

**ANÁLISIS DE SISTEMAS DE APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS
MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE LA MOSCA SOLDADO NEGRA (HERMETIA
ILLUCENS)**

CHRISTIAN DAVID CALVO LÓPEZ

**PROYECTO INTEGRAL DE GRADO PARA OPTAR EL TÍTULO DE ESPECIALISTA
EN GESTIÓN AMBIENTAL**

DIRECTOR

**DIANA MARCELA CUESTAS PARRA
INGENIERO QUÍMICO**

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
ESPECIALIZACIÓN EN GESTIÓN AMBIENTAL
BOGOTÁ, D.C.**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre del director

Firma del Director

Nombre

Firma del presidente Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Nombre

Firma del Jurado

Bogotá, D.C. marzo de 2022

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Mario Posada García Peña

Vicerrector Académico de Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada Garcia-Peña

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

Dra. Alexandra Mejía Guzmán

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. Ricardo Alfonso Peñaranda Castro

Secretario General

Dr. José Luis Macías Rodríguez

Decano Facultad de Ingenierías

Dra. Naliny Patricia Guerra Prieto

Directora Ingeniería Química

Ing. Nubia Liliana Becerra Ospina

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	pág
RESUMEN	6
INTRODUCCIÓN	8
OBJETIVOS	11
Objetivo general.	11
Objetivos específicos.	11
1. METODOLOGÍA	12
1.1 Diseño Metodológico.	12
2. RESULTADO	14
2.1. Análisis de Bibliometría	14
<i>2.1.1 Coautorías por países</i>	14
<i>2.1.2 Autores con mayores trabajos en colaboración</i>	17
<i>2.1.3 Concurrencia de palabras claves de los autores</i>	20
2.2 Ciclo de vida de la mosca soldado negra	24
<i>2.2.1 Huevo.</i>	24
<i>2.2.2 Larva.</i>	24
<i>2.2.3 Pupa</i>	25
<i>2.2.4 Imago o adulto.</i>	25
2.3 Condiciones de crecimiento de la larva de la mosca soldado negra	25
<i>2.3.1 Temperatura</i>	25
<i>2.3.2 Humedad.</i>	26
<i>2.3.3 Fuente de luz.</i>	26
<i>2.3.4 pH</i>	26
2.4 Residuos biológicos tratados	27
2.5 Variables asociadas a la degradación.	28
<i>2.5.1 Balance de masa</i>	29
3 CONCLUSIONES	34
BIBLIOGRAFÍA	36

RESUMEN

La mosca soldado negra (*Hermetia illucens sp.*) contribuye exponencialmente a la agricultura sostenible debido a que es eficiente para reducir el volumen de desechos orgánicos, mientras que al mismo tiempo los convierte en biomasa rica en proteína. La administración de los residuos orgánicos en los rellenos sanitarios no es lo suficiente para realizar un adecuado manejo con el fin de disminuir el tamaño de residuos sólidos que llegan a los rellenos sanitarios. En Bogotá el 53.22% de los residuos que llegan a los rellenos sanitarios corresponde a residuos orgánicos de acuerdo con la Unidad Administrativa especial de Servicios Públicos -UAESP (2014), de estos no se realiza ningún manejo; a causa de esta situación se busca alternativas, como la utilización de las larvas de mosca soldado negra, puesto que tienen un potencial para ser utilizadas como tratamiento biotecnológico en el manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos del sector agrícola y pecuario, es una especie de alto desempeño para tratar residuos orgánicos comparada con otras técnicas debido a su bajo costo y bajo mantenimiento.

La monografía en su revisión documental detallada, describe las características fisicoquímicas asociadas a la biodegradación de residuos orgánicos y los ciclos biológicos de la mosca soldado negra, se utilizaron métodos de bibliometría con el programa *VOSviewer*, el cual identifica las líneas de investigación y sus interconexiones a partir de la información contenida en las bases de datos relevantes de revistas de investigación y bases de datos bibliográficas como Scopus y ScienceDirect, como resultado de esta exploración se obtuvo que China es el país más productivo con 213 documentos y colaborando con 32 países diferentes, le sigue Estados Unidos con 172 documentos de un total de 53 países. Mientras que, entre los autores con mayor participación en investigaciones se encuentran Jeff k. Tomberlin, docente de departamento de Entomología de la Universidad de Texas A&M, en el mismo sentido, el autor con mayor índice de citación es J. Zhang con 146, además se determinó la concurrencia de palabras claves de los autores las cuales son biodiesel e insectos, asimismo el tipo de residuos biológicos que tratan la mosca soldado negra. Como resultado de mayor número de investigaciones, el estiércol, residuos vegetales son los residuos más frecuentes que se tratan, junto con las variables asociadas a la degradación en

el proceso realizado por la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). Por último, se analizó las variables asociadas a la degradación durante el tratamiento con esta especie de mosca, con resultados de pH de rango 4 y 7, humedad de 28% y temperatura desde 18 a 25 °C.

Palabras Claves: Bioconversión, biodiesel, ciclo de vida, compostaje, desechos de alimento, entomología, insectos, sostenibilidad.

INTRODUCCIÓN

El tratamiento de residuos utiliza métodos básicos de administración en su procesamiento, generando un problema que aborda a los residuos orgánicos porque son dirigidos tanto a los rellenos sanitarios, fuentes hídricas o son quemados a cielo abierto, métodos que no son una solución segura en el ámbito ambiental o para la salud humana. En Colombia los residuos sólidos orgánicos urbanos constituyen cerca del 70% del volumen total de desechos generados (Penagos, 2011, p. 37).

Cuando los residuos orgánicos son depositados en cualquier lugar, sus características químicas y físicas cambian como efecto de la descomposición generando gases y lixiviados, la fuga de estos contaminantes de los límites del sitio de disposición final correspondiente y su escape al medio ambiente cercano causa efectos de contaminación, como emisiones de gases de efecto invernadero, olores, daño en la capa vegetal, contaminación del suelo, contaminación de aguas superficiales, contaminación en aguas subterráneas, atrayentes de vectores como insectos y roedores (Gallardo, 2013). Estos animales actúan como portadores de enfermedades, por lo tanto, se requieren de campañas de fumigación en estos sitios (Departamento Nacional de Planeación –DNP-, 2016).

Del mismo modo, se tiene en cuenta que la vida útil de los rellenos sanitarios, en promedio para diseño es de 5 hasta 10 años (Noguera, 2010, p. 347). Así mismo, la limitación de la vida útil no depende de la licencia ambiental, sino del espacio físico en el sitio, un ejemplo de esta situación es el relleno sanitario de Doña Juana en la ciudad de Bogotá, el cual cuenta con 592 hectáreas y lleva más de 30 años en funcionamiento, actualmente este lugar tiene una recolección de 6,200 toneladas de residuos por día de los cuales el 53.22% corresponde a residuos orgánicos de acuerdo con la UAESP (2014). Con el crecimiento poblacional y económico de los centros urbanos la capacidad de disposición se consumirá más rápido y las vidas útiles de los rellenos sanitarios se acortarán aún más desbordando todos los problemas ambientales (Consejo de Bogotá, 2019).

Por tal motivo se buscan nuevas alternativas para los procesos de aprovechamiento de residuos orgánicos, en consecuencia, de esto se han estudiado diferentes insectos que realicen esta labor de forma más eficiente, el abordado en este caso es la mosca solado negra (*Hermetia illucens*), la cual es un díptero de la familia *Stratiomyidae* que se distribuye por las regiones tropicales y subtropicales del planeta (Roháček, 2013, p. 101). Presenta un ciclo de vida de dos meses y una reproducción exponencial; una sola hembra puede depositar entre 300 a 1.000 huevos (Gobbi, 2012). Las larvas de esta especie necesitan almacenar suficiente energía, y además son resistentes y versátiles, logrando alimentarse de una amplia variedad de materia orgánica (Halloran, 2017, p.83). Por ello, las larvas tienen un potencial para ser implementadas como tratamiento biotecnológico en el manejo y aprovechamiento de los residuos orgánicos del sector agrícola y agropecuario. El tratamiento de los residuos con esta especie da mejores resultados comparada con otras técnicas debido a su bajo costo y bajo mantenimiento (Singh, 2019).

En comparación uno de los métodos comúnmente usados para tratamiento de los residuos orgánicos es compostaje, un método simple y de bajo costo para aprovechar todo tipo de residuos biodegradables, tal como: desechos de jardín, cocina, papeles, estiércol de animales, con ayuda de microorganismos o con ayuda de alguna especie de insecto, para generar humus ricos en nutrientes de los residuos orgánicos, colaborando con la extensión de la vida útil del relleno sanitario (Röben, 2002).

Otro procedimiento habitual para el tratamiento de residuos orgánicos es la digestión anaerobia, que consiste en una fermentación microbiana en ausencia de oxígeno que da lugar a una combinación de gases, principalmente el metano y dióxido de carbono, conocida como biogás y a un residuo acuoso llamado lodo que contiene los microorganismos responsables de la degradación de la materia orgánica (Acota, 2005, p.35).

En la primera parte de esta monografía se hace la recopilación de la base de datos bibliográficos para realizar el análisis bibliométrico con ayuda del software VOSviewer que crea mapas y tablas de las reseñas más relevantes, posteriormente se compila la información

del ciclo de vida de la mosca soldado negra, junto a la información de las variables asociadas a la degradación durante el proceso realizada por esta especie.

