utilizó el software SPSS, versión 25, donde la hipótesis nula ( $H_0$ ) plantea la igualdad entre las tasas de degradación obtenidas para los diferentes residuos incluido el tratamiento de control y la hipótesis alternativa ( $H_a$ ) que las tasas son diferentes.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$$

$$H_a: \mu_i \neq \mu_j$$

[2]

Donde:

$\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_5$  Tasas de biodegradación correspondientes a los cinco tratamientos respectivamente.

$\mu_i, \mu_j$  Al menos dos tratamientos diferentes

## RESULTADOS Y DISCUSIONES

### Eficiencia de los prototipos de trampa

En el área de estudio se colocaron réplicas de cinco tipos de trampas hechas manualmente en tres ubicaciones diferentes: Puerto Quito “Finca Puerto Rico” - Provincia de Pichincha, La Independencia “Finca San Jorge” y La Unión “Finca El Limón” - Provincia de Esmeraldas.

**TABLA 2**  
Tipos de trampas ubicadas en diferentes localidades

Tipos de trampa	Invertebrados de interés (larvas y adultos)	Tiempo (Días)	Ubicación
TB-001	0 1 0	16 20 125	Puerto Quito La Independencia La Unión
TB-002	3 5 1	12 20 15	Puerto Quito La Independencia La Unión
TC-003	- 2 2	11 5 9	Puerto Quito La Independencia La Unión
TD-004	6 4 7	14 16 20	Puerto Quito La Independencia La Unión
TE-005	25 18 12	8 16 10	Puerto Quito La Independencia La Unión

Autores

La Tabla 2 ilustra los tipos de trampas utilizadas y la eficiencia en la captura de adultos y larvas de BSF en tres lugares diferentes. En consecuencia, la trampa con mayor número de individuos adultos capturados en el menor tiempo (30 días) fue TE-005 (trampa tipo red); seguido de TD-004 (trampa tipo bandeja). Los resultados demostraron que la versatilidad en el movimiento de la trampa tipo red ayuda a capturar individuos en vuelo. Mientras que la trampa tipo bandeja permite que las moscas adultas lleguen al sustrato para depositar sus huevos. Después de unos días, los huevos eclosionan y las larvas emergen para degradar los desechos. Además de la funcionalidad de las trampas, un factor fundamental en la captura de especies son las condiciones climáticas, temperatura y humedad ambiental. De hecho, según (Morales & Paláez, 2010), la temperatura óptima para el desarrollo larvario de *Hermetia illucens* varía de 25 ° C a 28 ° C.

### Estimación de la tasa de bioconversión

Se calculó la tasa de bioconversión de larvas de *Hermetia illucens* desde el estadio L1 al L6 (antes de la pupa) aplicando la ecuación (1). La Tabla 3 sintetiza los datos en porcentaje de bioconversión en cada uno de los sustratos utilizados.

TABLA 3.

*Hermetia illucens* tasas de bioconversión de residuos orgánicos para los diferentes sustratos

Tratamiento	W, Peso añadido de sustrato	R, Peso remanente de sustrato	% Bioconversión
T1 Vegetales	30 g	15,96 g	46,78%
T2 Frutas	30 g	16,76 g	44,44%
T3 Cárnicos	30 g	17,70 g	41,00%
T4 Estiércol	30 g	16,67 g	44,44%
T5 Mixto	30 g	13,50 g	55,00%
Control	30 g	7,00 g	76,66%

Autores

El tratamiento de vegetales, *Solanum tuberosum*, mostró una tasa de bioconversión del 46,77%. Este sustrato a base de papa es rico en carbohidratos con bajo contenido en grasas y alto contenido en micronutrientes. Está compuesto por un 80% de agua y un 20% de almidón (materia seca), vitaminas C, B1, B3, B6 y una cantidad moderada de hierro (Salomone et al., 2016). Cabe mencionar que durante el ciclo larvario se evidenció el crecimiento de bacterias en el sustrato, lo que se presume fue un factor que afectó la bioconversión; y por tanto su eficiencia es inferior al 50% (Fig. 4).

El tratamiento de frutales, *Citrullus lanatus* a base de sandía presentó 92% de agua y un alto porcentaje de azúcares, vitaminas A, B y C, hierro y calcio. Dicho sustrato también contiene licopeno que actúa como antioxidante (Vila et al., 2016). Los resultados del experimento mostraron una tasa de bioconversión del 44,44%.

El sustrato de estiércol porcino de consistencia semilíquida compuesto por una mezcla de heces, orina, desperdicios de comida, contiene nitrógeno, fósforo, potasio y algunos oligoelementos como zinc y cobre; mostró una tasa de bioconversión del 44,44% (Moreno, 2019). La baja tasa de bioconversión se debe a la deficiencia de proteínas y lípidos de estos sustratos (Fig. 4).

