PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR

FACULTAD DE CIENCIAS EXACTAS Y NATURALES

BIOLOGÍA

Monografía

Paula Valentina Champutiz Flores

La mosca soldado-negra en las Islas Galápagos: ecología de una especie naturalizada y su uso potencial para la gestión sostenible de residuos orgánicos.

Ecología/ Manejo de recursos naturales

Quito, 2026

Certifico que la Monografía en Biología, de la Srta. Paula Valentina Champutiz Flores ha sido concluida de conformidad con las normas establecidas; por lo tanto, puede ser presentada para la calificación correspondiente.

MARIA VERONICA CRESPO PEREZ

Firmado digitalmente por MARIA VERONICA CRESPO PEREZ
Fecha: 2026.06.19 09:55:35 -05'00'

PhD. Verónica Crespo-Pérez

Directora de la Monografía

Quito, 19 de junio de 2026

Dedico este trabajo a mi mamá, cuya memoria, amor y ejemplo continúan acompañándome cada día y han sido una fuente constante de fortaleza. Aunque ya no pueda compartir este momento conmigo, este logro también es suyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco profundamente a mi tutora, Verónica Crespo, por su guía académica, apoyo y dedicación durante la realización de este trabajo. De igual manera, expreso mi gratitud a Andrés Merino por su colaboración y disposición para brindar apoyo en las distintas etapas de este proyecto.

A mi papá y a mi abuelita, gracias por su amor, confianza y apoyo incondicional. Por estar presentes en los momentos difíciles, por animarme a seguir adelante y por creer en mí incluso cuando el camino parecía complicado.

También quiero agradecer a mis amigos de la universidad, quienes me acompañaron durante esta etapa con su apoyo, sus palabras de ánimo y su amistad. Compartir este camino con ustedes hizo que los desafíos fueran más llevaderos y los logros más significativos.

Finalmente, a mi mamá. Me hubiera encantado que estuvieras aquí para compartir este momento. Aun así, tu amor, tus enseñanzas y el ejemplo que dejaste en mi vida me acompañaron en cada paso de este camino. Gracias por creer siempre en mí; una parte de este logro te pertenece.

TABLA DE CONTENIDOS

RESUMEN ***1***

ABSTRACT ***2***

INTRODUCCIÓN ***3***

OBJETIVOS ***8***

OBJETIVO GENERAL 8

OBJETIVOS ESPECÍFICOS 8

1. Ecología de *Hermetia illucens.* **9**

1.1Taxonomía, ciclo de vida y reproducción de *H. illucens*. 9

1.2 Biogeografía de *Hermetia illucens* 13

1.3 Interacciones interespecíficas 15

1.4 *H. illucens* como especie naturalizada versus invasora. 16

2. Distribución de *H. illucens* en las Galápagos. **18**

2.1 Condiciones climáticas de las Islas Galápagos 18

2.2 Zonas de vida en las Galápagos 19

3. Modelamiento del nicho ecológico de *Hermetia illucens* en Sudamérica y su proyección a las Islas Galápagos. **20**

3.2 Proyección de la distribución potencial de *Hermetia illucens* en las Islas Galápagos. 24

4. Gestión actual de residuos en el archipiélago de las Galápagos **27**

4.1 Generación y tipos de residuos orgánicos en el archipiélago 27

4.2 Sistema actual de manejo de residuos: falencias, riesgos ambientales y limitaciones operativas 28

5. Bioconversión de residuos con *Hermetia illucens*. **29**

5.1 Biología y características de *Hermetia illucens* en la degradación de residuos 29

5.2 Casos documentados de uso de *H. illucens* en la degradación de residuos orgánicos. 30

5.3 Consideraciones de bioseguridad en ecosistemas frágiles como el archipiélago para el uso de *H. illucens* para la degradación de residuos. 32

CONCLUSIONES **35**

RECOMENDACIONES **37**

ANEXOS **52**

RESUMEN

Actualmente, uno de los principales desafíos a nivel mundial es la gestión de residuos sólidos, complicada por factores como el crecimiento poblacional, la urbanización y el aumento en patrones de consumo. Una gestión inadecuada puede generar impactos severos, sobre todo en ecosistemas frágiles, como islas oceánicas, donde la presencia de ecosistemas únicos, especies endémicas y las limitaciones logísticas, exigen estrategias de gestión de residuos sostenibles con un bajo impacto ambiental. En este contexto, *Hermetia illucens* (mosca soldada-negra) ha sido ampliamente reconocida por su capacidad para descomponer materia orgánica, estableciéndose como la alternativa más eficaz frente a métodos tradicionales como el compostaje. En las islas Galápagos, la especie ha sido registrada desde 1997 y se considera una especie naturalizada. Hasta la fecha, no ha sido asociada con ningún tipo de perturbación ecológica. En consecuencia, su presencia en el archipiélago podría ser el perfecto candidato para generar alternativas en el manejo de residuos orgánicos en el Archipiélago.

Si bien existen estudios previos donde se han implementado sistemas basados en *Hermetia illucens* para tratar residuos, estos, en su mayoría, han sido en zonas continentales. El presente estudio tiene como fin analizar parámetros ecológicos, ambientales y operativos para examinar la viabilidad de utilizarla para el manejo de desechos en las islas Galápagos. Un buen manejo de residuos ayudaría a reducir la presión de este desafío ambiental sobre los frágiles ecosistemas del archipiélago, minimizando efectos negativos sobre la biodiversidad y preservando los hábitats naturales para asegurar un futuro sostenible.

Palabras clave: archipiélago, gestión de residuos, *Hermetia illucens*, islas oceánicas, sostenibilidad.

ABSTRACT

Currently, one of the main global challenges is solid waste management, complicated by factors such as population growth, urbanization, and increasing consumption patterns. Inadequate management can generate severe impacts, especially in fragile ecosystems such as oceanic islands, where the presence of unique ecosystems, endemic species, and logistical limitations demand sustainable waste management strategies with low environmental impact. In this context, *Hermetia illucens* (black soldier fly) has been widely recognized for its capacity to decompose organic matter, establishing itself as the most effective alternative to traditional methods such as composting. In the Galápagos Islands, the species has been recorded since 1997 and is considered a naturalized species. To date, it has not been associated with any type of ecological disturbance. Consequently, its presence in the archipelago could be the perfect candidate for generating alternatives in the management of organic waste in the Archipelago.

Although previous studies exist in which systems based on *Hermetia illucens* have been implemented to treat waste, these have mostly been conducted in continental areas. The present study analyze ecological, environmental, and operational parameters to examine the feasibility of using it for waste management in the Galápagos Islands. Proper waste management would help reduce the pressure of this environmental challenge on the fragile ecosystems of the archipelago, minimizing negative effects on biodiversity and preserving natural habitats to ensure a sustainable future.

Keywords: archipelago, waste management, *Hermetia illucens*, oceanic islands, sustainability.

INTRODUCCIÓN

Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae), comúnmente conocida como mosca-soldado negra (MSN), es un insecto saprófito que en los últimos años ha recibido gran atención por su capacidad para transformar residuos orgánicos en biomasa aprovechable, con potencial aplicación en la alimentación animal y otros usos industriales. Se trata de una especie autóctona de diversas regiones de América caracterizadas por condiciones tropicales, subtropicales y templadas cálidas. (K. Y. Barragán-Fonseca et al., 2020; Hoc et al., 2019), posee mecanismos fisiológicos de termorregulación y plasticidad ecológica que le han permitido establecerse en condiciones más templadas (Demetriou et al., 2022; Kaya et al., 2021; Koutsoukos & Kazilas, 2021). Más allá de sus requerimientos ambientales, su expansión ha estado fuertemente ligada a actividades humanas, como el comercio internacional, el transporte marino y su cría masiva a nivel industrial. Su gran capacidad para transformar materia orgánica y su alta adaptabilidad la convierten en una candidata prometedora para abordar desafíos globales relacionados con el manejo de residuos y contribuir al desarrollo de bioeconomías circulares (Ment & Mishra, 2025).

La descomposición de la materia orgánica ocurre principalmente durante la fase larval de *H. illucens*, cuando los individuos consumen y transforman grandes cantidades de esta. El sistema digestivo de las larvas incluye bacterias y enzimas que ayudan en la conversión de residuos y a degradar contaminantes (Bruno et al., 2025). La bioacumulación en *Hermetia illucens* es variable y depende del tipo de contaminante, del sustrato de cría al que estén expuestas y de la etapa larval en la que se encuentren. En cuanto a los metales pesados, el estudio realizado por Spranghers et al. (2025) observó que el Cadmio (Cd) se bioacumula en larvas de quinto estadio cuando el sustrato alcanza concentraciones de 2 mg/kg, concentración ya considerada moderadamente alta, por lo que es difícil que un sustrato llegue a alcanzarla; no se observó una acumulación significativa en prepupas. Con relación a los pesticidas se analizaron 12 compuestos activos; ninguno se acumuló en concentraciones superiores a los límites

máximos de residuos (MRLs), lo que sugiere un bajo riesgo de bioacumulación a niveles que resulten perjudiciales para la seguridad (Spranghers et al., 2025). Su eficiencia de descomposición puede alcanzar entre un 74 y un 79 % entre los 12 y 18 días (Jiang et al., 2020; Castillo et al., 2025). En comparación, el compostaje tradicional tarda entre 6 y 7 semanas en llegar al mismo resultado (Bustinza Castillo et al., 2025).

El éxito en la transformación de residuos orgánicos depende de una serie de factores biológicos y ambientales. La temperatura afecta significativamente la tasa de supervivencia y el tiempo de desarrollo de las larvas; se ha observado que las larvas criadas a 31 °C se desarrollan más rápido, mientras que a 27 °C presentan una supervivencia más alta (80%). A temperaturas más altas, las tasas metabólicas aumentan, lo que implica un mejor aprovechamiento del sustrato y un desarrollo más acelerado (Gligorescu et al., 2018; Muñoz-Delgado et al., 2025). A su vez, se ha descubierto que las temperaturas más elevadas suelen favorecer más el desarrollo de los machos (Muñoz-Delgado et al., 2025).

El tipo de sustrato también es un factor clave en el rendimiento de la MSN. Un estudio comparó su eficiencia en cinco tipos distintos de residuos, mostrando un mayor rendimiento y una tasa de supervivencia más alta en restos de cocina y vegetales, debido a la alta proporción de carbohidratos y a sus niveles medios de humedad, que facilitan la digestión y el crecimiento larval. En comparación, las larvas mostraron una menor tasa de supervivencia y una menor capacidad de degradar residuos en sustratos que contenían subproductos de origen pesquero en exceso, debido a la generación de sustancias tóxicas (Yandigeri et al., 2022). Esto demuestra la importancia de la selección cuidadosa de sustratos con proporciones adecuadas de nutrientes y alta estabilidad para optimizar la eficiencia de los insectos.

En varios países ya se han implementado exitosamente sistemas de tratamiento de residuos basados en MSN. Como ejemplo, en Costa Rica, se evaluó la capacidad que tenían las larvas para tratar residuos orgánicos municipales. Se encontró que las larvas redujeron en promedio del 65,5 % al 78,9 %

de la materia orgánica, con una producción de 252 g/m²/día de prepupas, demostrando así su alta eficiencia en la descomposición de residuos (Diener et al., 2011). De manera complementaria, en Cajamarca, Perú, se evaluó la productividad de larvas *de Hermetia illucens* que lograron degradar alrededor del 60% de los desechos en 15 días, generando biomasa nutritiva, rica en proteínas y grasas aprovechables (Huaripata et al., 2023). Demostrando no solo su capacidad para reducir la acumulación de residuos, sino también su enorme potencial para impulsar sistemas de producción sostenibles.

Además de su uso en la degradación de residuos orgánicos, la mosca soldado-negra es también utilizada en sistemas de producción sostenible de proteína animal. Según Chia et al. (2019), los insectos especialmente la MSN, representan una fuente sostenible de proteína para la alimentación animal, reemplazando incluso alimentos de uso tradicional, como la harina de pescado o la soya. En Colombia, se han desarrollado iniciativas innovadoras para aprovechar está cría de insectos, para producir tanto alimento como fertilizante. Estas acciones están fortaleciendo la seguridad alimentaria, impulsando la sostenibilidad ambiental y facilitando la reintegración de comunidades vulnerables, incluidos excombatientes y habitantes de zonas posconflicto (K. Y. Barragán-Fonseca et al., 2020). Así, estos son claros ejemplos de cómo con ayuda de insectos se puede generar sistemas que refuercen la seguridad alimentaria y contribuyan al cumplimiento de varios Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS).