OBJETIVOS

Objetivo general.

Establecer las variables de interés para el aprovechamiento de residuos orgánicos mediante el uso de larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

Objetivos específicos.

-Determinar el ciclo de vida mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y las etapas relacionadas con la descomposición de residuos.

-Identificar los residuos orgánicos tratados por biodegradación asistida por la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

-Analizar las variables asociadas a la biodegradación de residuos orgánicos mediante el tratamiento con larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

1. METODOLOGÍA

1.1 Diseño Metodológico.

La presente investigación es considerada como un estudio detallado y selectivo, en el cual se describen las características fisicoquímicas asociadas a la biodegradación de residuos orgánicos y los ciclos biológicos de la mosca soldado negra en su etapa larvaria y adulta. Para esto se utilizaron métodos de bibliometría, que tiene como objetivo la identificación de las líneas de investigación y sus interconexiones, a partir de la información contenida en las bases de datos, se realizó una selección por autores, título de la publicación, tipo de documento, idioma, resumen y palabras claves con más citas y relevantes en las bases de datos (López, 2009, p.59).

El desarrollo del componente metodológico fue estructurado en fases, la primera fase se centró en establecer la etapa de identificación de conceptos claves de la temática, mediante la selección de los artículos incluidos en la base de datos Scopus, ScienceDirect, SpringerLink, Lumieres, SciELO y Google Scholar, disponibles online, en donde se realiza una consulta de documentos y revisiones científicas detallada de la información existente del tema en general de la *Hermetia illucens sp.*

La segunda fase es la estructuración de la búsqueda, la cual se construye a partir de los términos fundamentales como residuos sólidos, variables fisicoquímicas, biodegradación, manejo de desechos orgánicos, variables ambientales, mosca soldado negra y etapas biológicas. La tercera fase es el análisis de resultados de las bases de datos consultadas, de estas se obtuvieron las principales métricas de la temática de estudio, como son los resultados por año, el comportamiento por revistas de publicación y los documentos por subáreas temáticas, autores, países, entre otros.

La cuarta y última etapa es el posicionamiento y la visualización de las unidades de análisis en mapas bidimensionales, para el procesamiento cuantitativo de los datos, para ello se utilizó el software VOSviewer que es una herramienta que permite la visualización de las redes

bibliométricas, una vez generadas las diferentes redes bibliométricas por el software, se procedió a realizar un análisis de las implicaciones de las mismas, determinando el número de coautorías por país, autores con trabajos en colaboración y las concurrencia de palabras claves. Al mismo tiempo se explica el ciclo de vida de la mosca soldado negra con la información obtenida en los artículos que se encontraron en la base de datos, además de los residuos más frecuentes que se implementan para su tratamiento.

Posteriormente se precisan las variables físico químicas asociadas al tratamiento de degradación por medio de la especie *Hermetia illucens sp* para señalar el cambio de los residuos orgánicos, finamente se realiza una demostración matemática de un flujograma con el fin de determinar el balance de masa del proceso completo para generar compostaje.

2. RESULTADO

2.1. Análisis de Bibliometría

2.1.1 Coautorías por países

Los archivos CSV (*Comma Separated Values*) descargados de Scopus se importaron desde la opción *Create a map based on bibliographic data* del programa VOSviewer, en la opción *Read data from bibliographic database files*. Con la nueva ventana emergente se elige la opción coautoría (en tipo de análisis), países (en unidad de análisis), el software VOSviewer solicita el número mínimo de publicaciones que debe tener un país para ser incluido en la red de colaboraciones por país, esto se realizó con cinco (5) publicaciones y a consecuencia resulta que 53 países cumplen el umbral, lo cual se puede observar en la tabla 1.

Tabla 1.

Países con mayores coautorías

<i>Country</i>	<i>Documents</i>	<i>Citations</i>	<i>Total link strength</i>
<i>China</i>	213	3478	142
<i>United states</i>	172	4247	138
<i>Italy</i>	189	5689	125
<i>United kingdom</i>	62	1301	97
<i>Switzerland</i>	50	2165	84
<i>Netherlands</i>	91	3586	77
<i>Kenya</i>	40	621	69
<i>Germany</i>	82	2581	68
<i>Belgium</i>	60	1116	57
<i>Spain</i>	44	1658	55
<i>Brazil</i>	48	936	51
<i>Malaysia</i>	59	396	51
<i>South Africa</i>	35	214	51
<i>Thailand</i>	28	256	50
<i>Ghana</i>	16	215	43
<i>India</i>	48	663	43

Tabla 2. (Continuación)

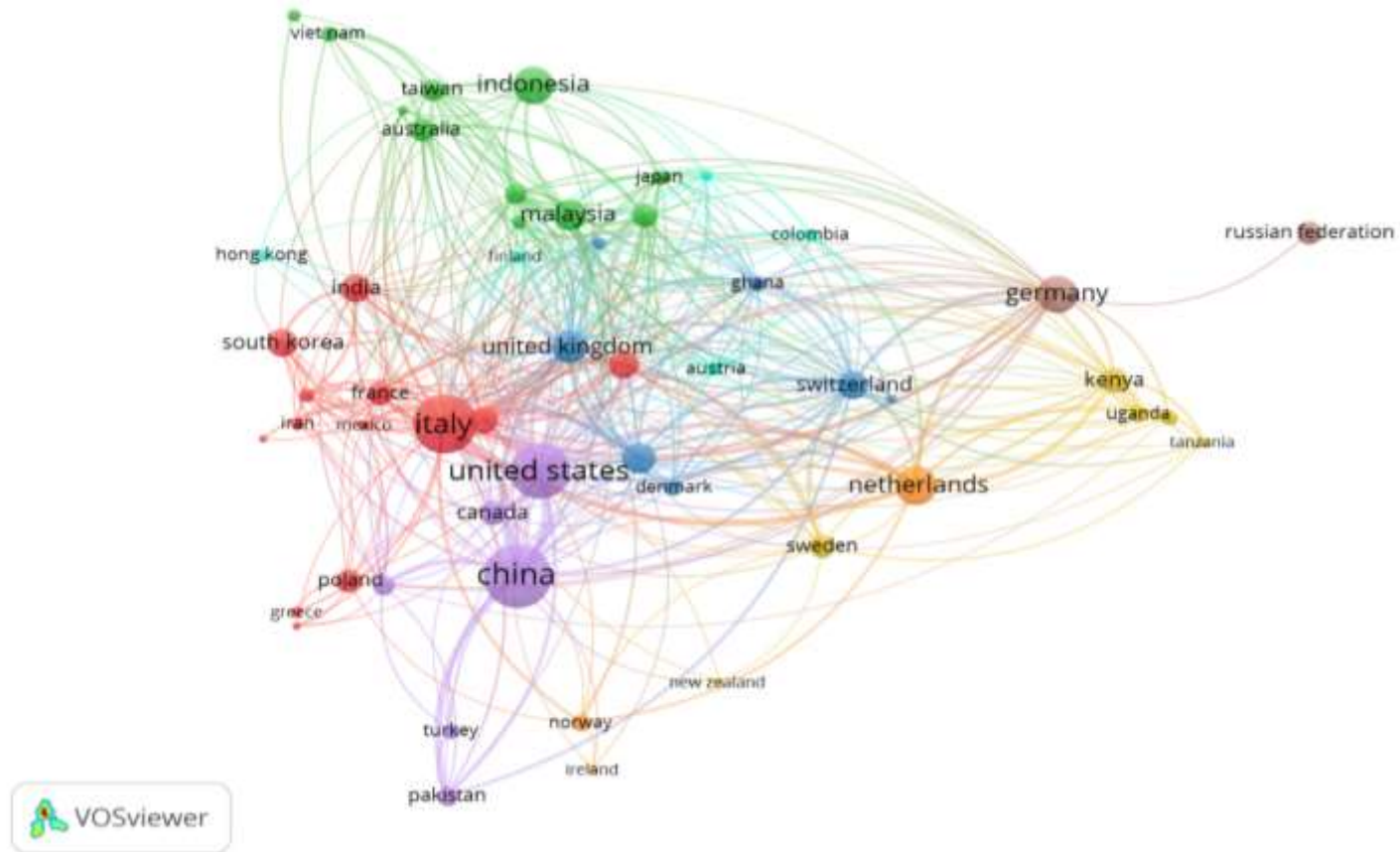
<i>Country</i>	<i>Documents</i>	<i>Citations</i>	<i>Total link strength</i>
<i>Taiwan</i>	32	573	39
<i>Australia</i>	33	247	37
<i>Cameroon</i>	18	173	37
<i>Pakistan</i>	24	562	37

Nota. Esta tabla muestra los países con mayores coautorías sobre artículos de investigación de la *Hermetia illucens sp.* Realizado con programa VOSviewer.

En la Figura 1 se muestra la visualización de coautoría entre países. Cada círculo representa un país y su tamaño refleja la cantidad de documentos publicados en la base de datos de Scopus, la cercanía o lejanía de un círculo a otro refleja la fuerza de coautoría que ejerce cada país, es decir, cuanto más cerca se encuentra un círculo de otro, mayor será la fuerza de coautoría entre ellos. Mientras que círculos que representan países se ubican lejos uno del otro, menor será la relación de coautoría, los colores indican *clusters* de países que están relativamente relacionados entre sí.