Por otro lado, el tratamiento cárnico a base de carne de pollo mostró una tasa de bioconversión del 41%. Este tratamiento tiene un alto contenido en proteínas y complejo de vitamina B: niacina, piridoxina, ácido pantoténico, cobalamina. Además, contiene algunos micronutrientes, grasas insaturadas como ácido oleico, omega 6, ácido linoleico y en baja concentración omega 3 (Moreno, 2019). Este sustrato aporta valores proteicos esenciales; sin embargo, la deficiencia calórica de carbohidratos no permite un mejor desempeño de la bioconversión de las larvas (Fig. 4).

Finalmente, el sustrato mixto, que consiste en una mezcla de vegetales, banana, sandía, papa y pollo, obtuvo la mejor tasa de bioconversión (55%). Según los resultados, la mejor opción de dieta para el crecimiento de las larvas de *H.illucens* es un sustrato que contenga una cantidad equilibrada de nutrientes (Salomone et al., 2016). La heterogeneidad de los residuos otorga a las larvas la capacidad de obtener proteínas, carbohidratos y lípidos que optimizan la bioconversión de residuos orgánicos. Por tanto, el aumento de biomasa conduce a una mejor reducción del sustrato inicial colocado (Fig. 4).

La prueba de control, *Musa paradisiaca*, contiene 1,2% de proteínas y 0,3% de lípidos, 20% de carbohidratos, pero esto depende del nivel de maduración. El compuesto más representativo es el almidón que se transforman en azúcares simples como sacarosa, fructosa y glucosa en estado maduro. Los niveles de proteínas, lípidos y carbohidratos proporcionan a las larvas los nutrientes más equilibrados para que las biomoléculas permitan su crecimiento y desarrollo.

Por otra parte, se registró una alta mortalidad (Tabla 4), de larvas BSF en el sustrato de vegetales en comparación con los otros tratamientos, posiblemente porque la papa contiene altas cantidades de

glicoalcaloides en el pericarpio. Este compuesto se considera tóxico para los seres humanos y animales ya que produce trastornos gastrointestinales, lo cual se aduce ocurrió en las larvas. Si bien el único tratamiento que no presentó mortalidad larvaria y obtuvo un ciclo de vida uniforme fue el control, debido a los niveles de almidones y azúcares que contiene, por lo que es el sustrato ideal para el crecimiento de las larvas. BSF (Smetan et al., 2016).

TABLA 4.  
Mortalidad de Larvas por tratamiento

Tratamiento	Código	Mortalidad de Larvas por tratamiento
Hortalizas	MH01R1, R2,R3	5
Frutales	MH01FR1,FR2,FR3	3
Cárnicos	MH02CR1, CR2, CR3	22
Estiércol	MH02ER1, ER2, ER3	4
Mixto	MH02MR1,MR2,MR3	3

Autores

## Análisis Estadístico ANOVA

Se rechaza la hipótesis nula con base en el análisis estadístico y se acepta la hipótesis alternativa. La tasa de degradación de residuos orgánicos con larvas de *Hermetia illucens* está relacionada con el tipo de sustrato proporcionado, F calculado (1,948) que es menor que F tabulado (1,71), considerando los errores que podrían existir en la experimentación debido a la variabilidad genética de la especie.

TABLA 5  
Análisis de varianza de un factor

Fuente de error	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Entre grupos	5522,838	14	394,488	1,948	,028
Dentro de grupos	23899,765	118	202,540		
Total	29422,603	132			

Autores

Dado que los tratamientos aplicados para la bioconversión de residuos son diferentes, el resultado que presentó mayor tasa de degradación es el tratamiento mixto. Después de 45 días del ciclo larvario (fase prepupa), el 76,67% fue la tasa de degradación para 48 gramos de un sustrato (Fig. 4).