Ecuador también ha contribuido al desarrollo de este tipo de iniciativas. Por ejemplo, la empresa Bioconversión S.A., inaugurada en 2021, es la primera empresa en América Latina en tener una planta industrial de producción de harina de MSN, destinada a la cría masiva de larvas. En dicha planta utilizan residuos orgánicos agroindustriales como sustratos y los transforman en harina proteica para la alimentación animal, enfocada en la acuicultura, aves y cerdos. Además, producen fertilizantes orgánicos derivados del *frass* (los residuos de las larvas). Este es un gran paso para el país, ya que no solo reduce la dependencia de materias primas importadas (harina de pescado o soya), sino que también disminuye la

presión sobre recursos marinos. A la vez, promueve economías circulares, fortalece al sector acuícola y posiciona al Ecuador como un pionero en la implementación de sistemas industriales sostenibles (Mendoza, 2021).

El archipiélago de las Galápagos, declarado Patrimonio Natural de la Humanidad desde 1977, es reconocido mundialmente por su biodiversidad única y por su papel fundamental en el desarrollo de la ciencia evolutiva. Sin embargo, sus frágiles ecosistemas se enfrentan a amenazas significativas, principalmente ligadas a presiones antropogénicas (Benitez-Capistros et al., 2014). Datos de censos entre 2001 y 2019 revelan un crecimiento poblacional del 61% (INEC, 2010). El turismo es otro de los factores que afectan a los ecosistemas debido a la falta de control en el ingreso de visitantes. Estas presiones generan desafíos ambientales significativos, entre ellos, el inadecuado manejo de residuos, la fragmentación y degradación de los hábitats, la introducción de especies exóticas y la contaminación de los cuerpos de agua. Todos estos con impactos directos o indirectos sobre especies nativas y/o endémicas, así como sobre la salud humana (Garcia Ferrari et al., 2021).

La producción de residuos en el archipiélago se ha incrementado con el tiempo; entre el 2010 y el 2019, la generación diaria de estos aumentó de 18,8 a 28,6 toneladas por día, lo que representa un incremento aproximado del 52% en menos de una década. Probablemente como resultado del crecimiento poblacional, del incremento en el turismo y la dependencia de productos importados. Como referencia, según un estudio realizado por Poma et al. (2025), en el cantón de Santa Cruz (provincia de las Galápagos), los desechos orgánicos predominan en la composición de los residuos (aproximadamente el 67%), seguidos de los no reciclables (14,8%) y los reciclables (13,6%). Esta alta proporción de residuos orgánicos sugiere un escenario bastante favorable para implementar estrategias de bioconversión. En muchas de las zonas pobladas del archipiélago aún no existen sistemas de recolección eficientes y se conoce que los equipos disponibles ya son antiguos o en general insuficientes. En ocasiones los residuos

terminan siendo depositados en botaderos inadecuados (M. E. Jones et al., 2025). Incluso existen reportes de quema de basura, lo cual causa una gran afectación en el medio ambiente (Ragazzi et al., 2014). Hasta la fecha, no se han encontrado soluciones eficientes y sostenibles de cómo manejar adecuadamente los residuos.

Hermetia illucens podría ser la respuesta para enfrentar este desafío. Si bien esta mosca no es nativa del archipiélago, se tienen registros desde 1997 (*Fundación Charles Darwin*, 2026) y se considera ya una especie establecida. Se asocia a ambientes antropizados y no existe evidencia de que sea invasora (Causton et al., 2006; Sinclair, 2023). Su presencia en las Galápagos ofrece la oportunidad de replantear su manejo desde un enfoque funcional para contribuir a mitigar las presiones antropogénicas, en específico las relacionadas con la acumulación de residuos orgánicos (Liu et al., 2019). Este estudio analizará la ecología de *Hermetia illucens*, su distribución en las Islas Galápagos y su uso potencial para la gestión sostenible de residuos orgánicos en el Archipiélago.

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Analizar la ecología de *Hermetia illucens*, su distribución en las Islas Galápagos y evaluar su uso potencial para la gestión sostenible de residuos orgánicos en el archipiélago.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Recopilar información general sobre la ecología de *Hermetia illucens*, potenciales impactos en ecosistemas donde no es nativa y su uso para la gestión de residuos orgánicos.
2. Caracterizar la distribución poblacional de *Hermetia illucens* en diferentes zonas de vida y hábitats del archipiélago de las Galápagos identificando sitios idóneos para su presencia en las islas.
3. Evaluar la viabilidad del uso de *Hermetia illucens* para la bioconversión de residuos orgánicos en las Islas Galápagos mediante revisión de experiencias en ecosistemas insulares similares.

MARCO TEÓRICO

1. Ecología de *Hermetia illucens.*

1.1Taxonomía, ciclo de vida y reproducción de *H. illucens*.

Hermetia illucens (Linnaeus, 1758), conocida comúnmente como mosca soldado-negra, es un díptero de la familia Stratiomyidae. Es una especie de hábito saprófito que durante su etapa larval se alimenta de materia orgánica en descomposición (Qi et al., 2017). Esta característica la ha convertido en una especie de gran interés por sus diversas aplicaciones biotecnológicas y ambientales.

El género *Hermetia* comprende 78 especies válidas, siendo *H. illucens* una de las más estudiadas (Barros et al., 2019). Desde el punto de vista genético, se ha secuenciado por completo su genoma mitocondrial, con una longitud total de 15.698 pb. Estos estudios filogenéticos han permitido confirmar su estatus taxonómico dentro de la familia Stratiomyidae y esclarecer su estrecha relación filogenética con otras especies del género *Hermetia* (Albalawneh et al., 2025; Guilliet et al., 2022; Qi et al., 2017).

La mosca soldado-negra presenta un ciclo de vida holometábolo; es decir, experimenta una metamorfosis completa la cual comprende cuatro etapas principales: huevo, larva, pupa y adulto (Fig.1). La duración de cada fase depende directamente de las condiciones ambientales a las que el organismo se vea expuesto, especialmente a la temperatura y humedad (Scieuzo et al., 2025).

El estadio de huevo corresponde al desarrollo embrionario del insecto. La hembra deposita los huevos generalmente en grietas o sobre superficies próximas a sustratos orgánicos, donde las larvas encontrarán alimento al eclosionar. Se estima que su fecundidad es de 620 a 700 huevos por puesta. Anteriormente, se pensaba que solo depositaba huevos una vez antes de morir (Tomberlin et al., 2002); sin embargo, estudios recientes han demostrado que puede reproducirse varias veces si las condiciones

son favorables (Barros et al., 2019;). La tasa de eclosión es alta, cercana al 93 % en condiciones naturales, lo que se traduce en un elevado éxito reproductivo. Sin embargo, temperaturas persistentemente bajas o precipitaciones intensas pueden afectar de manera negativa la producción de huevos y su viabilidad (Wang et al., 2019). Morfológicamente, los huevos miden aproximadamente 1 mm de longitud y presentan una forma elíptica y alargada con un corion (cáscara) liso y una coloración que va de blanco crema a amarillento (Ii & Kaufman, 2009).

El estadio larval constituye una de las fases más críticas del ciclo de vida, tanto desde el punto de vista biológico como aplicado. En esta etapa se concentran diversas aplicaciones biotecnológicas y ecológicas, como la conversión de residuos orgánicos en biomasa proteico-lipídica para uso animal y su uso en entomología forense para estimar el intervalo post mortem (PMI)(K. B. Barragán-Fonseca et al., 2017; Obafunwa et al., 2025). Las larvas atraviesan siete instares durante su desarrollo. Los seis primeros corresponden a una fase de intensa alimentación y rápido crecimiento, con una curva de consumo de tipo sigmoide: inicialmente se observa un incremento acelerado de la biomasa, seguido de una desaceleración del crecimiento en los estadios finales. El séptimo instar es una fase migratoria y no alimentaria, previa a la pupación. Durante los estadios intermedios, la tasa metabólica es elevada, pero disminuye hacia el final del desarrollo, cuando la energía se redirige principalmente a procesos de reorganización interna y preparación para la metamorfosis (Fabian et al., 2025; Gligorescu et al., 2018).

Morfológicamente las larvas presentan adaptaciones especializadas a un hábito saprófago. El aparato bucal y la región cefálica están modificados para la ingesta de sustratos semilíquidos, con un complejo mandibular–maxilar que permite fragmentar y separar las partículas orgánicas finas de las más gruesas (Bruno et al., 2025). Son ápodas (carecen de patas), hemicefálicas (cabeza parcialmente reducida) y holoneustas (poseen espiráculos funcionales en varios segmentos corporales), con un cuerpo aplanado

dorsoventralmente (Barros et al., 2019). Presentan, además, una quetotaxia característica (patrón de distribución de las cerdas del cuerpo) en los segmentos torácicos y abdominales.

El estadio de pupa dura aproximadamente 8 días (192 horas) (Barros et al., 2019) y representa un periodo de intensa reorganización interna previo a la emergencia del adulto. La velocidad de estos cambios está fuertemente condicionada por la temperatura: a mayor temperatura, menor es la duración del desarrollo pupal. Durante el desarrollo intrapuparial se han descrito cuatro fases morfológicas principales, que comprenden modificaciones progresivas en la cabeza y en los apéndices torácicos. Las pupas de *H. illucens* son adécticas (sin mandíbulas funcionales) y coartadas (se mantienen protegidas por la cutícula larval). Presentan un tegumento de color marrón oscuro, con variaciones en el brillo que pueden ir de marrón a dorado, las cuales proporcionan protección durante la metamorfosis hasta la emergencia del adulto (Barros et al., 2019).

En su etapa adulta, la MSN presenta una longevidad relativamente breve, con una duración que oscila entre 8 y 10 días. Las hembras adultas tienen una esperanza de vida, aproximadamente 30% mayor que la de los machos. Esta diferencia en la longevidad entre los sexos está influenciada por las condiciones ambientales y la dieta específica en la que se desenvuelven. De igual manera, las hembras alcanzan mayor tamaño que los machos (1,5 a 1,9 cm de longitud y 120-125 mg de masa versus 1,5 a 1,7 cm y pesan 90-95 mg) (B. M. Jones & Tomberlin, 2020; Sanjaya et al., 2019).

Al contrario de la creencia común de que los adultos de *H. illucens* no se alimentan y dependen únicamente de las reservas acumuladas durante la fase larval, estudios han demostrado que poseen un sistema digestivo funcional. Entonces, aunque utilizan sus reservas larvales, también pueden ingerir y procesar alimentos, principalmente líquidos ricos en carbohidratos. Además, se ha determinado que la ingesta de soluciones de miel mejora la fecundidad, la producción de huevos y la supervivencia posterior a la oviposición (Bruno et al., 2025; Klüber et al., 2023). En cuanto a su comportamiento de apareamiento,

la MSN presenta un sistema reproductivo poliginándrico, en el que tanto los machos como las hembras pueden aparearse con múltiples individuos, alcanzando como máximo nueve cópulas. Como se mencionó anteriormente, las hembras pueden tener más de un evento reproductivo. También es relevante destacar que las hembras vírgenes pueden poner huevos no fertilizados, aunque en menor cantidad, pero no existe evidencias experimental de que sean partenogenéticas (Munsch-Masset et al., 2023; Muraro et al., 2024).

El comportamiento exhibido por los machos durante la atracción de las hembras resulta particularmente relevante desde el punto de vista etológico. Se ha observado que hembras y machos se agrupan en áreas cercanas a sitios de oviposición para aumentar sus posibilidades de encontrar pareja. Eligen lugares con buena iluminación solar ya que el sol actúa como una señal que activa y coordina su comportamiento reproductivo, fundamental para el apareamiento (Giunti et al., 2018). Los machos no esperan pasivamente: baten fuertemente sus alas para llamar la atención de las hembras. Este comportamiento es crucial para que las hembras los acepten. Se han visto intentos de cortejo entre machos, lo que sugiere ciertas limitaciones para reconocer el sexo durante el vuelo. Esto puede deberse a la falta de señales visuales o conductuales claras para distinguirse (Giunti et al., 2018).

Aunque el papel ecológico de los adultos no se considera tan relevante como el de las larvas y su función principal es la reproducción mediante el apareamiento y la puesta de huevos, los adultos integran la cadena trófica y sirven de alimento para aves, pequeños reptiles y arañas. De esta manera, contribuyen a la transferencia de energía hacia distintos niveles del ecosistema. Cabe notar, que no se ha encontrado evidencia de que sean vectores significativos de enfermedades (Miranda et al., 2019).