Figura 1.

Visualización de grafico de citación por país con mínimo 5 publicaciones.



Nota. Esta figura muestra la visualización de grafico de citación por país con mínimo 5 publicaciones sobre los artículos de investigación de la *Hermetia illucens* sp. Realizado con programa VOSviwer.

China es el país más productivo con 213 documentos y colaboró con 32 países diferentes, le sigue Estados Unidos con 172 documentos, no obstante, Italia es el país que más colaboraciones tiene con 38 países diferentes. Por otra parte, Colombia colaboro con (11), Brasil con (48) y México con (10) son los países más productivos de Latinoamérica.

2.1.2 Autores con mayores trabajos en colaboración

Para la construcción de la red de colaboraciones de autores, de los 4807 citados de Scopus y ScienceDirect, se seleccionaron los autores con máximo diez (10) referencias, y con ello se escogieron a los autores más relevantes dando como resultado de 53 autores.

En la tabla 2 se muestra una selección de los autores con más colaboraciones, se observó que el autor con más documentos es Jeff k. Tomberlin, Profesor asociado y becario de investigación de *AgriLife* en el Departamento de Entomología de la Universidad de Texas A&M, su trabajo se desarrolló en el ámbito de la ecología y biología de las moscas asociadas con material en descomposición. Sin embargo, el autor con mayor relevancia en referencia es J. Zhang con 146 de vínculos total del enlace en consulta de referencias bibliográficas.

Tabla 3.

Autores con mayores trabajos en colaboración

<i>Autor</i>	<i>Documentos</i>	<i>Total link strength</i>
Zhang, J.	43	146
Yu, Z.	35	143
Zheng, L.	32	133
Cai, M.	23	102
Gasco, L.	38	94
Schiavone, A.	24	90
Tomberlin, J.	50	85
Gai, F.	22	83
Dabbou, S.	19	82
Ekesi, S.	21	75
Tanga, C.	23	73

Tabla 4. (Continuación)

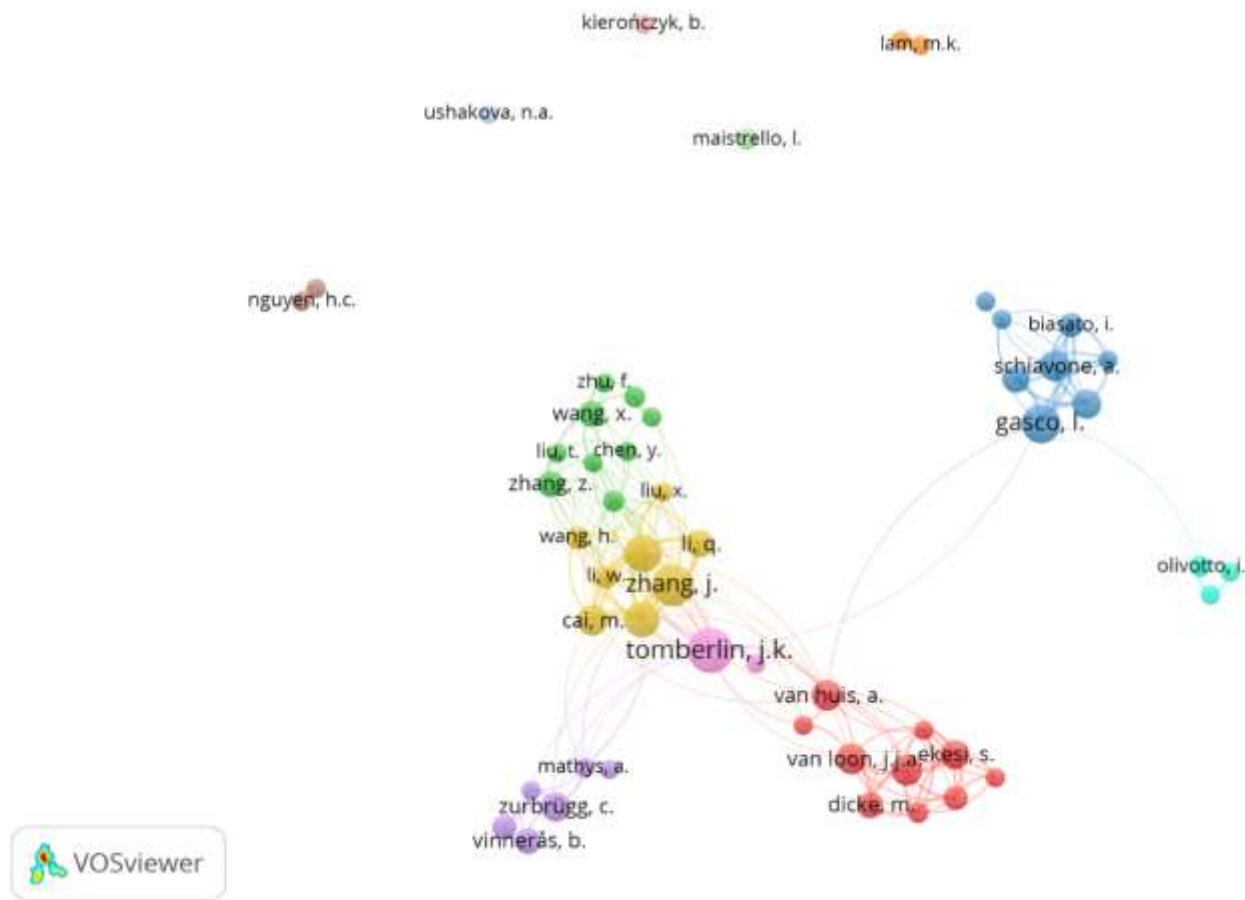
<i>Autor</i>	<i>Documentos</i>	<i>Total link strength</i>
Biasato, I.	16	72
Li, W.	14	68
Fiaboe, K.	16	63
Li, Q.	20	63
Capucchio, M.	11	54
Khamis, F.	11	51
Subramanian, S.	12	51
Van Loon, J.	25	49
Wang, H.	14	47

Nota. Esta tabla muestra los Autores con mayores trabajos en colaboración sobre artículos de investigación de la *Hermetia illucens sp.* Realizado con programa VOSviewer.

En la figura 2 se construyó una red de coautorías con 12 *cluster* en donde hay 5 agrupaciones estrechamente relacionadas, los cuales son el *cluster* 1 (rojo), *cluster* 2 (verde), *cluster* 4 (amarillo), *cluster* 5 (morado), *cluster* 9 (rosa), de modo que representan las comunidades con las que se realizan los artículos e investigaciones sobre la mosca soldado negra, adicional los nodos con mayor tamaño son lo del *cluster* 4 y 9, lo anterior demuestra la importancia y relevancia de los artículos que realizaron estos autores.

Figura 2.

Gráfico de co-autorías, autores con mayores trabajos en colaboración. teniendo al menos 10 documentos



Nota. Esta figura muestra los autores con mayores trabajos en colaboración. teniendo al menos 10 documentos sobre los artículos de investigación de la *Hermetia illucens sp.* Realizado con programa VOSviewer.

2.1.3 Concurrencia de palabras claves de los autores

En los datos de los artículos descargados de Scopus se obtuvo un total de 3.356 palabras claves, para simplificar la estructura se seleccionaron solo las palabras claves cuya frecuencia fueran de doce (12) para disminuir la complejidad de visualización de la red.

La tabla 3 muestra las concurrencias de las palabras claves en las áreas temáticas de mayor actividad científica, omitiendo el nombre común y el nombre científico de la mosca soldado negra y otras características del insecto, se tiene como resultado que el biodiesel tiene una ocurrencia de sesenta y tres (63) coincidencias, le siguen insectos comestibles con sesenta y uno (61), bioconversión con cincuenta y tres (53), harina de insectos y sustentabilidad con cincuenta y uno (51) y cuarenta y seis (46) respectivamente. Asimismo, se puede observar que la bioconversión tiene una cantidad de enlaces de ciento quince (115) convirtiéndola en la más relevante, esto se realizó omitiendo las características propias de la mosca soldado negra.

Tabla 5.