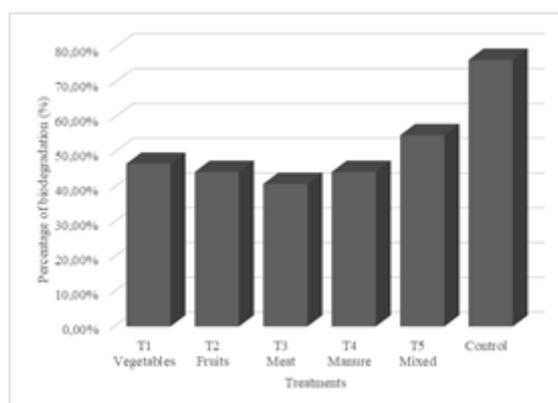


FIGURA 4.  
Porcentajes de Bioconversión

El tratamiento mixto contiene varios nutrientes: papa (almidón), sandía (azúcares), pollo (proteína animal), estiércol de cerdo (urea) y banano (carbohidratos), lo que representa una cantidad significativa de biomoléculas metabolizadas por larvas de *Hermetia Illucens*, en sus diferentes fases que aportan energía para su desarrollo hasta que alcanzan la prepupa y pupa hasta convertirse en adultos y completar su ciclo de vida. La variedad de sustratos proporciona una mayor tasa de supervivencia y disminuye el tiempo de desarrollo larvario (Oonincx et al 2015).

## CONCLUSIONES

*Hermetia illucens* crece en áreas tropicales con temperaturas que oscilan entre 27 y 30 ° C y una humedad relativa de hasta el 80%. En estas condiciones, se asegura la eclosión de huevos en sustratos que contengan una dieta rica en proteínas, azúcares y carbohidratos con una humedad superior al 60% y suficiente oxigenación. Sin embargo, cuando las larvas se encuentran en las etapas 3, 4, 5, la humedad no debe exceder el 40%. Las condiciones ambientales encontradas en la bibliografía fueron similares a las de los tres lugares de Ecuador donde se capturó BSF.

Según el análisis estadístico ANOVA, se determinó que el sustrato mixto que contiene papa (almidón), sandía (azúcares), pollo (proteína animal), estiércol de cerdo (compuestos nitrogenados) y banano (carbohidratos) es el más eficiente para el BSF para degradar los residuos (76,67%). Este porcentaje representa la tasa de degradación de 48 gramos del sustrato durante el ciclo larvario de 65 días de la especie en este ensayo de estudio en particular.

Las larvas de BSF muestran un mejor comportamiento en residuos orgánicos mixtos y una mayor supervivencia en sustratos blandos con pequeños gránulos; se observa que la molienda de alimentos es la mejor opción para optimizar los resultados.

Los resultados indicaron que los residuos orgánicos representan un recurso infravalorado con potencial para producir alimentos y piensos para animales. Las poblaciones muestreadas actualmente están segregando sus desechos, lo que es ventajoso para implementar modelos de gestión de desechos a base de insectos.

## AGRADECIMIENTOS

Conceptualización del proyecto Ana G. Del Hierro (ADH); recopilación, curaduría y validación de datos, María José Anrango(MA), Daniel Ortiz (DO), Lucía Sánchez (LS); redacción: preparación del borrador original, DO, MA, LS; redacción: revisión y edición de ADH; administración de proyectos, ADH. Todos los autores han leído y aceptado la versión publicada del manuscrito.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aleluia, J.; Ferrão, P. Characterization of urban waste management practices in developing Asian countries: A new analytical framework based on waste characteristics and urban dimension. *Waste Manag.* 2016, 58, 415–429.
- Bortolini, S., Macavei, L. I., Hadj Saadoun, J., Foca, G., Ulrici, A., Bernini, F., Malferrari, D., Setti, L., Ronga, D., & Maistrello, L. (2020). *Hermetia illucens* (L.) larvae as chicken manure management tool for circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 262. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.121289>
- Bosch, G., Oonincx, D. G. A. B., Jordan, H. R., Zhang, J., van Loon, J. J. A., van Huis, A., & Tomberlin, J. K. (2020). Standardisation of quantitative resource conversion studies with black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(2), 95–109. <https://doi.org/10.3920/jiff2019.0004>
- Bulak, P., Polakowski, C., Nowak, K., Waśko, A., Wiącek, D., & Bieganowski, A. (2018). *Hermetia illucens* as a new and promising species for use in entomoremediation. *Science of the Total Environment*, 633. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.252>
- De Souza-Vilela, J., Andrew, N. R., & Ruhnke, I. (2019). Insect protein in animal nutrition. In *Animal Production Science* (Vol. 59, Issue 11, pp. 2029–2036). CSIRO. <https://doi.org/10.1071/AN19255>.
- EMGIRS EP. (2018). Informe de Gestión 2018. (Disponible en: <http://emgirs.gob.ec/phocadownload/informerendicioncuentas/2018/rendicion-de-cuentas-2018.pdf>. Consultado el: 23 de septiembre de 2019).
- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>
- Gustavsson, J., Cederberg, C., Sonesson, U., Van Otterdijk, R., Meybeck A. (2011). *Global Food Losses and Food Waste*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rom <http://www.fao.org/docrep/014/mb060e/mb060e00.pdf>
- Ferronato, N., & Torretta, V. (2019). Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. *International journal of environmental research and public health*, 16(6), 1060.
- Flores, N. (2015). Open Mind BBVA. Obtenido de OpenMind BBVA: <https://www.bbvaopenmind.com/ciencia/medioambiente/evaluacion-del-impacto-ambiental-en-la-economia/>
- 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*. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>
- Hoc B, Noël G, Carpentier J, Francis F y Caparros R. (2019). Optimization of black soldier fly (*Hermetia illucens*) artificial reproduction. *PLOS ONE* 14(4): 1-13.
- Inglezakis, V.J.; Moustakas, K. Household hazardous waste management: A review. *J. Environ. Manag.* 2015, 150, 310–321.
- IBM, SPSS, Modeler está disponible en IBM Cloud Pak® for Data, Plataforma de IA. Disponible en: <https://www.ibm.com/es-es/analytics/spss-statistics-software>
- Kaya, C., Generalovic, T. N., Ståhls, G., Hauser, M., Samayoa, A. C., Nunes-Silva, C. G., Roxburgh, H., Wohlfahrt, J., Ewusie, E. A., Kenis, M., Hanboonsong, Y., Orozco, J., Carrejo, N., Nakamura, S., Gasco, L., Rojo, S., Tanga, C. M., Meier, R., Rhode, C., ... Sandrock, C. (2021). Global population genetic structure and demographic trajectories of the black soldier fly, *Hermetia illucens*. *BMC Biology*, 19(1). <https://doi.org/10.1186/s12915-021-01029-w>
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C., & Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>
- Lee, H. M., Kim, H. R., Jeon, E., Yu, H. C., Lee, S., Li, J., & Kim, D. H. (2020). Evaluation of the biodegradation efficiency of four various types of plastics by *Pseudomonas aeruginosa* isolated from the gut extract of superworms. *Microorganisms*, 8(9). <https://doi.org/10.3390/microorganisms8091341>