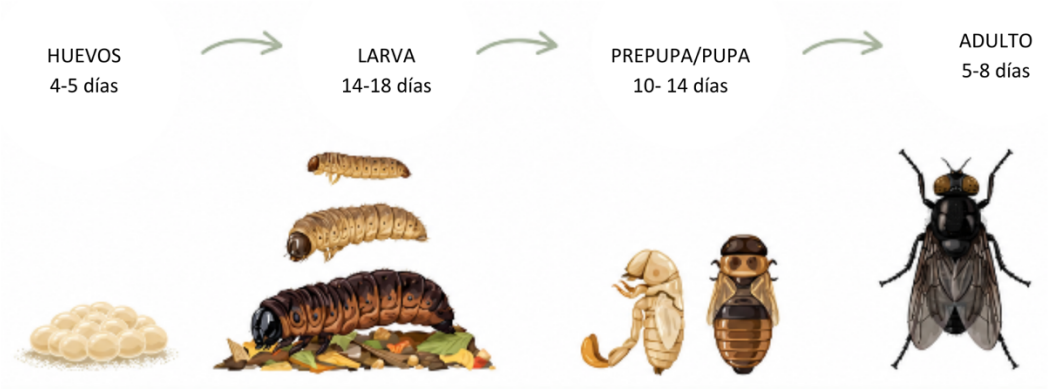


Fig. 1. Ciclo de vida de la mosca soldado negra, indicando las principales etapas de desarrollo y su duración aproximada bajo condiciones óptimas de temperatura (25-30°C).

1.2 Biogeografía de *Hermetia illucens*

Hermetia illucens, nativa de zonas tropicales, subtropicales y templadas cálidas de América (Bertinetti et al., 2019), se encuentra ampliamente distribuida a nivel mundial. Factores ambientales y la intervención humana han promovido gradualmente su introducción y expansión en diversas regiones, incluyendo Europa, África, Asia y América (Giunti et al., 2018). El estudio de Demetriou et al. (2022) presenta nuevos registros de esta especie en la región Paleártica Occidental, a partir de colectas de campo y de una revisión crítica de reportes previos. En dicho trabajo se documenta su presencia en Austria, Bélgica, Chipre, Israel, Líbano y Reino Unido, constituyendo nuevos registros para estos países.

La distribución de la MSN más allá de su rango nativo constituye un claro ejemplo de su elevada plasticidad ecológica. Sus ciclos de vida relativamente cortos, su alta tasa reproductiva y su elevada producción de biomasa larval le permiten desarrollarse en distintos sustratos y tolerar variaciones de temperatura y humedad (Li et al., 2016). La globalización y el comercio han sido factores que más influencia han tenido en su dispersión. El crecimiento masivo registrado en los últimos años en la producción de proteína alternativa a partir de MSN, la bioconversión de residuos y la elaboración de

fertilizantes han promovido el transporte deliberado de poblaciones de MSN hacia diferentes continentes. Esto ha permitido su expansión a regiones donde originalmente no estaba presente, incrementando el riesgo de escapes accidentales y liberaciones no controladas (Muchina et al., 2026). En conjunto, estos factores permiten que la especie se establezca en áreas a las que sola no podría haber llegado.

La distribución de la mosca soldado-negra está estrechamente condicionada por diversas variables climáticas. El estudio de Pazmiño-Palomino et al. (2022), evaluó el efecto del cambio climático sobre la distribución de esta especie, determinó que las variables más relevantes para definir su rango de distribución potencial son la temperatura del trimestre más seco junto con la precipitación del trimestre más frío. Si las temperaturas se incrementan en exceso y además disminuye la humedad, pueden aumentar el estrés térmico y la deshidratación, afectando especialmente a las fases inmaduras (huevo y larva). La segunda variable, la precipitación del trimestre más frío, también resulta determinante, dado que, aunque las larvas toleran climas templados, requieren cierto nivel de humedad ambiental para su adecuado desarrollo. En este contexto, si el periodo más frío del año es excesivamente seco, el desarrollo de la especie se vería limitado (Pazmiño-Palomino et al., 2022). Estos resultados sugieren que la especie no solo depende de “ambientes cálidos” para establecerse, sino que requiere un equilibrio entre temperatura y humedad para sobrevivir y prosperar.

Las proyecciones indican que hacia el año 2070 la especie podría desplazar su rango de distribución hacia latitudes más altas y perder hasta un 10 % de su área, debido al incremento de la temperatura en zonas tropicales asociado al cambio climático global. Entonces, a pesar de que actualmente la especie se encuentra expandiendo su rango, ayudada por el ser humano, es posible que en el futuro su área de distribución se reduzca (Pazmiño-Palomino et al., 2022).

1.3 Interacciones interespecíficas

Comprender las interacciones interespecíficas de *Hermetia illucens* es fundamental para determinar su papel ecológico en los ecosistemas y su impacto en las comunidades biológicas asociadas. Diversos estudios han demostrado que el *frass* (excremento de insectos) de moscas necrófagas y saprófagas especialmente de la MSN incrementa de manera significativa la abundancia de artrópodos edáficos, incluidos depredadores como los coleópteros carábidos (Yudistira et al., 2026). Este efecto se atribuye al aumento del contenido de carbono y nutrientes en el suelo, lo que sugiere una mayor actividad y biomasa microbiana (bacterias y hongos) y, en consecuencia, una mayor disponibilidad de recursos tróficos para los artrópodos detritívoros. Estos hallazgos indican que la MSN actúa como un ingeniero del ecosistema edáfico entendido como el conjunto de organismos, procesos y factores físicos que ocurren en el suelo al promover la diversidad funcional, en contraste con los fertilizantes químicos, que tienden a simplificar la comunidad biológica (Yudistira et al., 2026).

Cuando las larvas de la MSN están en ambientes ricos en materia orgánica, compiten con otros descomponedores por el acceso a nutrientes disponibles en el sustrato. Estos ambientes presentan una alta carga microbiana que expone a las larvas a interacciones de parasitismo y competencia con múltiples microorganismos. Frente a esta presión las larvas activan mecanismos de defensa inmunológica, produciendo compuestos antimicrobianos, como péptidos y lisozima (Zdybicka-Barabas et al., 2017). Sin embargo, esto va más allá de una simple defensa y actúa como una estrategia que reduce la presencia de microorganismos competidores. Esto les permite no solo defenderse de posibles patógenos, sino también modificar su entorno para asegurar que la mayor cantidad de nutrientes estén disponibles.

El estudio de Melnychuk et al. (2024) asocia a las larvas de *Hermetia illucens* con la incidencia de miasis en cerdos, ganado vacuno, aves de corral y humanos en entornos con alta contaminación por residuos orgánicos en descomposición, como letrinas o cadáveres. El estudio describe casos de

hermetiosis (enfermedad rara causada por la ingesta accidental de larvas de la MSN). Esta enfermedad se produce debido a que las larvas ingeridas logran sobrevivir en el sistema digestivo del animal gracias a su resistencia al ácido del estómago y a su capacidad de cerrar herméticamente sus órganos respiratorios para no asfixiarse. Una vez dentro, las larvas usan sus fuertes mandíbulas para raspar y alimentarse de tejidos internos del huésped, lo que provoca daños mecánicos y tóxicos que resultan en inflamación crónica, hemorragias y erosiones en las paredes del estómago y los intestinos. Los síntomas severos incluyen dolor abdominal intenso, vómitos, incluso de larvas vivas, diarrea con sangre, moco e incluso pérdida del conocimiento. No obstante, es importante mencionar, que la especie no es considerada una amenaza sanitaria predominante debido a que estas interacciones son limitadas y circunstanciales, derivándose principalmente de la violación de normas de higiene y no de una necesidad biológica de la mosca por parasitar organismos vivos.

1.4 *H. illucens* como especie naturalizada versus invasora.

La ecología de las invasiones nos permite comprender cómo ciertas especies logran establecerse en ambientes distintos a los de su origen, alterando o no los ecosistemas a los que llegan. Desde una perspectiva científica, una “especie exótica” se define como aquella que se encuentra fuera de su rango geográfico natural y que, sin intervención humana, es capaz de reproducirse y mantenerse durante varias generaciones. (Kimble, 2014). También se conocen como alienígenas, no nativas o introducidas. En cambio, una especie invasora es una exótica que causa daños significativos a otras especies, al ambiente, a la economía o a la salud humana (Corn & Johnson, 2014). Es importante aclarar que no todas las especies exóticas son consideradas “invasoras”. Muchas especies exóticas no llegan a tener un impacto negativo en el ecosistema no nativo y logran integrarse sin causar daños significativos. Para estas, se utiliza el término “naturalizada”. Incluso, dependiendo del caso, pueden aportar beneficios ecológicos como la

aceleración en la descomposición de materia orgánica, polinización, dispersión de semillas, reciclaje de nutrientes, restauración ambiental, entre otros (Kimble, 2014).

El proceso para que una especie se establezca en una nueva área se divide en tres fases: introducción, establecimiento y propagación. Sin embargo, en cada una de estas fases existen subprocesos y filtros que determinan si la especie avanza o fracasa. Además, antes de la llegada efectiva de la especie a un área nueva, se da una fase de pre-introducción en la que se generan, crían o acumulan los propágulos (unidad biológica capaz de colonizar un nuevo ambiente). Las introducciones pueden ser intencionales o no intencionales. La introducción intencional ocurre cuando se libera deliberadamente una especie exótica con fines comerciales, agrícolas, recreativos o de mejora del suelo(Kimble, 2014; Lockwood et al., 2005). La introducción no intencional es accidental, ocasionada por el transporte de polizones en mercancías, cargamentos agrícolas, aguas de lastre en puertos, o como consecuencia secundaria del desplazamiento humano. Este tipo accidental representa aproximadamente 80% de las introducciones (Lockwood et al., 2005). Una vez que los individuos llegan, deben sobrevivir a barreras abióticas (temperatura, humedad, disponibilidad de hábitat) y bióticas (depredación, competencia) y superar limitaciones demográficas iniciales (deriva, efecto Allee). El establecimiento de los individuos que logran persistir va a depender también de la presión del propágulo, que se refiere al número de individuos por evento de introducción, su condición, así como del número de propágulos y su frecuencia de introducción. También cabe mencionar que un número mayor de individuos incrementa la variación genética, permitiendo que tengan una adaptación más fácil a las condiciones locales y a cambios en el ambiente. Se puede concluir que el establecimiento no es un evento puntual, sino que depende de un proceso acumulativo en el que la presión del propágulo desempeña un papel fundamental para que la especie tenga poblaciones viables (Blackburn et al., 2011; Lockwood et al., 2005). Tras el establecimiento de una especie exótica en un nuevo territorio, comienza la fase de propagación, caracterizada por la expansión de la especie más allá del sitio de introducción. Durante esta etapa, se observa un crecimiento

exponencial en la abundancia de la especie. Este proceso no es inmediato ni uniforme, ya que diversos factores biológicos pueden afectar temporalmente el avance de la invasión. Entre estos factores se encuentra el tiempo necesario para que los individuos alcancen la madurez en los nuevos sitios colonizados antes de producir más propágulos (Arim et al., 2006; Lockwood et al., 2005). Además, otros factores importantes incluyen la disponibilidad limitada de recursos alimenticios en el nuevo ambiente, que puede reducir las tasas de crecimiento poblacional, y la presencia de depredadores o competidores nativos que ejercen presión sobre la especie invasora, limitando su expansión inicial (Arim et al., 2006; Lockwood et al., 2005).

Definir el estatus de la MSN como naturalizada o invasora no es simple y depende del marco ecológico y geográfico que se quiera evaluar (Arim et al., 2006). Su interpretación puede ser, en cierta medida, subjetiva, porque, como hemos visto, mantiene poblaciones estables en múltiples regiones, pero hasta la fecha, no se han evidenciado impactos ecológicos negativos derivados de su establecimiento. Por el contrario, en varios sistemas se comporta como una especie naturalizada, que contribuye a diferentes procesos, como la descomposición de materia orgánica, el reciclaje de nutrientes, la reducción de residuos biológicos y el paso de energía a través de la cadena trófica (Surendra et al., 2020; Tariq et al., 2025). Así, su estatus parece responder más a un gradiente entre naturalización y potencial invasivo.

2. Distribución de *H. illucens* en las Galápagos.

2.1 Condiciones climáticas de las Islas Galápagos

Las Galápagos presentan condiciones ambientales particulares dentro de la región tropical, debido a que, aunque se encuentran cerca de la línea ecuatorial, su clima está fuertemente condicionado por las interacciones con corrientes oceánicas, entre ellas, las más importantes: la Corriente fría de Humboldt y la corriente cálida del Niño. De hecho, esta interacción es la que le permite al Archipiélago

albergar diferentes zonas de vida en un área no tan amplia (Nelson & Sachs, 2016). El clima de las Galápagos se caracteriza por dos estaciones bien definidas. La primera corresponde a la estación cálida y húmeda, que se extiende desde diciembre hasta mayo. Durante este periodo tenemos temperaturas más elevadas, mayor radiación solar y precipitaciones relativamente frecuentes. La segunda estación es fría o de garúa; ocurre entre junio y diciembre, cuando la influencia de la corriente de Humboldt provoca temperaturas más bajas, una disminución significativa de las precipitaciones en las zonas bajas y la formación de neblina en las zonas altas (Nelson & Sachs, 2016).