Palabras claves con mayor concurrencia

<i>Autor</i>	<i>Documentos</i>	<i>Total link strength</i>
<i>Black Soldier fly</i>	202	245
<i>Hermetia illucens</i>	200	261
<i>Black Soldier fly larvae</i>	64	69
<i>Biodiesel</i>	63	78
<i>Edible insects</i>	61	76
<i>Bioconversion</i>	57	115
<i>Insects</i>	54	83
<i>Insects Meal</i>	51	78
<i>Sustainability</i>	46	83
<i>Circular Economy</i>	44	67
<i>Entomophagy</i>	44	64
<i>Food Waste</i>	44	59
<i>Chitin</i>	43	59

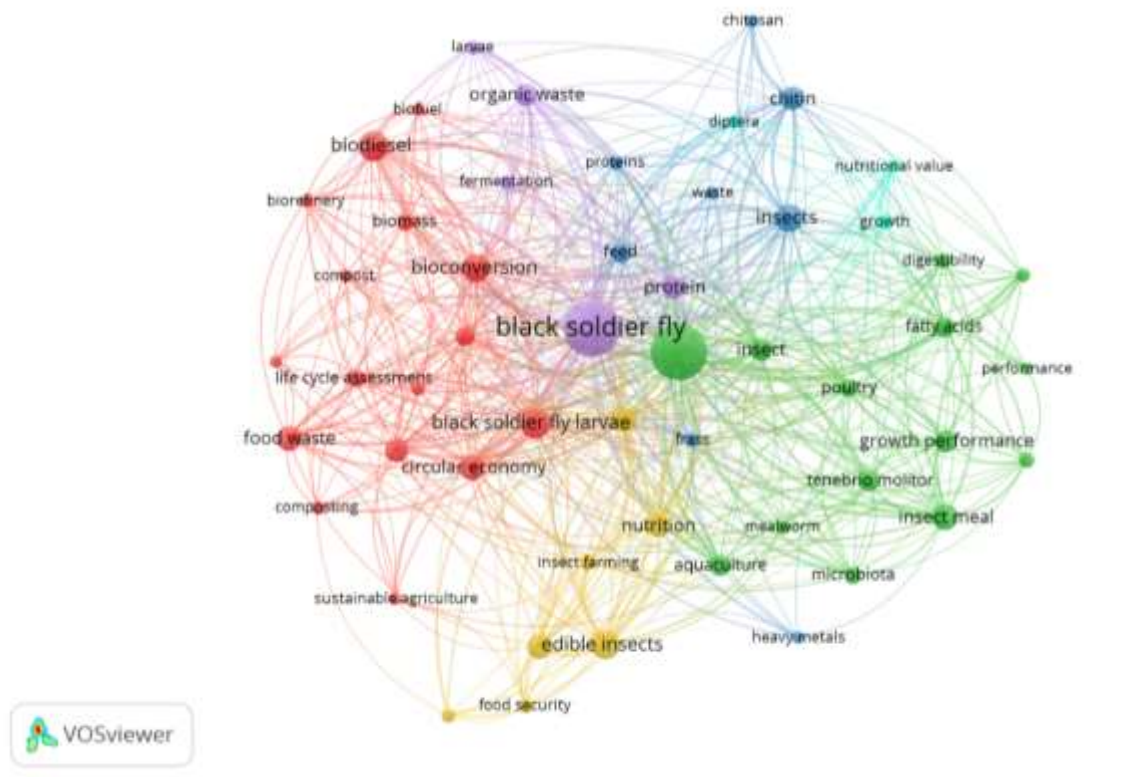
Tabla 6. (Continuación)

<i>Autor</i>	<i>Documentos</i>	<i>Total link strength</i>
<i>Protein</i>	41	77
<i>Nutrition</i>	40	71
<i>Waste Management</i>	39	61
<i>Insect</i>	38	68
<i>Organic Waste</i>	38	63
<i>Growth Performance</i>	37	42
<i>Aquaculture</i>	34	41

Nota. Esta tabla muestra las palabras claves con mayor concurrencia sobre artículos de investigación de la *Hermetia illucens sp.* Realizado con programa VOSviewer.

En la figura 3 se muestra 6 grupos de criterios, como las relaciones de co-concordancia entre cada palabra clave, el tamaño de los enlaces. Los nudos son proporcionales a la frecuencia y a la fuerza de conexión de las palabras claves, posicionando a la sustentabilidad en el centro del mapa y omitiendo características de identificación de la mosca soldado negra.

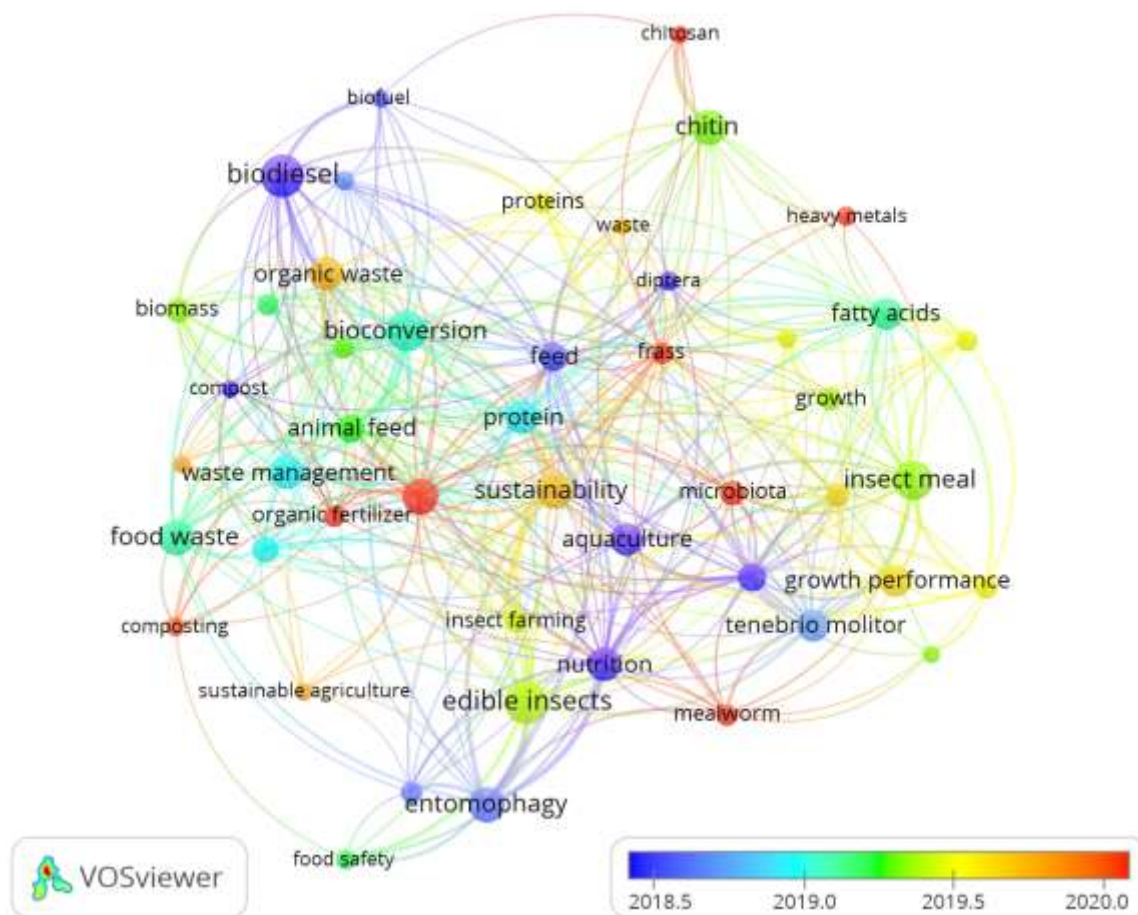
Figura 3.
 Concurrencia de palabras claves



Nota. Esta figura muestra la Concurrencia de palabras claves sobre los artículos de investigación de la *Hermetia illucens* sp. Realizado con programa VOSviewer.

En la visualización se puede observar las temáticas presentadas por año entre 2018 y 2021 (figura 4), los nudos en celeste fueron temas recurrentes entre finales del 2018 y a principios del 2019, para luego comenzar a tratar temas como la biomasa, insectos comestibles, alimentación animal, fermentación y harina de insectos a mediados del 2019.

Figura 4.
Visualización temática por años



Nota. Esta figura muestra la visualización temática por años sobre los artículos de investigación de la *Hermetia illucens sp.* Realizado con programa VOSviewer.

2.2 Ciclo de vida de la mosca soldado negra

La mosca soldado negra presenta 4 etapas de vida las cuales empiezan con fase de huevos, larvas, pupas e imago (adulto), este insecto presenta una metamorfosis completa, la duración de cada etapa del ciclo de vida de *Hermitia illucens* está influenciada por varios componentes abióticos y bióticos, que pueden alterar significativamente el desarrollo del ciclo de vida de esta especie (Gobbi,2012).

2.2.1 Huevo.

Al presentar una vida útil corta, las hembras de la especie depositan una masa aproximadamente de 500 huevos recubriendo su superficie con moco, lo que proporciona la adherencia al material orgánico en descomposición como excremento, desechos orgánicos, residuos en descomposición (Guo, 2021). Los huevos se aglomeran en lugares protegidos y escondidos, preferentemente en orificios pequeños, su eclosión tarda aproximadamente cuatro días, cada huevo tiene forma ovalada con longitud de 1 mm y un color amarillo o blanco cremoso con el tiempo de maduración del embrión, brillante, con superficie irregular y con aspecto arrugado (Salomone, 2017).

2.2.2 Larva.

Las larvas son asociadas normalmente al material orgánico en descomposición, presentan diversidad de colores y tamaños, los cuales en promedio cambian de coloración en el desarrollo de crecimiento, variando de color blanco (estadios iniciales) al amarillo (estadios finales) (Giunti, 2018, p.29). Con una longitud de 1mm a 27 mm, logrando ser terrestres, acuáticas o semiacuáticas, también, pueden ser identificadas por su cabeza, la cual es comprimida cuyo largo supera su ancho, igualmente por las segmentaciones torácicas y los 8 segmentos en el abdomen (Gobbi, 2012). Durante el desarrollo larvario consumen una gran cantidad de material orgánico insaciablemente, ya que dependerán de la grasa almacenada para cuando alcance su estado adulto (Cabrera, 2021).