- Liu Z, Minor M, Morel P y Najar-Rodríguez J. (2018). Bioconversion of Three Organic Wastes by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Environmental Entomology*. 47(6): 1609–1617
- Morales G y Palález C. 2010. Evaluación cinética de los dípteros como indicadores de la evolución del proceso de compostaje. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 9(17): 13-28
- Moreno, L. (2019). Calidad de abonos orgánicos a partir del estiércol porcino y su efecto en el rendimiento del maíz chala. Lima.
- Oonincx D, van Broekhoven S, van Huis A y van Loon J. 2015. Feed Conversion, Survival and Development, and Composition of Four Insect Species on Diets Composed of Food By-Products. *PLoS ONE* 10(12): 1.20.
- Parodi, A., De Boer, I. J. M., Gerrits, W. J. J., Van Loon, J. J. A., Heetkamp, M. J. W., Van Schelt, J., Bolhuis, J. E., & Van Zanten, H. H. E. (2020). Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing – A mass balance approach. *Journal of Cleaner Production*, 271. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.122488>
- Sripontan Y, Chiu C, Tanansathaporn S, Leasen K y Manlong K. (2019). Modeling the Growth of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): An Approach to Evaluate Diet Quality. *J Econ Entomol*. 113(2): 742-751.
- Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae): Table 1. *Journal of Medical Entomology*. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>
- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., & Savastano, D. (2016). Impacto medioambiental de la bioconversión de residuos alimentarios por insectos: aplicación de evaluación del ciclo de vida para procesar usando *Hermetia Illucens*. *ELSEVIER*, 1-16.
- Smetana, S., Palanisamy, M., Mathys, A., & Heinz, V. (2016). Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 137, 741–751. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.148>
- Van Huis, A. (2013). Potential of Insects as Food and Feed in Assuring Food Security. *Annual Review of Entomology*, 58(1), 563–583. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-120811-153704>
- Varelas V. (2019). Food Wastes as a Potential New Source for Edible Insect Mass Production for Food and Feed: A review. *Fermentation*. 5(3): 1-19.
- Vila, E., Ninamango, J., & Berrocal, L. (2016). Efecto de la temperatura y concentración en las propiedades reológicas del zumo de sandía (*Citrullus lanatus*). Perú.
- Wilson, D. C., & Velis, C. A. (2015). Waste management—still a global challenge in the 21st century: An evidence-based call for action.
- World Food Programme. 2009 Hunger and markets. London: Earthscan.
- Yukalang, N., Clarke, B., & Ross, K. (2017). Barriers to effective municipal solid waste management in a rapidly urbanizing area in Thailand. *International journal of environmental research and public health*, 14(9), 1013.