2.2 Zonas de vida en las Galápagos

La combinación de la altitud, la temperatura y la disponibilidad de humedad dan origen a siete zonas de vegetación: la zona litoral, la zona árida, la zona de transición, la zona de Scalesia, la zona de Zanthoxylum (o zona café), la zona de Miconia y la zona de la pampa (Wiggins et al., 1971). La zona árida constituye la formación más extensa de las Galápagos y se caracteriza por una baja disponibilidad de agua, especialmente durante la estación seca; en ella predominan especies adaptadas a largos períodos de sequía, como cactus y arbustos xerofíticos. Por encima de esta se encuentra la zona de transición, donde la vegetación adquiere mayor densidad debido al incremento gradual de la humedad. En elevaciones intermedias se ubica la zona de Scalesia, considerada uno de los ecosistemas terrestres más productivos del archipiélago, con bosques nublados dominados por especies endémicas. La zona de Zanthoxylum, o zona café, se sitúa por encima de la de Scalesia y se caracteriza por una mayor presencia de epífitas y líquenes. Exclusiva de las laderas meridionales de Santa Cruz y San Cristóbal, la zona de Miconia presenta ambientes muy húmedos y sin árboles nativos, dominada por el arbusto endémico *Miconia robinsoniana*. Finalmente, las zonas más elevadas corresponden a la pampa, la región más húmeda y lluviosa del archipiélago, caracterizada por helechos, gramíneas y musgos (Charney et al., 2021; Trueman et al., 2014)

3. Modelamiento del nicho ecológico de *Hermetia illucens* en Sudamérica y su proyección a las Islas Galápagos.

El modelamiento de distribución de especies permite determinar restricciones fisiológicas y limitaciones ecológicas que definen el nicho climático de una especie (Fick & Hijmans, 2017). En general, variables bioclimáticas que combinan temperatura y precipitación son útiles para describir las condiciones ambientales en escalas de tiempo relevantes para los procesos biológicos. Las 19 variables estándar de WorldClim son las más usadas en ecología y biogeografía y en modelamiento de nicho ecológico. Sin embargo, al estar algunas muy correlacionadas entre sí, pueden generar redundancia y sobreajuste en modelos de distribución de especies, como MaxEnt. Por eso, es habitual elegir un subconjunto de variables que capturen la variabilidad climática esencial y que sean ecológicamente relevantes para la especie que estudiamos (Phillips et al., 2006)

Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) tiene una alta plasticidad ecológica y aprovecha bien los recursos orgánicos; es frecuente en ambientes con influencia humana (Arya et al., 2025). Para modelar su distribución potencial, nos enfocamos en variables que reflejan temperaturas extremas y patrones de precipitación anual y trimestral, porque esos factores regulan el desarrollo, la reproducción y la disponibilidad de recursos (Scieuzo et al., 2025). La selección de variables, hecha con correlación y agrupamiento (UPGMA), nos asegura calibrar el modelo con información climática no redundante y ecológicamente interpretable (Sokal & Michener, 1958).

Recopilamos registros de ocurrencia de *Hermetia illucens* en bases de datos públicas (GBIF, iNaturalist) (GBIF.org, 2026; iNaturalist, 2026). Luego, filtramos los datos, incluyendo solo aquellos con identificación válida a nivel de especie, coordenadas y sin errores evidentes de georreferenciación o duplicados. Después de limpiar los datos, obtuvimos 1206 localidades válidas en América del Sur, que usamos para calibrar el modelo.

Las capas bioclimáticas se descargaron de CHELSA (Karger et al., 2017) y se recortaron a América del Sur (Karger et al., 2017). Extrajimos el valor de cada variable para cada localidad y construimos una matriz de correlación de Pearson para detectar correlaciones altas. Para evitar redundancia y sobreajuste, eliminamos variables con $|r| > 0,75$. Así, seleccionamos siete variables relevantes para *H. illucens*: temperatura media anual (Bio1), temperatura máxima del mes más cálido (Bio5), precipitación anual total (Bio12), estacionalidad de la precipitación (Bio15), precipitación del trimestre más seco (Bio17), precipitación del trimestre más cálido (Bio18) y precipitación del trimestre más frío (Bio19).

Estandarizamos las siete variables (media = 0; desviación estándar = 1) para que todas estuvieran en la misma escala. Con esos datos, construimos una matriz de distancias entre localidades usando las 7 variables estandarizadas y aplicamos el agrupamiento jerárquico UPGMA (Unweighted Pair Group Method with Arithmetic Mean), para evaluar la similitud ambiental y apoyar la selección de variables independientes e informativas (Sokal & Michener, 1958).

Con las variables ya definidas, usamos MaxEnt (Maximum Entropy) para modelar la distribución potencial de *H. illucens* en América del Sur. El modelo se calibró con las 1206 localidades y las siete variables seleccionadas. Empleamos validación cruzada k-fold y calculamos el AUC (Área Bajo la Curva ROC) para evaluar el desempeño. MaxEnt también nos dio la contribución de cada variable a la predicción de la distribución (Phillips et al., 2006). Tratamos Galápagos como una región de proyección independiente. Recopilamos un conjunto adicional de registros de presencia en las Galápagos (GBIF, iNaturalist, Data Zone) que no usamos en la calibración. Una vez generado el mapa de distribución, esos registros sirvieron para evaluar externamente la proyección. Luego aplicamos el umbral "máxima sensibilidad + especificidad" (0,416) para convertir el mapa continuo de probabilidades en un mapa binario (presencia/ausencia). Finalmente, recopilamos las coordenadas de los principales centros poblados de las Galápagos (Santa Cruz, San Cristóbal, Floreana e Isabela) y las superpusimos con los

registros de presencia y los mapas de idoneidad de MaxEnt. Esto nos permitió evaluar visualmente la relación entre la distribución potencial de la especie y las áreas habitadas del archipiélago.

3.1 Caracterización del nicho ecológico de *Hermetia illucens* en Sudamérica

El modelo de distribución potencial para *Hermetia illucens* arrojó un valor de AUC de 0,8, que indica una capacidad discriminatoria moderada a buena (Swets, 1988). El análisis de la contribución de las variables ambientales mostró que la temperatura máxima del mes más cálido (BIO5) fue el predictor con mayor peso explicativo (Fig. 2) (Hijmans et al., 2005). Este resultado es coherente, ya que la MSN es una especie de origen tropical cuyo desarrollo, supervivencia y reproducción dependen directamente de condiciones cálidas y estables (Tomberlin et al., 2002).

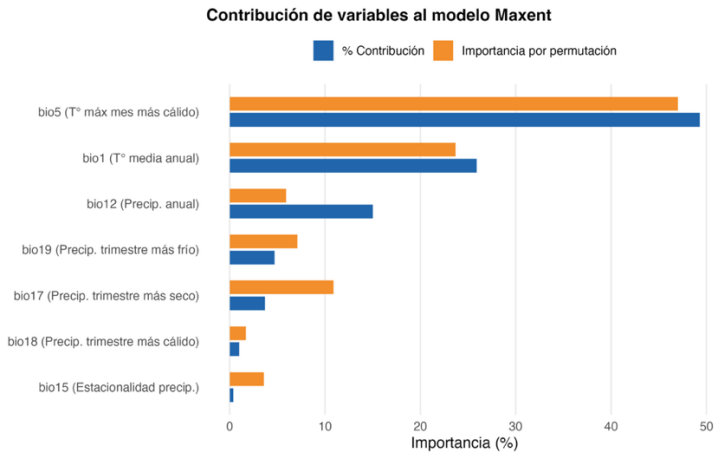


Fig. 2. Variables bioclimáticas utilizadas en el modelamiento y su contribución en la distribución potencial de *Hermetia illucens* para Sudamérica.

En Sudamérica, las áreas con los valores más altos de idoneidad ambiental para *H. illucens* (>0,6) se concentraron en el sureste y sur de Brasil, así como en sectores del litoral atlántico brasileño (Fig. 3). Esta región combina temperaturas cálidas, alta humedad relativa y marcada estacionalidad térmica; en conjunto, parece ofrecer condiciones óptimas para el establecimiento y la proliferación de la especie. Asimismo, se identificaron regiones de idoneidad media a alta (0,4 a 0,6) a lo largo de las vertientes

occidentales de los Andes, desde Colombia hasta el norte de Chile. La parte central de la Amazonía, a pesar de tener temperaturas cálidas, presenta una idoneidad media a baja para la especie, posiblemente debido a que los suelos permanecen húmedos la mayor parte del tiempo y la vegetación es muy densa, lo que reduce la probabilidad de que *Hermetia illucens* logre encontrar sitios apropiados para depositar sus huevos, ya que, como vimos, necesita lugares con fuentes cercanas de materia orgánica. En las regiones más frías y secas, como la Patagonia, el Desierto de Atacama y el Altiplano andino, la idoneidad es aún menor, ya que el frío y la falta de humedad son condiciones que la especie no puede tolerar. Para los puntos de registro la mayoría coincide con las zonas de mayor idoneidad predichas por el modelo.



Fig. 3. Áreas potencialmente favorables para *Hermetia illucens* en Sudamérica según el modelo de nicho ecológico. Los puntos azules representan registros de ocurrencia de la especie.

3.2 Proyección de la distribución potencial de *Hermetia illucens* en las Islas Galápagos.

Al proyectar el modelo sobre las Islas Galápagos, los resultados muestran que en general las condiciones son favorables para Hermetia illucens. La mayoría de las islas presentan valores de idoneidad por encima de 0,5 y en varios sectores estos valores llegan cerca de 0,9, siendo los más altos de todo el análisis. Isla Isabela, al ser la más grande y tener una mayor variedad de climas y alturas, muestra un patrón bastante variado. Las zonas costeras y de altitud media tienen una idoneidad alta, mientras que las áreas que están más cerca de cráteres volcánicos o de mayor elevación bajan considerablemente, lo que probablemente puede estar relacionado con temperaturas más frías y suelos volcánicos donde hay poca materia orgánica disponible. En Santa Cruz y San Cristóbal, tienen valores altos de idoneidad de manera bastante uniforme a lo largo de la superficie. Las islas más pequeñas, como Española, Fernandina y Marchena, muestran igualmente valores medios a altos en sus zonas bajas y costeras, aunque con menor extensión de área por su tamaño reducido. Para completar este análisis, se generó también un mapa binario de un umbral de idoneidad de 0,416 a partir del cual se consideró que las condiciones son suficientemente aptas para la presencia de la especie. Los resultados de este mapa muestran que prácticamente la totalidad del archipiélago quedaría clasificada como área apta para que la especie pueda estar.

Los registros de presencia de *H. illucens* en el Archipiélago, disponibles en bases de datos como GBIF y iNaturalist, DataZone son actualmente escasos. Se cuenta con 24 registros georreferenciados entre 1997 y 2025, lo que, en general, permite trazar una distribución preliminar de las islas Santa Cruz, Isabela y San Cristóbal, con mayor presencia en Santa Cruz (Fig. 4). Cuando superpusimos estos registros sobre el mapa de idoneidad, los valores de probabilidad en los puntos de presencia oscilaron entre 0,63 y 0,85; es decir, los registros conocidos están en áreas con alta aptitud ambiental según el modelo (Tabla 1).