2.2.3 Pupa.

Al final del crecimiento, las larvas buscan terrenos secos y oscuros, pueden trasladarse hasta 15 metros y subir 45° de inclinación para estar en su estado de pupa, a este estado se lo conoce como pre-pulpa, después comienza la etapa de pupa que se identifica por el endurecimiento y oscurecimiento, en este punto contienen una mayor cantidad de nutrientes por el almacenamiento de grasa en la etapa de larva que emplea para terminar su metamorfosis (Gómez, 2018).

2.2.4 Imago o adulto.

Los imagos emergen después de dos días de la pupa, teniendo una longitud de 16 mm a 22mm, las cuales varían de color entre negro, verde y azul metalizado, además salen con dos alas de forma discal redondeada y algunas ramas de la vena translucidas ubicadas en la segunda segmentación del abdomen, al igual que las patas que poseen una coloración blanca al final, en esta etapa no consumen alimentos ya que aún tiene reservas de grasa que recolectaron en su estado larvario (Giraldo, 2019, p.81).

2.3 Condiciones de crecimiento de la larva de la mosca soldado negra

2.3.1 Temperatura.

La temperatura afecta directamente sobre el crecimiento y desarrollo de las etapas de las larvas de la *Hermetia illucens sp.* como con la mayoría de los insectos, al ser una especie que se desarrolla entre límites amplios de temperaturas, las larvas de la mosca soldado negra toleran unas temperaturas entre 21°C a 30°C, otros autores como Gobbi, llegan a un límite de 37.5°C, permitiendo que el metabolismo de las larvas se incremente, haciendo que los imagos sigan siendo pequeños teniendo una vida útil más corta (Gobbi, 2012)

Cabrera encontró en su investigación que el 99,6% del desove pasa en un rango determinado de temperatura entre 27 °C y 36°C (Cabrera, 2021). Otros hallazgos como el de Tomberlin

dice que, a temperatura de 27°C, las larvas pesaban entre el 5% y el 10% más que las que fueron criadas a 30°C (Tomberlin, 2009, p.930).

2.3.2 Humedad.

Igual que la temperatura, la humedad ambiental puede tener efectos biológicos perturbando el desarrollo óptimo de la larva, debido a un contenido abundante de humedad dificulta la aceleración de descomposición, lo cual obstaculiza el procesamiento posterior del cultivo, la humedad ideal para que el desarrollo de la larva no sea afectada es de 40% y 60% (Cabrera, 2021), adicionalmente el crecimiento de pupas es mayor en un 85% de contenido de humedad, incluso en lodos fecales, desempeñando un papel importante en las actividades metabólicas de las larvas, lo aconsejable es de un 70% (Čičková, 2015, p.68).

2.3.3 Fuente de luz.

Otros factores como la lumínica estimulan la reproducción de las moscas a un 85%, puesto que la luz del sol es importante, en particular se propone que los ojos de la mosca soldado negra poseen características únicas de fotorreceptores, para ello se ha buscado implementar la luz artificial a una intensidad de $110 \mu \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$, por tal motivo en algunas investigaciones usaban lámparas de yoduro de cuarzo a una intensidad de luz de $135 \mu \text{ mol m}^2 \text{ s}^{-1}$ (Gobbi,2012). Adicionalmente, es importante proteger de la luz solar directa, pues esta puede aumentar la temperatura de los mismos y comprometer la eficiencia y el desarrollo de las larvas de mosca soldado negra (Cabrera, 2021).

2.3.4 pH

La investigación de Gómez plantea un desarrollo y crecimiento larvario optimo con valores de pH de un margen superior a 6, no obstante, la capacidad de regular el pH depende de la cantidad de densidad de las larvas de la mosca soldado negra, por tal motivo el rango de crecimiento para este parámetro es de 6 a 10, para que presente un rendimiento óptimo

(Gómez, 2018). También esta especie puede regular pH hasta de 9 de los lixiviados que se pueden presentar en la descomposición (Popa, 2012, p.374).

2.4 Residuos biológicos tratados

Para la elaboración de la tabla 4, se analizaron los artículos de los autores con más coautorías para establecer los residuos que se implementan para la biodegradación realizadas por la mosca soldado negra.

Como resultado los residuos más comunes son el estiércol, los residuos de frutas y verduras y en menor medida residuos de pesca y huevos de gallinas. Estos residuos provienen respectivamente de sus industrias.

Tabla 4.

Mayores residuos orgánicos asistidos por la mosca soldado negra

Residuos biológicos		Descripción	Reducción de material (%)	Referencia
Estiércol	Aves de corral	Dependiendo de las prácticas de manejo, esto puede incluir material de cama como paja y heno.	51,0 - 60,0	(Chía, 2019, p.705), (Parodi, 2021, p.674), (Wang, 2021, p.1157), (Rehman, 2019, p.75), (Rehman, 2017, p.366), (Lalander, 2015, p.96) (Beskin, 2018, p.213) (Miranda,2019, p.281), (Bortolini, 2020), (Mazza, 2020, p.312). (Miranda, 2020, p.1)
	Porcinos		23,1	
	Bovinos		25,0 – 40,0	
	Humano	Lodos fecales de tecnologías de saneamiento in situ.	47,7	
Residuos de frutas/verduras	Maíz	Frutas y verduras desechadas por hogares, restaurantes, mercados, centros comerciales, empresas e instituciones públicas.	25,0 – 40,0	(Truzzi,2020), (Larde, 1990, p.307), (Permana, 2018, p.1), (Zhang, 2021, p.1167), (Li, 2011, p.1316), (Isibika, 2019, p.151), (Isibika, 2021), (Cuncheng, 2021)
	cascarillas de arroz		58,2 – 70,9	
	Paja de trigo		29,8 – 49,0	
	cascarillas de café		48,9 – 70,2	
	Cascara de plátano		48,9 – 70,2	
	Cascara de naranja		25,0 – 50,0	

Tabla 4.(Continuación)

Residuos biológicos	Descripción	Reducción de material (%)	Referencia
Residuos pesqueros	Las aletas y todo el contenido interno del pescado, incluidas las branquias, los riñones, los intestinos, el corazón, el estómago y la vejiga producidas por las industrias pesqueras	25,0 – 65,0	(Chaklader, 2021), (Isibika, 2021)
Huevo de gallina	Cascaras de huevo de gallina	33,5	(Surendra, 2020, p.58), (Campos, 2019)

Nota. Esta tabla muestra la recopilación de los mayores residuos orgánicos asistidos por la mosca soldado negra en los artículos científicos consultados.

2.5 Variables asociadas a la degradación.

Las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) tienen una extensa gama de sustratos para degradar, ya sean plantas, restos de animales o restos de comida, esto ocurre durante la etapa larval. Por tal motivo es importante clasificar el tipo de residuos orgánicos que se suministre a la larva, porque de esto dependerá su desarrollo y crecimiento para su fase adulta, ya que no se alimenta siendo moscas, sino solo se reproducen en esa etapa (Sing, 2019).

El tratamiento de restos orgánicos mediante la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) transforma estos residuos en biomasa reutilizable de diversas maneras, siendo una de las que presenta mejores perspectivas como alimento animal, su alta concentración proteica y otros nutrientes como ácidos grasos, pigmentos, vitaminas y minerales, permitiendo su inclusión en las dietas avicultura, ganadera y acuicultura (Smetana, 2016, p.741).

Otro aspecto a destacar es, que la especie se puede cultivar y cosechar en instalaciones simples que no requieren grandes habilidades operativas y respecto de otros insectos tienen

la ventaja de convertir los desechos en alimento, generar valor y cerrar los circuitos de nutrientes a medida que reducen la contaminación y los costos (Lalander, 2015, p. 96).

El contenido de material seco en promedio estuvo por debajo del 28 % de humedad en todas las mezclas de sustrato de los estudios, mientras que el contenido de sólidos volátiles osciló entre 83% y 95 % en base al material seco (Reategui, 2020, p.513). El pH de las mezclas de los sustratos varía entre 4 y 7, el contenido de proteína aumenta, mientras que el contenido de carbohidratos disminuye, generalmente con el aumento de la cantidad de desechos de pescado en la mezcla (Menino, 2021). La relación Carbono-Nitrógeno aumentó con la inclusión de cascara de naranja y disminuyó con la inclusión de desechos de pescado en la mezcla de sustrato (Castilla, 2020). Los residuos de tratamiento de todas las mezclas presentaron pH entre 5 y 10, mientras que el contenido de humedad osciló entre 52% y 90% (Gómez, 2018). Mientras, en el ciclo de crecimiento de las larvas la temperatura se mantuvo entre 18°C y 25 °C (Harden, 2016, p.109). En la degradación de material vegetal, muestran una tasa de bioconversión del 46,77% en la degradación de frutos, dando como una tasa de bioconversión del 44,44% en promedio, se evidencia una reducción del 65% al 78% del total de residuos (Rehman, 2019, p.75).