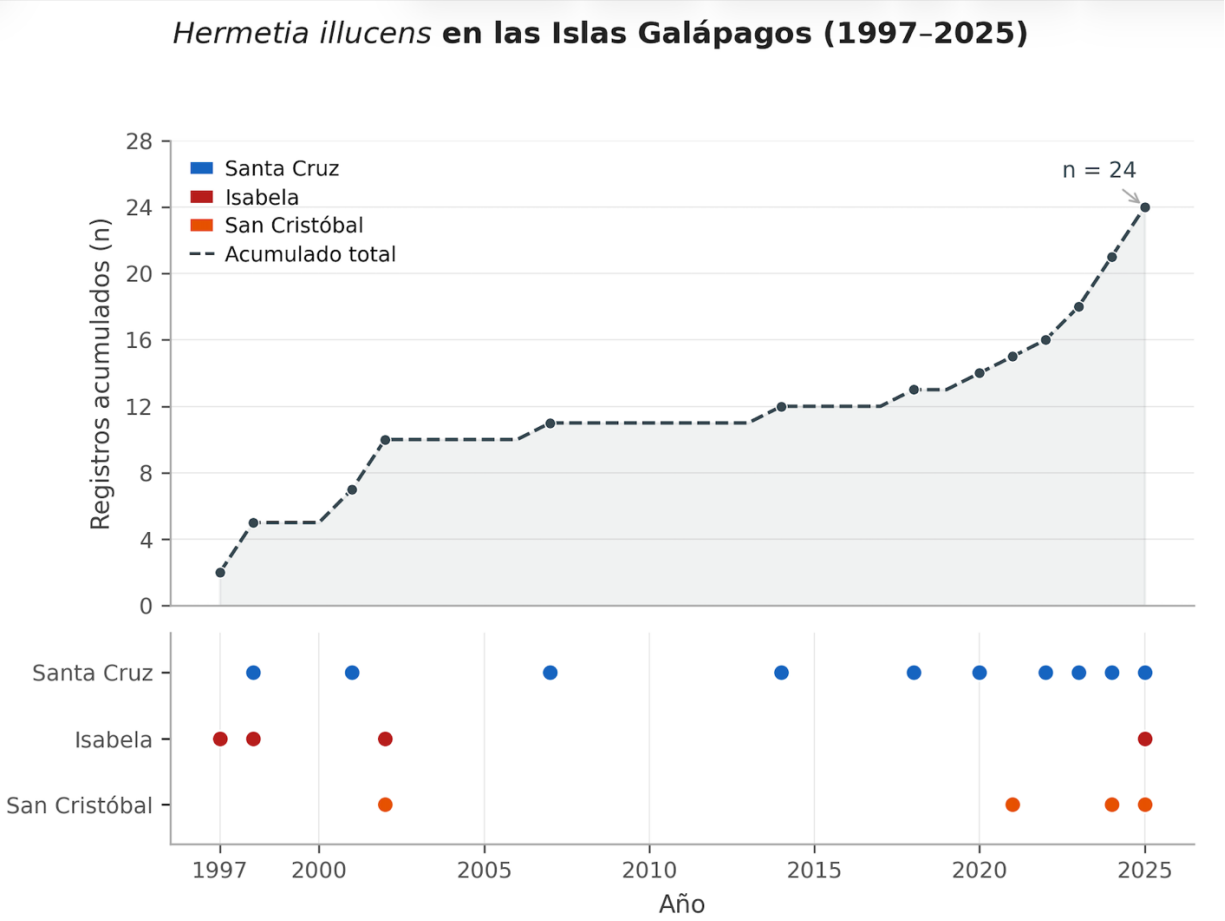


Fig. 4. Distribución temporal de los registros de *Hermetia illucens* en el archipiélago de las Galápagos entre 1997 y 2025. Los puntos indican registros individuales clasificados por isla (Santa Cruz, Isabela, San Cristóbal). La línea punteada representa el número acumulado de registros a lo largo del tiempo.

Nuestro modelo mostró que varios registros de presencia están cerca de centros poblados y en zonas de alta idoneidad, lo que sugiere una posible asociación con ambientes antropizados (Fig. 5). Esto se podría deber a que las zonas residenciales y sus alrededores producen grandes volúmenes de residuos orgánicos, incluidos desechos domésticos, agrícolas y ganaderos, que constituyen una fuente importante de nutrientes para el crecimiento y desarrollo larval de esta especie (Escobar-Camacho et al., 2021). Asimismo, la actividad humana puede facilitar la dispersión de la especie entre distintas áreas mediante el transporte de materia orgánica .

Los dos registros más antiguos de *H.illucens* en las islas se registraron en el Volcán Alcedo, Isabela (1997 y 1998), lo cual puede resultar interesante debido a que contrasta con el patrón que se observó con el resto de registros en la base de datos, donde la mayoría de datos se concentran cerca de poblados como Puerto Ayora o Puerto Baquerizo Moreno. Alcedo resulta ser uno de los sectores más remotos y menos habitados del archipiélago, por lo que su presencia ahí no puede explicarse fácilmente por la disponibilidad de residuos domésticos. Esto puede deberse a que por estos años Alcedo albergaba a una de las poblaciones de cabras derales más grandes documentadas en un ecosistema insular. Por este motivo, se inició el Proyecto Isabela en 1997 (Carrion et al., 2011; "Project Isabela", s. f.). Sugiriendo es que la disponibilidad de excremento y caroña de fauna introducida puede constituir un sustrato orgánico alternativo para la especie, independientemente de residuos generados por el humano.

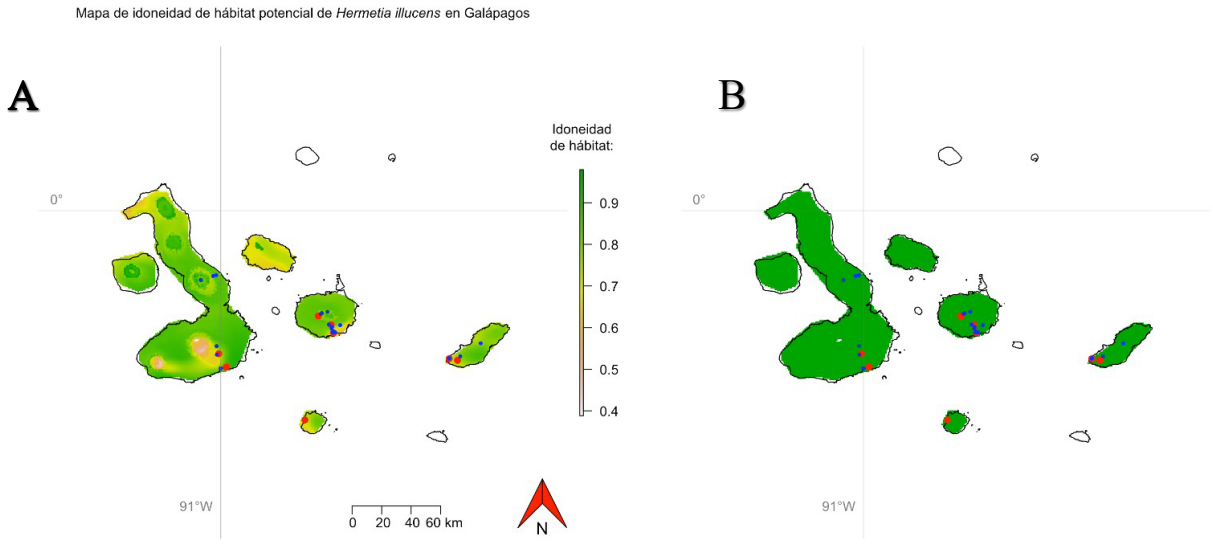


Fig. 5. Mapa de idoneidad de hábitat potencial para *Hermetia illucens* en el archipiélago de las Galápagos. A) Predicción continua de idoneidad ambiental, donde los tonos más claros representan menor idoneidad y los tonos verdes más intensos mayor idoneidad. B) Clasificación binaria de las áreas potencialmente adecuadas para la especie. Los puntos azules corresponden a registros de ocurrencia de *H. illucens* y los puntos rojos a localidades pobladas del archipiélago.

En general, los resultados del modelamiento indican que, además de los factores climáticos, la actividad humana y los recursos orgánicos que genera también podrían ser factores importantes que influyen en la distribución de la especie en el archipiélago de las Galápagos. Por lo tanto, al evaluar el impacto ecológico de esta especie y su potencial de aplicación en la gestión de residuos orgánicos, se debe tener en cuenta tanto las condiciones ambientales como el papel de los factores antropogénicos.

4. Gestión actual de residuos en el archipiélago de las Galápagos

4.1 Generación y tipos de residuos orgánicos en el archipiélago

La generación de residuos orgánicos en el Archipiélago de las Galápagos enfrenta desafíos significativos debido al aumento sostenido de la población humana, el turismo y la insuficiencia de infraestructura para la gestión de desechos. Entre 2010 y 2022 la población del archipiélago creció un 13,8 % (INEC, 2010; 2022). Siendo Santa Cruz, la isla más poblada demostrando un crecimiento constante, pasando de 15.393 habitantes (2010) a 17.233 (2022), lo que representa un incremento del 12%. Este cantón es el que más desechos produce al día, debido también a la alta presión turística. La producción de residuos sólidos municipales (RSM) se estima en 0,911 kg por habitante por día, lo que equivale a aproximadamente 18,6 toneladas diarias, incluyendo residuos domésticos, comerciales e institucionales. Para una isla de dimensiones relativamente pequeñas, esta cantidad diaria de residuos ejerce una presión considerable sobre un ecosistema tan frágil. Por lo tanto, resulta fundamental implementar estrategias orientadas a minimizar al máximo este impacto ambiental (Poma et al., 2025).

El turismo ejerce una considerable presión ambiental sobre el archipiélago. En el primer semestre de 2025, se registró el ingreso de 145.655 visitantes, cifra que representa un crecimiento del 4% respecto a 2022 (Caisaguano et al., 2025). Si bien, esto genera presión sobre los ecosistemas, el turismo constituye un motor económico fundamental en las islas, ya que representa una parte significativa del ingreso y

empleo local. El crecimiento no controlado del turismo incrementa las importaciones de bienes, la generación de residuos y la demanda de recursos escasos como agua y energía. Si bien no existen reportes exactos sobre la cantidad de desechos generados exclusivamente por el turismo, se estima que diariamente se producen 28,6 toneladas de residuos en Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela. Es esencial señalar que este valor solo incluye residuos generados por la población local y actividades humanas en las islas, y no contempla, por ejemplo, los residuos marinos que llegan a través de corrientes oceánicas, los cuales también constituyen un factor determinante. Por lo tanto, resulta esencial abordar ambos temas de manera conjunta, ya que están interrelacionados y es necesario encontrar un equilibrio que garantice la sostenibilidad futura.

4.2 Sistema actual de manejo de residuos: falencias, riesgos ambientales y limitaciones operativas

El sistema de gestión de residuos sólidos en el archipiélago de las Galápagos, operado por los Gobiernos Autónomos Descentralizados Municipales (GADM), enfrenta una saturación operativa crítica en las celdas de confinamiento de Santa Cruz, San Cristóbal e Isabela, las cuales se encuentran al borde del colapso funcional (Poma et al., 2025). La ineficiencia en la infraestructura de separación de la basura y la ausencia de programas de economía circular provocan que tanto los desechos reciclables como los no reciclables sean depositados en vertederos comunes. Además, las personas suelen optar por quemar la basura, lo que libera gases químicos tóxicos (dioxinas y furanos) al ambiente que ponen en riesgo la salud de la comunidad y la conservación de las islas. Desde una perspectiva ambiental, la ausencia de un sistema de segregación de residuos, sumada a la intensa radiación ultravioleta que recibe el archipiélago, genera ciertas complicaciones como la generación de microplásticos que causan afectaciones a la flora, fauna y salud humana del archipiélago. (Muñoz-Pérez et al., 2023; O'Hara, 2024).

5. Bioconversión de residuos con *Hermetia illucens*.

5.1 Biología y características de *Hermetia illucens* en la degradación de residuos

La fase larval de *Hermetia illucens* es la principal responsable de la degradación de residuos, gracias a su alta tasa de alimentación y rápida acumulación de biomasa. Durante este periodo, las larvas consumen grandes cantidades de materia orgánica y transforman el sustrato a través de procesos como la fragmentación física, la digestión enzimática y la asimilación de nutrientes, que reducen la masa orgánica entre un 50% y un 70%. Para triturar el sustrato, las larvas usan un complejo mandibular-maxilar y un sistema multienzimático que incluye amilasas, lipasas y proteasas, que descomponen carbohidratos, grasas y proteínas. El aparato bucal actúa como una "máquina perforadora", triturando mecánicamente los residuos para facilitar su digestión. Un aspecto importante es la regionalización de su intestino, en el cual su canal alimenticio se divide en tres secciones principales: el intestino anterior (estomodeo), intestino medio (mesenterón) e intestino posterior (proctodeo). En este caso el intestino medio tiene propiedades químicas que hacen que sea una zona extremadamente ácida, con un pH cercano a 2, este ambiente extremo, junto con la acción de péptidos antimicrobianos, ayuda a eliminar patógenos como *Salmonella spp*. y *Escherichia coli*, higienizando el residuo durante el proceso. (Arya et al., 2025; Liu et al., 2019). En conjunto el microbiota intestinal de *H. illucens* incluye la *bacteria Citrobacter amalonaticus,* que promueve y mejora el crecimiento y el desarrollo larval, al permitir una mayor eficiencia en la asimilación de las proteínas presentes en el sustrato (por ejemplo, residuos orgánicos). Como resultado, las larvas presentan una tasa de crecimiento más acelerada y alcanzan un mayor tamaño en un intervalo de tiempo corto. Además, el comportamiento de agregación larval, conocido como efecto de masa, genera calor que acelera el metabolismo y la bioconversión, permitiendo incluso la degradación de contaminantes químicos como pesticidas y antibióticos. (Arya et al., 2025; Liu et al., 2019).

5.2 Casos documentados de uso de *H. illucens* en la degradación de residuos orgánicos.

Se ha documentado el uso de la MSN en diferentes contextos geográficos y operativos. Un ejemplo ampliamente reportado del uso de *Hermetia illucens* es el proyecto desarrollado por la empresa francesa InnovaFeed, considerada una de las pioneras en la producción industrial de insectos para la valorización de desechos. Esta compañía tiene larvas de diferentes tipos de mosca (en especial de la MSN) para transformar subproductos agrícolas y residuos orgánicos en biomasa rica en proteínas y en fertilizantes orgánicos, La planta tiene una capacidad de producción de 15.000 toneladas de proteína de insectos por año, lo que permite abastecer aproximadamente 400.000 toneladas de proteína para cerdos, aves de corral y peces. Cuenta con 35.000 m² dedicados al procesamiento de 10 mil millones de larvas, lo que contribuye a una reducción del 80% en las emisiones de CO2. Proyectos de este tipo son relevantes porque también representan una fuente de ingresos para las familias; por ejemplo, esta empresa emplea a más de 170 personas. Esto evidencia que el uso de insectos no solo representa una solución sostenible para la gestión de residuos, sino también una oportunidad de generar empleo asociada a la bioeconomía (Byrne, 2020).

De igual manera, en el panorama europeo, se ha resaltado el papel estratégico de la MSN como una herramienta clave para la degradación de residuos orgánicos. En el estudio realizado por Smetana et al.(2023) los autores identifican que el tratamiento de desechos para generar biomasa destinada a nutrición animal representa uno de los caminos más sólidos para el desarrollo de esta industria. Debido a que este enfoque no solo optimiza la eficiencia de los recursos, sino que también permite reducir drásticamente la huella ambiental: cuando las larvas se alimentan de subproductos o desperdicios alimentarios, las emisiones de gases de efecto invernadero son relativamente bajas, entre -6,42 y 5,3 kg CO2eq, según la optimización tecnológica del sistema. De hecho, se estima que implementar estos sistemas de economía circular de alta eficiencia podría evitar entre un 75 y un 93 % de los impactos

ambientales vinculados a los productos alimenticios tradicionales en categorías muy alarmantes como el calentamiento global, el uso de suelos y el agotamiento de recursos fósiles.

En el proyecto Insects for Peace, la mosca soldado-negra se empleó para transformar residuos orgánicos en biomasa larval y subproductos con potencial uso agrícola, integrándose a un esquema de economía circular (K. Y. Barragán-Fonseca et al., 2020). De acuerdo con la información difundida por la iniciativa, esta estrategia permitió reducir los costos de alimentación hasta en 23%, al generar una fuente proteica alternativa para la producción animal y aprovechar residuos que antes tenían menor valorización. Además, el sistema mostró potencial para fortalecer medios de vida rurales mediante una tecnología de bajo costo, capaz de conectar manejo de residuos, producción de insumos y sostenibilidad productiva (K. Y. Barragán-Fonseca et al., 2020).

En Puerto Quito, Ecuador, se documentó el uso de esta especie para degradar diferentes sustratos, en el cual se demostró que una dieta mixta compuesta principalmente por pollo, sandía, papa, estiércol de cerdo y banano resulta altamente eficiente para el desarrollo larvario. Se registró una tasa de bioconversión del 55% en residuos domésticos mixtos y del 76.67% en el tratamiento control, el cual se basaba en banano. También se demostró que la heterogeneidad de los residuos en el sustrato puede optimizar el proceso debido a que proporciona una cantidad equilibrada de proteínas, carbohidratos y lípidos para las larvas (Del Hierro et al., 2021). Otra investigación realizada en Ecuador presenta una revisión sistemática sobre el impacto de la harina de la larva de la MSN en la acuicultura. Entre sus resultados destacan que las larvas poseen una eficiencia de biodegradación diaria de entre un 65,5% a un 78,9% de la materia orgánica, analizando que un grupo de aproximadamente 15.000 individuos procesen hasta 2 kg de desechos en 24 horas. También mencionan que estas poseen un alto valor nutricional, lo que podría sustituir hasta el 100% de la harina de soja y una gran parte de la harina y aceite de pescado

en diversas especies sin efectos negativos, lo cual da un ejemplo que podría incrementaría el crecimiento en las tilapia (Zambrano. et al., 2026).

El artículo realizado por Zambrano-Vera et al. (2026) analiza el potencial de las larvas de *Hermetia illucens* para gestionar residuos en países de ingresos bajos y medios, basándose en experimentos realizados en Suiza, Tailandia y Costa Rica. El cual demuestra que las larvas en condiciones de campo son capaces de reducir el volumen de la basura doméstica entre un 65% y un 75%, lo cual coinciden en la alta eficiencia de degradación que reportan otras fuentes. También el estudio destaca el éxito que tuvieron en la bioconversión de lodos fecales, especialmente cuando se mezclan con residuos de mercado, lo cual optimiza su crecimiento. Pero también recalcan la importancia de crear un diseño técnico que evite la humedad excesiva para prevenir la acumulación de metales como el cadmio y evitar los malos olores en el proceso.

En conjunto, los casos analizados muestran que *H. illucens* presenta una elevada capacidad de bioconversión en distintos contextos geográficos y tipos de residuos. Las tasas de reducción reportadas oscilan entre aproximadamente 55 % y 79 %, lo que evidencia su potencial como herramienta para la gestión sostenible de residuos orgánicos.

5.3 Consideraciones de bioseguridad en ecosistemas frágiles como el archipiélago para el uso de *H. illucens* para la degradación de residuos.

El Archipiélago de las Galápagos es uno de los ecosistemas más vulnerables del planeta, por sus altos niveles de endemismo, redes tróficas simples y gran sensibilidad a los cambios ecológicos. Por eso, cualquier propuesta que implique organismos vivos debe evaluarse con criterios estrictos de bioseguridad, sobre todo si se trata de especies introducidas(Escobar-Camacho et al., 2021). Aun así, en

el caso de la MSN, esta podría ser una alternativa viable para tratar los desechos orgánicos de modo adecuado.

Dado que existen registros de la presencia de *Hermetia illucens* en el archipiélago desde hace más de 28 años (1997), y lleva más de dos décadas sin registros documentados negativos, se puede asumir que la especie ha logrado establecer comunidades estables sin causar alteraciones (Fundación Charles Darwin, 2026). Este estatus es determinante: a diferencia de propuestas que implicarían liberar nuevas especies, aprovechar una población que ya esté establecida reduce drásticamente el riesgo de introducción adicional. Uno de los factores que más hace especial a la MSN desde una perspectiva de bioseguridad es su propia biología. Los adultos de *H. illucens* poseen piezas bucales reducidas con capacidad de ingesta muy limitada, por lo que no se alimentan de residuos orgánicos ni actúan como vectores de patógenos (Muchina et al., 2026). Es decir, no se ven atraídos por residuos insalubres, lo que los vuelve menos propensos a transmitir enfermedades, en otras palabras, podemos decir que la mosca adulta en su mayoría no come, no pica, no contamina alimentos y no se posa sobre personas ni animales. Ya que su principal función cuando son adultos es reproducirse (Groot & Veenvliet, 2011; Muchina et al., 2026).

La propuesta para Galápagos es usar *H. illucens* solo en instalaciones cerradas y controladas. Allí, las larvas procesarían los residuos orgánicos sin contacto con el exterior, evitando así cualquier dispersión, competencia con la fauna local o aumento descontrolado de la población más allá de los niveles naturales que ya existen en el archipiélago. Sin embargo, es importante analizar y entender cuáles podrían ser las consideraciones de bioseguridad ecosistémica ya que como sabemos regiones insulares se caracterizan por tener un área limitada y baja capacidad de recuperación frente a cambios en la abundancia de cualquier especie, lo que exige sistemas de contención particularmente rigurosos. Este sistema de contención podría adaptarse tanto a instalaciones municipales a gran escala como a unidades pequeñas

para granjas ganaderas, propiedades privadas o incluso en hogares urbanos. Debido a que el modelo permite diseñar instalaciones a la medida de las condiciones y necesidades de cada isla habitada, tomando en cuenta siempre estructuras que impidan cualquier salida no controlada de la especie.

CONCLUSIONES

De acuerdo con la bibliografía consultada, *Hermetia illucens* es una especie ampliamente distribuida en regiones tropicales y subtropicales debido a su capacidad para aprovechar grandes cantidades de materia orgánica en descomposición. Esta característica ha favorecido su uso en diversos procesos de gestión de residuos y de producción sostenible de biomasa.

El ciclo de vida holometábolo de *Hermetia illucens*, especialmente su fase larval, explica gran parte de su potencial para la bioconversión de residuos orgánicos. Las larvas son capaces de consumir y transformar grandes cantidades de materia orgánica. Gracias a la acción conjunta de enzimas digestivas y microorganismos asociados, su elevada capacidad reproductiva y su tolerancia a diferentes condiciones ambientales favorecen su utilización en sistemas de tratamiento de residuos tanto a pequeña como a gran escala.

La información analizada permite considerar a *Hermetia illucens* como una especie naturalizada en el archipiélago de las Galápagos. Desde su primer registro en 1997, no se han documentado efectos negativos significativos sobre las especies nativas ni alteraciones evidentes en los procesos ecológicos del ecosistema. Además, su presencia se ha asociado principalmente a zonas intervenidas por actividades humanas. Estos antecedentes sugieren que la especie mantiene poblaciones establecidas sin mostrar las características que normalmente se atribuyen a una especie invasora.

A pesar de que existen algunos reportes de miasis asociados a la especie, estos son casos aislados y poco frecuentes. La literatura revisada indica que *H. illucens* no representa un riesgo sanitario importante y que sus efectos negativos documentados son considerablemente menores que los beneficios que aporta en la degradación de residuos orgánicos.

Los resultados del modelamiento sugieren que varias zonas de las Islas Galápagos presentan condiciones ambientales adecuadas para la presencia de la especie. Esto indica que el archipiélago podría ofrecer hábitats favorables para su establecimiento, especialmente en áreas donde exista disponibilidad de recursos orgánicos.

La variable que más contribuyó al modelo fue la temperatura máxima del mes más cálido. Este resultado era esperable, ya que el desarrollo, supervivencia y reproducción de *H. illucens* dependen en gran medida de temperaturas elevadas, lo que coincide con su origen tropical y con los patrones de distribución observados en Sudamérica.

En conjunto, los resultados obtenidos indican que *Hermetia illucens* posee un importante potencial para la bioconversión de residuos orgánicos y su incorporación en estrategias de economía circular. En el contexto de las islas Galápagos, donde la gestión de desechos constituye un desafío debido a las limitaciones propias de los ecosistemas insulares, el aprovechamiento controlado de esta especie podría representar una alternativa sostenible para reducir la acumulación de materia orgánica y generar productos de valor agregado. Además, las características biológicas de los adultos, que no se alimentan de residuos en descomposición ni son reconocidos como vectores importantes de enfermedades, contribuyen a reducir los riesgos sanitarios asociados a su utilización. No obstante, debido a la sensibilidad ecológica del archipiélago, cualquier iniciativa basada en esta especie debe desarrollarse bajo criterios técnicos y ambientales estrictos, incorporando medidas de contención y programas de monitoreo que permitan evaluar continuamente sus poblaciones y detectar oportunamente posibles cambios en su comportamiento o abundancia.

RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar muestreos de campo para confirmar la presencia de *Hermetia illucens* (mosca soldado-negra) en las zonas que el modelo de distribución identifica como adecuadas. Esta validación empírica es fundamental para confirmar las predicciones del modelo y asegurar que las áreas señaladas realmente albergan la especie. Esto fortalecerá la base de datos para futuras investigaciones sobre su distribución en el archipiélago.

Resulta fundamental desarrollar estudios piloto que evalúen el potencial de *H. illucens* como organismo bioconversor para el tratamiento de residuos orgánicos generados en las islas. Dichos estudios deben considerar tres criterios esenciales: eficiencia en la degradación de residuos, bioseguridad orientada a la prevención de riesgos ecológicos y sostenibilidad a largo plazo de la intervención. La implementación de estudios piloto permitirá obtener evidencia práctica inicial sobre la capacidad de esta especie para contribuir a la gestión de residuos, sin comprometer la integridad de los ecosistemas frágiles de Galápagos.

Se recomienda implementar programas de monitoreo a largo plazo de las poblaciones de *Hermetia illucens* en el archipiélago, con el fin de evaluar posibles cambios en su distribución, abundancia y asociación con ecosistemas naturales o intervenidos. Este seguimiento permitirá detectar oportunamente variaciones que pudieran representar riesgos ecológicos y aportar información actualizada para la toma de decisiones en materia de manejo y bioseguridad.