2.5.1 Balance de masa

La siguiente representación de balance de flujo de materia orgánica es basada del trabajo de Hanwen Guo que analiza el flujo de materia y la evaluación del ciclo de vida de la bioconversión de los residuos por las *Hermetia illucens sp*, las que convertirán el material a compostaje. En primer lugar, se establece una base de cálculo para llevar a cabo el desarrollo de los balances, se escoge la producción de material orgánico (MO) en Kilogramos por día, si la producción de residuos está en otra unidad de medida, es necesario realizar una conversión para que quede en las unidades deseadas (Guo,2021).

$$MO_1 \left(\frac{Kg}{día} \right)$$

Luego se busca reducir el tamaño del residuo biológico, con este proceso se estima la pérdida del 1% debido a que una pequeña parte se queda adherida a los equipos (Natividad, 2019), se establece lo siguiente:

$$MO_1 = MO_2 + MO_3$$

Se halla la masa del material orgánico final (MO_3), que sale de la disminución de tamaño teniendo en cuenta el 1% de pérdidas por la trituración.

$$MO_1 - (0,01Kg)(MO_2) = MO_3$$

Dependiendo del alto contenido de humedad en los residuos que puedan presentar, lo establecido para que la larva actúe de manera óptima se requiere un 70% de humedad, se pueden usar varios métodos para alcanzar este valor, los más usado es disponer de cascarilla de arroz, la relación de este componente seco debe ser de 4:1 (Guo,2021).

$$\frac{MO_3}{4} = MO_4$$

El valor de MO_4 es la cantidad de cascarilla de arroz o de material seco necesaria para obtener la humedad del sustrato requerida, el siguiente balance determinar el valor del flujo 5 del proceso de adecuación:

$$MO_3 + MO_4 = MO_5$$

Según Guo en su investigación usan entre 10000 larvas para 15 kilogramos de sustrato a 14000 larvas para 25 kilogramos de sustrato, también, establecen un peso aproximadamente de 0,85 mg por larva a los 4 días (Guo, 2021).

Realizando una relación lineal para determinar las unidades de larvas:

$$25kg \rightarrow 14000 \text{ larvas}$$

$$MO_5 \rightarrow X_{UL}$$

$$\frac{(14000)(MO_5)}{25} = X_{Unidades\ de\ Larvas}$$

Para el peso aproximado de cada una se multiplicará el peso de una larva por el número de unidades de larvas para general el flujo 6:

$$X_{Unidades\ de\ Larvas} + 0,85mg = MO_6$$

Cambiar las unidades de MO_6 a Kg larvas por día.

Debida a que esta operación existe salidas de emisiones por la reacción de descomposición que sucede en el biorreactor. De acuerdo con Guo, de los 1250 kg de sustrato, 630.53 kg fueron liberados a la atmósfera como emisiones por carbono, metano y nitrógeno (Guo, 2021), por lo tanto, se determina las emisiones por sustrato para el flujo 7:

$$1250\text{kg sustrato} \rightarrow 630.53\ \text{Kg emisiones}$$

$$MO_5 \rightarrow X_{emisiones}$$

$$X_{emisiones} = MO_7$$

Sabiendo los valores de los flujos 5,6 y 7 se determina el flujo 8:

$$MO_5 + MO_6 = MO_7 + MO_8$$

$$MO_8 = MO_5 + MO_6 - MO_7$$

Guo determinaron que la bioconversión de 619.47 Kg compuesto de prepupas y residuos pos compost es de 93,86 Kg son de prepupas y el restante 525.61 Kg es de residuos (Guo, 2021).

Realizando una relación lineal para determinar las prepupas para la cantidad de sustrato que este manejando en el proceso de separación:

619.47 kg \rightarrow 93,86 Kg prepupas

$$MO_8 \rightarrow X_{prepupas}$$

$$X_{prepupas} = MO_{10}$$

Sabiendo los valores del flujo 8 y 10 se determina el flujo 9:

$$MO_8 = MO_9 + MO_{10}$$

$$MO_9 = MO_8 - MO_{10}$$

Con el último proceso de pos compost la investigación realizada por Guo, aportan un valor de 225.61 kg de emisiones que aparecen en la etapa de maduración, el valor es de 525.61 Kg de compostaje creado en esta etapa (Guo, 2021). Luego se busca el valor de las emisiones que se crea en el flujo MO_9 , realizando una relación lineal:

525.61 Kg compostaje \rightarrow 225.61 kg emisiones

$$MO_8 \rightarrow X_{emisiones}$$

$$X_{emisiones} = MO_{11}$$

Sabiendo los valores del flujo 8 y 11 se determina el flujo 12:

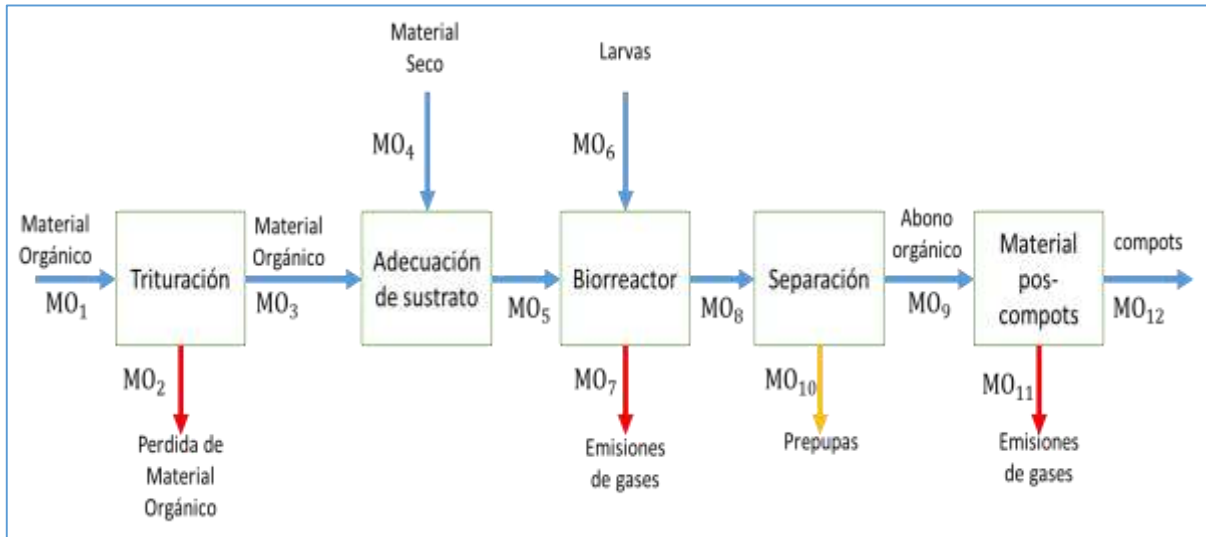
$$MO_9 = MO_{11} + MO_{12}$$

$$MO_{12} = MO_9 - MO_{11}$$

En el proceso de separación salen las prepupas de la mosca soldado negra ser utilizadas como materia prima de pienso, biodiesel o alguno de los tratamientos que su pueden implementar.

Figure 5

Balance de masa en bloque de cada proceso



Nota. Esta figura muestra el balance de masa en bloque de cada proceso asistidos por la mosca soldado negra. Basado de: Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversión by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). Disponible: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720351858>

3 CONCLUSIONES

Los residuos orgánicos tratados por la mosca soldado negra (*hermetia illucens*) son los que tienen como base de maíz, harina de alfalfa, afrecho, pulpa de café, estiércol vacuno, broza de papa, residuos de cítricos y residuos de cebolla como fuente de alimento para animales o tratado de residuos, también usan otros residuos como el estiércol como fuente para crear biodiesel según la bibliometría de los artículos estudiados.

China presenta 213 documentos de investigación relacionados con la mosca soldado negra (*hermetia illucens*), por tal motivo posee uno de los autores con más citas J. Zhang, aun así, Italia es el país con más citas y el autor con más documentos es Jeff k. Tomberlin con 50 documentos.

Las temáticas relacionadas con la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) entre el año 2018 y a mediados de año 2019, se enfocan en la parte de residuos orgánicos y bioconversión, a partir de la mitad del 2019 se enfocan en temas de sustitución de alimentos humanos o fuente proteínica para animales de granja.

Una de las razones por la que esta especie es de particular interés es porque la mosca adulta no se alimenta y, por lo tanto, no es un vector de transmisión de enfermedades, por ello es utilizada para el manejo de residuos de industrias caficultora, avícola, ganadería y manejo de residuos de cultivos.

Por su amplia diversidad de alimento la *Hermetia illucens sp* puede reducir del 65% al 78% del total de residuos suministrados para su degradación, manteniendo la mezcla de desechos con una variación de pH entre 4 y 7, y a una temperatura entre 18 °C a 25 °C, aumentando el contenido de proteína y disminuyendo la cantidad de carbohidratos, generando una bioconversión del 44,44%.

Las larvas de la mosca soldado negra muestran un mejor comportamiento en residuos orgánicos mixtos y una mayor supervivencia en sustratos blandos, se observa que la

trituration de alimentos es la mejor opción para optimizar los resultados del proceso de degradación, con el fin de hallar la alimentación optima de las pupas con fines exclusivos de alimentación animal, estos productos suelen ser más saludables y tienen un menor impacto negativo en los ecosistemas y el medioambiente, el humus orgánico permite aprovechar los residuos orgánicos que se generan, como lo son las cáscaras de huevo, cáscaras de fruta o de vegetales, el estiércol, entre otros.

BIBLIOGRAFÍA

- Acosta, Y. Obaya, M. (2005). La digestion anaerobia, aspectos teoricos parte 1. *Instituto Cubano de investigaciones de los derivados de la caña de azúcar*. 39 (01), pp. 35-48.
<https://www.redalyc.org/pdf/2231/223120659006.pdf>
- Beskin, K. Holcomb, C. Cammack, J. Crippen, T. Knap, A. Sweet, S. Tomberlin, J. (2018). Larval digestion of different manure types by the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) impacts associated volatile emissions. *Waste Management*. 74 (370), pp. 213-220. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85041370289&doi=10.1016%2fj.wasman.2018.01.019&partnerID=40&md5=58a1f49eba4d91dd57b0a0060b88446d>
- Bortolini, S. Macavei, L. Hadj Saadoun, J. Foca, G. Ulrici, A. Bernini, F. Malferrari, D. Setti, L. Ronga, D. Maistrello, L. (2020). *Hermetia illucens* (L.). larvae as chicken manure management tool for circular economy. *Journal of Cleaner production*. 262 (121289). <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85082837728&doi=10.1016%2fj.jclepro.2020.121289&partnerID=40&md5=43d61ef72248b710dd30ffe0e6d41bc5>
- Campos, M. (2019). Estudio de pre factibilidad para la instalación de una planta de producción de larvas de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). [Trabajo de grado]. *Universidad Antonio Ruiz de Montoya*. <https://repositorio.uarm.edu.pe/handle/20.500.12833/2032>
- Cabrera, D. (2021). Evaluación de la larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos. [Trabajo de grado]. *Fundación Universidad de América*. <https://repository.uamerica.edu.co/bitstream/20.500.11839/8329/1/6152687-2021-1-IQ.pdf>
- Caicedo, L. (2016). Hablando de medio ambiente y nos mandaron el basurero encima: las resistencias en mochuelo alto frente al relleno sanitario. [Trabajo de grado]. *Universidad Distrital Francisco José de Caldas*. <https://repository.udistrital.edu.co/bitstream/handle/11349/3074/CaicedoCardenasLe?sequence=1>

- Castilla, A. (2020). Diseño y automatización de fábrica de piensos usando la mosca soldado negra. [Trabajo de grado]. *Universidad de Valladolid*.
<https://uvadoc.uva.es/handle/10324/44896>
- Chaklader, R. Howieson, J. Foyssai, J. Fotedar, R. (2021). Transformation of fish waste protein to *Hermetia illucens* protein improves the efficacy of poultry by-products in the culture of juvenile barramundi, *Lates calcarifer*. *Science of The Total Environment*. 796 (149045).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969721041176>
- Chia, S. Tanga, C. Osuga, I. Alaru, A. Mwangi, D. Githinji, M. Subramanian, S. Fiaboe, K. Ekesi, S. van Loon, J. Dicke, M. (2019). Effect of dietary replacement of fishmeal by insect meal on growth performance, blood profiles and economics of growing pigs in Kenya. *Animals*. 9 (10), pp 705. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85073411470&doi=10.3390%2fani9100705&partnerID=40&md5=00d60ea29b4cc0583291d20332148762>
- Čičková, H. Newton, G. Lacy, R. Kozánek, M. (2015). The use of fly larvae for organic waste treatment. *Waste Management*. 35, pp 68-80.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84919663564&doi=10.1016%2fj.wasman.2014.09.026&partnerID=40&md5=2e46a920ca1fa55fcb29d9a6c9032824>
- Consejo de Bogotá. (2019). Las 6.000 toneladas de basura que llegan a Doña Juana es Responsabilidad de TODOS. Agenda 2022.
<https://www.concejodebogota.gov.co/las-6-000-toneladas-de-basura-que-llegan-a-dona-juana-es-responsabilidad/cbogota/2019-04-02/131450.php>
- Cuncheng, L. Cunwen, W. Huaiying, Y. Stephen, J. (2021), Pretreatment is an important method for increasing the conversion efficiency of rice straw by black soldier fly larvae based on the function of gut microorganisms. *Science of The Total Environment*. 762 (144118).
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972037649X>
- Departamento Nacional de Planeación. (2016). Disposición Final de Residuos Sólidos Informe Nacional – 2015.

<https://www.superservicios.gov.co/sites/default/archivos/SSPD%20Publicaciones/Publicaciones/2018/Oct/informedisposicionfinalano2015-sspd1.pdf>

Gallardo, K. (2013). Obtención de compost a partir de residuos orgánicos impermeabilizados con geomembrana. [Trabajo de grado]. *Universidad Nacional de Ingeniería*. https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/47801843/tesis_compos-with-cover-page-v2.pdf?Expires=1645834391&Signature=ZyZvu0eGkHlqNiHVJg7uFlwnX8kwYDU~hIAQtstDC8USjqnUk91uhxJM6nCNdjrpvKeeNKX8Ape9Wt6h5iAhQxybrRpdYMJY8IOPA17dDv84fyfy32d0kKli17YZkpuq~Arj1MvmVRdCo0--N-Xw5d6EZ1OFMJq-i-KrRYlwHD5Dfj8DvRCh5PsoFJ3nck3ntT685q7VCXwQjzwwfiYjS~2Iq0Qxp6ftH5hS1TiwLqJMYWhJgqO66ykRIH8BxQgHfDGJvjSowXDahDkyUXRQfiZZMgN7Ph4fsccl-D-Yv65h06gMPtytZ~Xs-SxgkEpH-zdjk8i-tb1wOCKT3jhrEQ__&Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA

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). *Researchgate*. 38 (1), pp 29-46. https://www.researchgate.net/profile/Orlando-Campolo/publication/327935981_Male_courtship_behaviour_and_potential_for_female_mate_choice_in_the_black_soldier_fly_Hermetia_illucens_L_Diptera_Stratiomyidae/links/5be11dd0299bf1124fbe1efb/Male-courtship-behaviour-and-potential-for-female-mate-choice-in-the-black-soldier-fly-Hermetia-illucens-L-Diptera-Stratiomyidae.pdf

Giraldo, M. Rodríguez, N. Benavides, P. (2019) Uso potencial de *Hermetia illucens* (Linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) para transformación de pulpa de café: aspectos biológicos realizado. *Cenicafe*. 70 (2), pp 81-90. <https://www.cenicafe.org/es/publications/arc070%2802%29081-090.pdf>

Gobbi, F. (2012). Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa. Universidad de Alicante. [Trabajo Doctoral]. *Universidad de Alicante, Centro Iberoamericano de la Biodiversidad*. <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/28345>

- Gómez, W. (2018). Evaluación de un sistema de vermicultura utilizando larvas de *Hermetia illucens* y *tenebrio molitor* para el aprovechamiento de los residuos sólidos ganaderos en la plaza de mercado la rosita. Universidad Pontificia Bolivariana. [Trabajo de grado]. Universidad Pontificia Bolivariana. https://repository.upb.edu.co/bitstream/handle/20.500.11912/5180/digital_36266.pdf?sequence
- Guo, H. Jiang, C. Zhang, Z. Lu, W. Wang, H. (2021). Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Science of The Total Environment*. 750 (141656). <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0048969720351858>
- Halloran, A. Hanboonsong, Y. Roos, N. Bruun, S. (2017). Life cycle assessment of cricket farming in north-eastern Thailand. *Journal of Cleaner Production*. 156, pp 83-94. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85019081563&doi=10.1016%2fj.jclepro.2017.04.017&partnerID=40&md5=8e358ca49ca645854ad09c20ff404605>
- Harden, L. Tomberlin, J. (2016). Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development. *Forensic Science International*. 266, pp 109-116. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073816302092#>
- Isibika, A. Vinnerås, B. Kibazohi, O. Zurbrügg, C. Lalander, C. (2019). Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Waste Management*. 100, pp. 151-160. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85072252720&doi=10.1016%2fj.wasman.2019.09.017&partnerID=40&md5=881823adf2403d4405f5b84915f15e45>
- Isibika, A. Vinnerås, B. Kibazohi, O. Zurbrügg, C. Lalander, C. (2021). Co-composting of banana peel and orange peel waste with fish waste to improve conversion by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae. [Trabajo de grado]. *Fundación Universidad de América*. <https://www-sciencedirect-com.ezproxy.uamerica.edu.co/science/article/pii/S0959652621027773>

- Lalander, C. Komakech, A. Vinnerås, B. (2015). Vermicomposting as manure management strategy for urban small-holder animal farms - Kampala case study. *Waste Management*. 39, pp. 96-103. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84928070445&doi=10.1016%2fj.wasman.2015.02.009&partnerID=40&md5=9dc7982877f573c5844e2bc93b6d8f85>
- Larde, G. (1990). Recycling of coffee pulp by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Biological Wastes*. 33 (4), pp. 307-310. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/026974839090134E>
- Li, Q. Zheng, L. Qiu, N. Cai, H. Tomberlin, J. Yu, Z. (2011). Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. *Waste Management*. 31 (6), pp. 1316-1320. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79954767113&doi=10.1016%2fj.wasman.2011.01.005&partnerID=40&md5=d57e45d16084f5421e3322b8f215da91>
- Linares, C. Aranguren, J. Moncada, J. (2006). Evaluación de la dimensión educativa ambiental de dos programas de recolección y clasificación de residuos sólidos en la urbanización Nueva Casarapa, Guarenas, estado Miranda. *Revista Universitaria de Investigación*. 8 (1), pp. 83-97. <https://www.redalyc.org/pdf/410/41080106.pdf>
- López, S. Castellanos, S. Magdalena, M. Del Rey, R. Hernández, J. (2009). La bibliometría: una herramienta eficaz para evaluar la actividad científica postgraduada. *Medisur*. 7 (4), pp. 59-62. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-897X2009000400011
- Mazza, L. Xiao, X. Rehman, K. Cai, M. Zhang, D. Fasulo, S. Tomberlin, J. Zheng, L. Soomro, A. Yu, Z. Zhang, J. (2020). Management of chicken manure using black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae assisted by companion bacteria. *Waste Management*. 102, pp. 312-318. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85074748895&doi=10.1016%2fj.wasman.2019.10.055&partnerID=40&md5=b9f9aebc0d5fbf0d07291680799b15c0>