Se recomienda profundizar en el estudio de las interacciones ecológicas entre *Hermetia illucens* y la biota nativa del archipiélago, especialmente con insectos detritívoros y otros organismos asociados a la descomposición de materia orgánica. Esta información permitirá determinar con mayor precisión los posibles efectos de la especie sobre las dinámicas ecológicas locales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albalawneh, A., Al-Shagour, B., Alarsan, S., Sadder, M., Alshorman, B., Aledwan, M., Abu Deah, M. A., Abu, S. A., AlBalawnah, Y., Neimat, E., Deab, M., Hasan, H., Elwan, A., Sweity, A., & Haddad, N. (2025). Complete mitochondrial genome of a novel black soldier fly isolate from Jordan. *Scientific Reports*, *15*(1). https://doi.org/10.1038/s41598-025-12915-6

Arim, M., Abades, S. R., Neill, P. E., Lima, M., & Marquet, P. A. (2006). Spread dynamics of invasive species. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *103*(2), 374–378. https://doi.org/10.1073/pnas.0504272102

Arya, E. S., Srinivasan, G., Shanthi, M., Saravanan, S., & Mini, M. L. (2025). Black soldier fly (Hermetia illucens): Driving circular agriculture through organic waste recovery. *Plant Science Today*, *12*(3). https://doi.org/10.14719/pst.8629

Barragán-Fonseca, K. B., Dicke, M., & Loon, J. J. A. van. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (Hermetia illucens L.) and its suitability as animal feed—A review. *Journal of Insects as Food and Feed*, *3*(2), 105–120. https://doi.org/10.3920/JIFF2016.0055

Barragán-Fonseca, K. Y., Barragán-Fonseca, K. B., Verschoor, G., van Loon, J. J., & Dicke, M. (2020). Insects for peace. *Current Opinion in Insect Science*, *40*, 85–93. https://doi.org/10.1016/j.cois.2020.05.011

Barros, L. M., Gutjahr, A. L. N., Ferreira-Keppler, R. L., & Martins, R. T. (2019). Morphological description of the immature stages of Hermetia illucens (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). *Microscopy Research and Technique*, *82*(3), 178–189. https://doi.org/10.1002/jemt.23127

Base de Datos de las Especies de Galápagos. (s. f.). CDF dataZone. Recuperado 6 de diciembre de 2025, de https://datazone.darwinfoundation.org/es/checklist/?species=6489

Benitez-Capistros, F., Hugé, J., & Koedam, N. (2014). Environmental impacts on the Galapagos Islands: Identification of interactions, perceptions and steps ahead. *Ecological Indicators*, *38*, 113–123. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.10.019

Bertinetti, C., Samayoa, A. C., & Hwang, S.-Y. (2019). Effects of Feeding Adults of Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) on Longevity, Oviposition, and Egg Hatchability: Insights Into Optimizing Egg Production. *Journal of Insect Science*, *19*(1), 19. https://doi.org/10.1093/jisesa/iez001

Blackburn, T. M., Pyšek, P., Bacher, S., Carlton, J. T., Duncan, R. P., Jarošík, V., Wilson, J. R. U., & Richardson, D. M. (2011). A proposed unified framework for biological invasions. *Trends in Ecology & Evolution*, *26*(7), 333–339. https://doi.org/10.1016/j.tree.2011.03.023

Bruno, D., Casartelli, M., De Smet, J., Gold, M., & Tettamanti, G. (2025). Review: A journey into the black soldier fly digestive system: From current knowledge to applied perspectives. *Animal*, *19*. https://doi.org/10.1016/j.animal.2025.101483

Bustinza Castillo, Y., Gonzales Poma, M., & Castañeda Olivera, A. (2025). Evaluation of the use of Hermetia illucens in organic waste composting: A systematic review. *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol.*, (2025). https://doi.org/10.18687/LACCEI2025.1.1.2331

Byrne, J. (2020, noviembre 19). *InnovaFeed opens biggest insect protein plant globally, secures €140m in funds, and partners with ADM to build US site*. AgNavigator.Com. https://www.agnavigator.com/Article/2020/11/19/innovafeed-opens-biggest-insect-protein-plant-globally-secures-140m-in-funds-and-partners-with-adm-to-build-us-site/

Caisaguano, F., Navas, J., Gamboa, S., Herrera, M., Mora, I., Plaza, D., Segura, F., & Guerrero, V. (2025). *Estadística de visitantes – Parque Nacional Galápagos*. https://galapagos.gob.ec/estadistica-de-visitantes/

Carrion, V., Donlan, C. J., Campbell, K. J., Lavoie, C., & Cruz, F. (2011). Archipelago-Wide Island Restoration in the Galápagos Islands: Reducing Costs of Invasive Mammal Eradication Programs and Reinvasion Risk. *PLoS ONE*, *6*(5), e18835. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0018835

Causton, C. E., Peck, S. B., Sinclair, B. J., Roque-Albelo, L., Hodgson, C. J., & Landry, B. (2006). Alien Insects: Threats and Implications for Conservation of Galápagos Islands. *Annals of the Entomological Society of America*, *99*(1), 121–143. https://doi.org/10.1603/0013-8746(2006)099%5B0121:AITAIF%5D2.0.CO;2

Charney, N. D., Bastille-Rousseau, G., Yackulic, C. B., Blake, S., & Gibbs, J. P. (2021). A greener future for the Galapagos: Forecasting ecosystem productivity by finding climate analogs in time. *Ecosphere*, *12*(10), e03753. https://doi.org/10.1002/ecs2.3753

Chia, S. Y., Tanga, C. M., van Loon, J. J., & Dicke, M. (2019). Insects for sustainable animal feed: Inclusive business models involving smallholder farmers. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, *41*, 23–30. https://doi.org/10.1016/j.cosust.2019.09.003

Corn, M. L., & Johnson, R. (2014). Invasive species: Major laws and the role of selected federal agencies. En C. Kimble (Ed.), *Invasive Species: Selected Laws and the Role of Federal Agencies* (pp. 1–75). Nova Science Publishers, Inc.

Del Hierro, A., Anrango, M., 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*, 341–354. https://doi.org/10.46480/esj.5.3.164

Demetriou, J., Kalaentzis, K., Kazilas, C., Kunz, G., Muller, B., Mostovski, M. B., & Koutsoukos, E. (2022). An “alien” species on the loose: New records and updated distribution of the black soldier fly Hermetia illucens in the Western Palearctic. *Bulletin of Insectology*, *75*(1), 125–130.

Diener, S., Studt Solano, N. M., Roa Gutiérrez, F., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, *2*(4), 357–363. https://doi.org/10.1007/s12649-011-9079-1

Escobar-Camacho, D., Rosero, P., Castrejón, M., Mena, C. F., & Cuesta, F. (2021). Oceanic islands and climate: Using a multi-criteria model of drivers of change to select key conservation areas in Galapagos. *Regional Environmental Change*, *21*(2), 47. https://doi.org/10.1007/s10113-021-01768-0

Fabian, B., Schneeberg, K., Löwe, S., Bauernfeind, R., & Beutel, R. G. (2025). Transformations of Head Structures During the Larval Development of the Black Soldier Fly Hermetia illucens (Stratiomyidae, Diptera). *Journal of Morphology*, *286*(4). https://doi.org/10.1002/jmor.70048

Fick, S. E., & Hijmans, R. J. (2017). WorldClim 2: New 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, *37*(12), 4302–4315. https://doi.org/10.1002/joc.5086

Garcia Ferrari, S., Bain, A. A., & Crane De Narváez, S. (2021). Drivers, Opportunities, and Challenges for Integrated Resource Co-management and Sustainable Development in Galapagos. *Frontiers in Sustainable Cities*, *3*. https://doi.org/10.3389/frsc.2021.666559

GBIF.org. (s. f.). *Occurrence Hermetia illucens* [Dataset]. Recuperado 26 de mayo de 2026, de https://www.gbif.org/occurrence/download/0076576-260226173443078

Giunti, G., Campolo, O., Laudani, F., & Palmeri, V. (2018). Male courtship behaviour and potential for female mate choice in the black soldier fly hermetia illucens L. (Diptera: Stratiomyidae). *Entomologia Generalis*, *38*(1), 29–46. https://doi.org/10.1127/entomologia/2018/0657

Gligorescu, A., Toft, S., Hauggaard-Nielsen, H., Axelsen, J. A., & Nielsen, S. A. (2018). Development, metabolism and nutrient composition of black soldier fly larvae (Hermetia illucens; Diptera: Stratiomyidae) in relation to temperature and diet. *Journal of Insects as Food and Feed*, *4*(2), 123–133. https://doi.org/10.3920/JIFF2017.0080

Groot, M., & Veenvliet, P. (2011). HERMETIA ILLUCENS L. (DIPTERA, STRATIOMYIDAE), A NEW ALIEN INVASIVE SPECIES IN SLOVENIA. *Acta Entomologica Slovenica*, *9*, 195–198.

Guilliet, J., Baudouin, G., Pollet, N., & Filée, J. (2022). What complete mitochondrial genomes tell us about the evolutionary history of the black soldier fly, Hermetia illucens. *BMC Ecology and Evolution*, *22*(1). https://doi.org/10.1186/s12862-022-02025-6

Hijmans, R. J., Cameron, S. E., Parra, J. L., Jones, P. G., & Jarvis, A. (2005). Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*, *25*(15), 1965–1978. https://doi.org/10.1002/joc.1276

Hoc, B., Noël, G., Carpentier, J., Francis, F., & Megido, R. C. (2019). Optimization of black soldier fly (Hermetia illucens) artificial reproduction. *PLoS ONE*, *14*(4). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0216160

Huaripata, J., Carrasco, A., Chilicaus, G. C. F., Licapa-Redolfo, G. S., Díaz, K., & Arango-Llantoy, M. Á. (2023). CULTURE OF BLACK SOLDIER FLY LARVAE (Hermetia illucens) AS A STRATEGY FOR USE OF ORGANIC WASTE, CAJAMARCA. *Proc. LACCEI int. multi-conf. eng. educ. technol.*, *2023-July*.

Ii, J. W. D., & Kaufman, P. E. (2009). Black soldier fly Hermetia illucens Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae): EENY 461/IN830, 6/2009. *EDIS*, *2009*(7). https://doi.org/10.32473/edis-in830-2009

iNaturalist. (2026). *Observaciones de Hermetia illucens en Sudamérica*. iNaturalist. https://www.inaturalist.org/observations/export?quality_grade=any&identifications=any&place_id=97389&taxon_id=82177&verifiable=true&spam=false

INEC. (2010). *Población y Demografía*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/censo-de-poblacion-y-vivienda/

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2022). *Resultados del Censo de Población y Vivienda 2022: Cantón Santa Cruz, Galápagos*. https://www.ecuadorencifras.gob.ec/resultados-del-censo-2022/

Jiang, H., Wang, W., Ren, M., Jin, N., Lu, Y., Zhang, S., Xu, J., & Xu, W. (2020). An investigation and comprehensive evaluation on the pathogen inactivation process during the degradation of kitchen waste by the larvae of black soldier fly. *Huanjing Kexue*

Xuebao/Acta Scientiae Circumstantiae, *40*(3), 1011–1022. https://doi.org/10.13671/j.hjkxxb.2019.0415

Jones, B. M., & Tomberlin, J. K. (2020). Validation of Acrylic Paint as a Marking Technique for Examining Mating Success of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Economic Entomology*, *113*(5), 2128–2133. https://doi.org/10.1093/jee/toaa129

Jones, M. E., Barragán-Paladines, M. J., & Hunt, C. A. (2025). What Goes in the Galapagos Does Not Always Come out: A Political Industrial Ecology Case Study of E-Waste in Island Settings. *Sustainability (Switzerland)*, *17*(19). https://doi.org/10.3390/su17198704

Karger, D. N., Conrad, O., Böhner, J., Kawohl, T., Kreft, H., Soria-Auza, R. W., Zimmermann, N. E., Linder, H. P., & Kessler, M. (2017). Climatologies at high resolution for the earth's land surface areas. *Scientific Data*, *4*, 170122. https://doi.org/10.1038/sdata.2017.122

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

Kimble, C. (Ed.). (2014). *Invasive species: Selected laws and the role of federal agencies*. Nova Science Publishers, Inc.