- Menino, R. Felizes, F. Castelo-Blanco, M. Fareleira, P. Moreira, O. Nunes, R. Murta, D. (2021). Agricultural value of Black Soldier Fly larvae frass as organic fertilizer on ryegrass. *Heliyon*. 7 (1). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2405844020326979>
- Milagros, J. (2019). Evaluación de cuatro sustratos orgánicos para la producción de larvas de *Hermetia Illucens* (Dípterastratiomyidae) en condiciones controladas de la irrigación Majes – Pedregal, Caylloma Arequipa. [Trabajo de grado]. *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. <http://repositorio.unsa.edu.pe/bitstream/handle/UNSA/10141/AGsaaljm.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Miranda, C. Cammack, J. Tomberlin, J. (2019). Life-history traits of the black soldier fly, *hermetia illucens* (L.) (diptera: Stratiomyidae), reared on three manure types. *Animals*. 9 (5), pp. 281. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85068523360&doi=10.3390%2fani9050281&partnerID=40&md5=08140dbe3addcd473c5ae865b11d3771>
- Miranda, C. Cammack, J. Tomberlin, J. (2020). Mass production of the black soldier fly, *hermetia illucens* (L.), (diptera: Stratiomyidae) reared on three manure types. *Animals*. 10 (7), pp. 1-11. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85088268280&doi=10.3390%2fani10071243&partnerID=40&md5=8154258ed22bda79f11f287287ff65c7>
- Natividad, J. (2019). Diseño de una planta piloto agroindustrial para la producción de aceite esencial de eucalipto (*eucalyptus globulus*), no convencional, bajo la filosofía “zero waste”. [Trabajo de grado]. *Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión*. <https://www.coursehero.com/file/109824851/JOS%C3%89-LUIS-NATIVIDAD-MERCEDESpdf/>
- Noguera, K. Olivero, J. (2010). Los rellenos sanitarios en latinoamérica: caso colombiano. *Revista de la academia colombiana de ciencias exactas, físicas y naturales. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales*. 34 (132), pp. 347-356. <https://repositorio.accefyn.org.co/jspui/bitstream/001/622/1/182-189-PB.pdf#page=73>

- Parodi, A. Gerrits, W. Van Loon, J. De Boer I. Aarnink, A. Van Zanten, H. (2021). Black soldier fly reared on pig manure: Bioconversion efficiencies, nutrients in the residual material, greenhouse gas and ammonia emissions. *Waste Management*. 126, pp. 674-683. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85104286638&doi=10.1016%2fj.wasman.2021.04.001&partnerID=40&md5=3aab6782d48c81204d6cec5a8dea1f10>
- Penagos, J. Buzón, J. Vergara, D. Molina, E. (2011). Reducción de los Residuos Sólidos Orgánicos en Colombia por medio del Compostaje Líquido. *Universidad Libre Barranquilla*. 6 (11), pp. 37-44. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6579711>
- Permana, A. Esther, J. Putra, R. (2018). Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Fed on Spent Coffee Ground. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 187 (012070), pp. 1-8. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/187/1/012070/pdf>
- Popa, R. Green, T. (2012). Using Black Soldier Fly Larvae for Processing Organic Leachates. *Journal of Economic Entomology*. 105 (2), pp. 374-378. <https://academic.oup.com/jee/article/105/2/374/893383?login=false>
- Reategui, J. Barriga, X. Obando. Moscoso, A. Manrique, P. Salazar, I. (2020). Harina de larva de *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) como ingrediente proteico de reemplazo parcial de harina de soja en la alimentación de *Cavia porcellus* (Cuy): efecto en el consumo, ganancia de peso y conversión alimenticia. *Scientia Agropecuaria*. 11 (4), pp.513-519. http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2077-99172020000400513
- Rehman, K. Rehman, R. Somroo, A. Cai, M. Zheng, L. Xiao, X. Rehman, A. Tomberlin, J. Yu, Z. Zhang, J. (2019). Enhanced bioconversion of dairy and chicken manure by the interaction of exogenous bacteria and black soldier fly larvae. *Journal of Environmental Management*. 237, pp. 75-83. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719301999>
- Rehman, K. Rehman, A. Cai, M. Zheng, L. Xiao, X. Somroo, A. Wang, H. Li, W. Yu, Z. Zhang, J. (2017). Conversion of mixtures of dairy manure and soybean curd residue

- by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.). *Journal of Cleaner Production*. 154, pp. 366-373. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85018574175&doi=10.1016%2fj.jclepro.2017.04.019&partnerID=40&md5=6a49760e35a28b5d752afda9fcae8db3>
- Röben, E. (2002). Manual de Compostaje Para Municipios. *DED Ecuador*. <http://www.bionica.info/Biblioteca/Roben2002MaualCompostaje.pdf>
- Roháček, J. Hora, M. (2013). A northernmost European record of the alien black soldier fly *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758) (Diptera: Stratiomyidae). *Horovamhm*. 62, pp. 101-106. <https://sciendo.com/pdf/10.2478/cszma-2013-0011>
- Salomone, R. Saija, G. Mondello, G. Giannetto, A. Fasulo, S. Savastano, D. (2017). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*. 140, pp. 890-905. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84978483943&doi=10.1016%2fj.jclepro.2016.06.154&partnerID=40&md5=82d0409b173ced7363b1864bbdec5685>
- Sanchez N. Vargas, J. (2014). Guía práctica para el manejo de los residuos orgánicos utilizando composteras rotatorias y lombricompost. *Universidad Nacional de Costa Rica*. [https://www.documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20son%20los%20residuos%20org%C3%A1nicos,materia%20org%C3%A1nica%20\(Mantra%202014\).](https://www.documentos.una.ac.cr/bitstream/handle/unadocs/3818/Manual%20Composteras.pdf?sequence=1&isAllowed=y#:~:text=%C2%BFQu%C3%A9%20son%20los%20residuos%20org%C3%A1nicos,materia%20org%C3%A1nica%20(Mantra%202014).)
- Singh, A. Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. *Journal of Environmental Management*. *Journal of Environmental Management*. 251 (109569). <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873>
- Smetana, S. Palanisamy, M. Mathys, A. Heinz, V. (2016). Sustainability of insect use for feed and food: Life Cycle Assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*. 137, pp. 741-751. <https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-84989870124&doi=10.1016%2fj.jclepro.2016.07.148&origin=inward&txGid=e981>

ba2828fdce135f0e5e6d271e39ca&featureToggles=FEATURE_NEW_DOC_DETAILS_EXPORT:1

- Surendra, K. Tomberlin, J. Van Huis, A. Carmmack, J. Hackmann, H. Khanal, K. (2020). Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF). *Waste Management*. 117, pp. 58-80. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956053X20304281>
- Tomberlin, J. Adler, P. Myers, H. (2009). Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature. *Environmental Entomology*. 38 (3), pp. 930-934. <https://academic.oup.com/ee/article/38/3/930/552525?login=false>
- Truzzi, C. Giorgini, E. Annibaldi, A. Antonucci, M. Scarponi, G. Riolo, P. (2020). Fatty acids profile of black soldier fly (*Hermetia illucens*): Influence of feeding substrate based on coffee-waste silverskin enriched with microalgae. *Animal Feed Science and Technology*. 259. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0377840119313598>
- Unidad Administrativa especial de Servicios Públicos UAESP. (2014). guía técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura. https://www.uaesp.gov.co/images/Guia-UAESP_SR.pdf
- Unidad Administrativa especial de Servicios Públicos UAESP. (2021). Glosario. Lixiviados. <https://www.uaesp.gov.co/transparencia/informacion-interes/glosario/lixiviado>
- Van Huis, A. Oonincx. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed, A review. *Cross Mark. Agronomy for Sustainable Development*. 37 (43). <https://link.springer.com/article/10.1007/s13593-017-0452-8>
- Wang, X. Wu, N. Cai, R. Geng, W. Xiao Yan. (2021). Changes in speciation, mobility and bioavailability of Cd, Cr and As during the transformation process of pig manure by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Journal of Integrative Agriculture*. 20 (5), pp. 1157-1166. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311920633330>
- Zhang, J. LI, J. Tomerlin, J. Xiao, X. Rehman, K. Cai, M. Zheng, L. Yu, Z. (2021). Black soldier fly: A new vista for livestock and poultry manure management. *Journal of*

Integrative Agriculture. 20 (5), pp. 1167-1179.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095311920634232>