Klüber, P., Arous, E., Zorn, H., & Rühl, M. (2023). Protein- and Carbohydrate-Rich Supplements in Feeding Adult Black Soldier Flies (Hermetia illucens) Affect Life History Traits and Egg Productivity. *Life*, *13*(2). https://doi.org/10.3390/life13020355

Koutsoukos, E., & Kazilas, C. (2021). Addressing distributional shortcomings through citizen science records: The presence of Hermetia illucens (Linnaeus, 1758) (Diptera Stratiomyidae) in Algeria. *Redia*, *104*, 69–73. https://doi.org/10.19263/REDIA-104.21.08

Li, L., Wang, Y., & Wang, J. (2016). Intra-puparial development and age estimation of forensically important Hermetia illucens (L.). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, *19*(1), 233–237. https://doi.org/10.1016/j.aspen.2016.01.006

Liu, C., Wang, C., & Yao, H. (2019). Comprehensive Resource Utilization of Waste Using the Black Soldier Fly (Hermetia illucens (L.)) (Diptera: Stratiomyidae). *Animals*, *9*(6), 349. https://doi.org/10.3390/ani9060349

Lockwood, J. L., Cassey, P., & Blackburn, T. (2005). The role of propagule pressure in explaining species invasions. *Trends in Ecology & Evolution, Special issue: Invasions, guest edited by Michael E. Hochberg and Nicholas J. Gotelli*, *20*(5), 223–228. https://doi.org/10.1016/j.tree.2005.02.004

Melnychuk, S., Dubovyi, A., Soroka, N., & Honcharov, S. (2024). The role of zoophilic flies Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) in the spread of myiasis in mammals. *Ukrainian Journal of Veterinary Sciences*, *15*(2), 157–169. https://doi.org/10.31548/veterinary2.2024.157

Mendoza, S. (2021). *Ecuador abre la primera productora de mosca "soldado negro" de América Latina*. Forbes Ecuador. https://www.forbes.com.ec/innovacion/ecuador-abre-primera-productora-mosca-soldado-negro-america-latina-n10339

Ment, D., & Mishra, S. (2025). The integral role of the Black Soldier fly, Hermetia illucens L., microbiota in its life history. *Frontiers in Microbiomes*, *4*. https://doi.org/10.3389/frmbi.2025.1517715

Miranda, C. D., Cammack, J. A., & Tomberlin, J. K. (2019). Life-History Traits of the Black Soldier Fly, Hermetia illucens (L.) (Diptera: Stratiomyidae), Reared on Three Manure Types. *Animals*, *9*(5), 281. https://doi.org/10.3390/ani9050281

Muchina, P., Kinyua, J., Khamis, F., Tanga, C. M., Bett, R., Ssepuuya, G., Nakimbugwe, D., Sinding, M.-H. S., Gebreyesus, G., Sahana, G., & Cai, Z. (2026). Human-mediated dispersal and breeding reshape global genomic patterns in black soldier flies. *Genomics*, *118*(2), 111208. https://doi.org/10.1016/j.ygeno.2026.111208

Munsch-Masset, P., Labrousse, C., Beaugeard, L., & Bressac, C. (2023). The reproductive tract of the black soldier fly (Hermetia illucens) is highly differentiated and suggests adaptations to sexual selection. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, *171*(11), 857–866. https://doi.org/10.1111/eea.13358

Muñoz-Delgado, M., Sandoval-Ruiz, C. A., Aragón-Sánchez, M., & Casanovas-Cosío, E. (2025). Effect of temperature on the survival rate, development time, and sex ratio of Hermetia illucens. *Southwestern Entomologist*, *50*(3), 698–707. https://doi.org/10.3958/059.050.0302

Muñoz-Pérez, J. P., Lewbart, G. A., Alarcón-Ruales, D., Skehel, A., Cobos, E., Rivera, R., Jaramillo, A., Vivanco, H., Zurita-Arthos, L., Wallace, B., Valle, C. A., & Townsend, K. A. (2023). Galápagos and the plastic problem. *Frontiers in Sustainability*, *4*. https://doi.org/10.3389/frsus.2023.1091516

Muraro, T., Lalanne, L., Pelozuelo, L., & Calas-List, D. (2024). Mating and oviposition of a breeding strain of black soldier fly Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae): polygynandry and multiple egg-laying. *Journal of Insects as Food and Feed*, *3*, 1–13. https://doi.org/10.1163/23524588-20220175

Nelson, D. B., & Sachs, J. P. (2016). Galápagos hydroclimate of the Common Era from paired microalgal and mangrove biomarker 2H/1H values. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, *113*(13), 3476–3481. https://doi.org/10.1073/pnas.1516271113

Obafunwa, J. O., Roe, A., & Higley, L. (2025). A review of the estimation of postmortem interval using forensic entomology. *Medicine, Science and the Law*, *65*(1), 52–64. https://doi.org/10.1177/00258024241275893

O'Hara, T. (2024, septiembre 20). GCT and Galapagos National Park Directorate release landmark report on plastic pollution. *Galapagos Conservation Trust*. https://galapagosconservation.org.uk/es/gct-report-plastic-pollution-galapagos/

Pazmiño-Palomino, A., Reyes-Puig, C., & Hierro, A. G. D. (2022). How could climate change influence the distribution of the black soldier fly, Hermetia illucens (Linnaeus) (Diptera, Stratiomyidae)? *Biodiversity Data Journal*, *10*. https://doi.org/10.3897/BDJ.10.E90146

Phillips, S. J., Anderson, R. P., & Schapire, R. E. (2006). Maximum entropy modeling of species geographic distributions. *Ecological Modelling*, *190*(3), 231–259. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2005.03.026

Poma, P., Polanco, M., Usca, K., Casella, C., & Toulkeridis, T. (2025). An Evaluation of the Public Service of the Integrated Municipal Management of Urban Solid Waste in the Galapagos

and the Amazonian Region of Ecuador. *Sustainability*, *17*(3), 1066. https://doi.org/10.3390/su17031066

Project Isabela. (s. f.). *Galápagos Conservancy*. Recuperado 14 de junio de 2026, de https://www.galapagos.org/conservation/project-isabela/

Qi, Y., Xu, J., Tian, X., Bai, Y., & Gu, X. (2017). The complete mitochondrial genome of Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae). *Mitochondrial DNA Part B: Resources*, *2*(1), 189–190. https://doi.org/10.1080/23802359.2017.1307708

Ragazzi, M., Catellani, R., Rada, E. C., Torretta, V., & Salazar-Valenzuela, X. (2014). Management of Municipal Solid Waste in One of the Galapagos Islands. *Sustainability*, *6*(12), 9080–9095. https://doi.org/10.3390/su6129080

Sanjaya, Y., Suhara, Nurjhani, M., Halimah, M., & Shintawati, R. (2019). Study of vegetable waste product as alternative artificial feed to life cycle of Hermetia illuncens. *J. Phys. Conf. Ser.*, *1280*(2). https://doi.org/10.1088/1742-6596/1280/2/022006

Scieuzo, C., Tomberlin, J., & Falabella, P. (2025). Anatomy, physiology, and behavior of Hermetia illucens. En F. Bovera & P. Falabella (Eds.), *The Black Soldier Fly (Hermetia illucens): Sustainable Applications in Food, Feed, and Beyond* (pp. 1–28). Elsevier. https://doi.org/10.1016/B978-0-443-29896-7.00011-1

Sinclair, B. J. (2023). An annotated checklist of the Diptera of the Galápagos Archipelago (Ecuador). *Zootaxa*, *5283*(1), 1–102. https://doi.org/10.11646/zootaxa.5283.1.1

Smetana, S., Bhatia, A., Batta, U., Mouhrim, N., & Tonda, A. (2023). Environmental impact potential of insect production chains for food and feed in Europe. *Animal Frontiers: The*

Review Magazine of Animal Agriculture, *13*(4), 112–120. https://doi.org/10.1093/af/vfad033

Sokal, R. R., & Michener, C. D. (1958). A Statistical Method for Evaluating Systematic Relationships. *The University of Kansas science bulletin*, *38*(22), 1409--1438.

Spranghers, T., Houbraken, M., Spanoghe, P., & De Clercq, P. (2025). Effects of rearing substrate and larval stage on the contamination levels of chemicals in black soldier fly larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*, *11*(14), 2591–2601. https://doi.org/10.1163/23524588-bja10215

Surendra, K. C., Tomberlin, J. K., van Huis, A., Cammack, J. A., Heckmann, L.-H. L., & Khanal, S. K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (Hermetia illucens (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*, *117*, 58–80. https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.07.050

Swets, J. A. (1988). Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*, *240*(4857), 1285–1293. https://doi.org/10.1126/science.3287615

Tariq, M. R., Liu, S., Wang, F., Wang, H., Mo, Q., Zhuang, Z., Zheng, C., Liang, Y., Liu, Y., ur Rehman, K., Helvaci, M., Qin, J., & Li, C. (2025). Black Soldier Fly: A Keystone Species for the Future of Sustainable Waste Management and Nutritional Resource Development: A Review. *Insects*, *16*(8), 750. https://doi.org/10.3390/insects16080750

Tomberlin, J. K., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2002). Selected Life-History Traits of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Three Artificial Diets. *Annals of the Entomological Society of America*, *95*(3), 379–386. https://doi.org/10.1603/0013-8746(2002)095%5B0379:SLHTOB%5D2.0.CO;2

Trueman, M., Standish, R., Orellana, D., & Cabrera, W. (2014). Mapping the extent and spread of multiple plant invasions can help prioritise management in Galapagos National Park. *NeoBiota*, *23*, 1–16. https://doi.org/10.3897/neobiota.23.7800

Wang, F., Xiao, Q., & Wang, X. (2019). Research on Cold Storage Technology for Eggs of Hermetia illucens L. . *Guangdong Agricultural Sciences*, *46*(10), 82–86. https://doi.org/10.16768/j.issn.1004-874X.2019.10.013

Wiggins, I. L., Porter, D. M., & Anderson, E. F. (1971). *Flora of the Galapagos Islands*. Stanford University Press.

Yandigeri, M. S., Mahendiran, G., Muthugounder, M., & Sampath, K. M. (2022). Evaluation of different substrates for multiplication and waste reduction potential of black soldier fly, Hermetia illucens (Stratiomyidae: Diptera). *Journal of Entomological Research*, *46*(1), 40–46. https://doi.org/10.5958/0974-4576.2022.00006.8

Yudistira, D. H., Sandi, Y. U., Wirabumi, B. A., Wikandari, P., Ramadhan, M. P., Rahmaningtyas, D. U., Fukushi, T., Gunawan, F. A., & Sato, S. (2026). Comparison of black soldier fly Hermetia illucens (Diptera: Stratiomyidae) frass to chemical and organic fertilizers on arthropod abundance and edamame plant performance. *Applied Entomology and Zoology*. https://doi.org/10.1007/s13355-026-00960-0

Zambrano-Vera, D.-A., Alcívar-Bazurto, M.-C., Gómez-Zurita, S.-N., Vinocunga-Pillajo, D., Romero-Vistín, A.-S., & Sánchez-Vallejo, C.-A. (2026). Evaluation of the Effect of Black Soldier Fly Larvae Meal on the Growth of Aquatic Species: A Literature Review. *Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias*. https://doi.org/10.17533/udea.rccp.e358626

Zdybicka-Barabas, A., Bulak, P., Polakowski, C., Bieganowski, A., Waśko, A., & Cytryńska, M. (2017). Immune response in the larvae of the black soldier fly Hermetia illucens. *Invertebrate Survival Journal*, *14*, 9–17.

ANEXOS

Especie	Latitud	Longitud	Fecha	Lugar	Isla
Hermetia illucens	-0,6167	-90,35	2007	Bellavista	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,887884	-89,540981	2021	San Cristóbal	San Cristóbal
Hermetia illucens	-0,719346	-90,324754	2023	P.N. Galápagos, Santa Cruz	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,70955	-90,32248	2023	P.N. Galápagos, Santa Cruz	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,624869	-90,384383	2024	Santa Cruz	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,899192	-89,607939	2024	Puerto Baquerizo Moreno	San Cristóbal
Hermetia illucens	-0,901537	-89,609938	2025	San Cristóbal, Av. A. Northia	San Cristóbal
Hermetia illucens	-0,742247	-90,318328	2025	P.N. Galápagos, Santa Cruz	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,960716	-91,001224	2025	Isabela	Isabela
Hermetia illucens	-0,393111	-91,027555	1998	Flanco este del volcán, Alcedo	Isabela
Hermetia illucens	-0,398583	-91,046944	1997	Flanco este del volcán, Alcedo	Isabela
Hermetia illucens	-0,825986	-91,02557	2002	Cerro Verde, San Cristóbal	San Cristóbal
Hermetia illucens	-0,877722	-91,02422	2002	Merceditas, Sierra Negra	Isabela
Hermetia illucens	-0,62581	-90,38479	2001	Los Gemelos	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,741329	-90,306558	1998	Parque Nacional	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,698072	-90,272699	2001	El Occidente	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,4221	-91,1221	1997	Volcán Alcedo	Isabela
Hermetia illucens	-0,42444	-91,1208	1998	Volcán Alcedo	Isabela
Hermetia illucens	-0,8083	-89,4167	2002	San Cristóbal	San Cristóbal
Hermetia illucens	-0,74214	-90,30358	2018	CDRS, Philornis Lab	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,694493	-90,341381	2020	Bellavista	Santa Cruz

Hermetia illucens	-0,62939	-90,39051	2014	Los Gemelos	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,742227	-90,30357	2024	FCD (ECCD)	Santa Cruz
Hermetia illucens	-0,739306	-90,310707	2022	El edén	Santa Cruz

Tabla 1. Registros de presencia de *Hermetia illucens* en las Islas Galápagos. Los datos fueron obtenidos de las plataformas GBIF, iNaturalist y DataZone.