



**UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE MARIA AUXILIADORA
CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA**

**BIOCONVERSIÓN DE DESECHOS
VEGETALES DE MERCADOS
PERTENECIENTES A LA RED MUNICIPAL
DE GUAYAQUIL MEDIANTE LA SINERGIA
DE LA MOSCA SOLDADO-NEGRA
(*HERMETIA ILLUCENS*) Y LA LOMBRIZ
CALIFORNIANA (*EISENIA FOETIDA*)**

Trabajo de titulación previo a la obtención del
Título de Ingeniería en Biotecnología

AUTORES: GABRIELA ALEXANDRA PANCHANA MATUTE

ODALYS JAMILETH RAMÍREZ VELASCO

TUTOR: JOHANNA ALEXANDRA SOLORZANO MUÑOZ

Guayaquil-Ecuador

2023

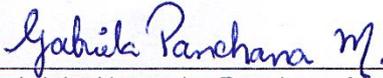
**CERTIFICADO DE RESPONSABILIDAD Y AUTORÍA DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN**

Nosotros, Gabriela Alexandra Panchana Matute con documento de identificación N° 0953635208 y Odalys Jamileth Ramírez Velasco con documento de identificación N° 0803388131; manifestamos que:

Somos los autores y responsables del presente trabajo; y, autorizamos a que sin fines de lucro la Universidad Politécnica Salesiana pueda usar, difundir, reproducir o publicar de manera total o parcial el presente trabajo de titulación.

Guayaquil, 24 de agosto del año 2023

Atentamente,



Gabriela Alexandra Panchana Matute
0953635208



Odalys Jamileth Ramírez Velasco
0803388131

**CERTIFICADO DE CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE
TITULACIÓN A LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA**

Nosotros, Gabriela Alexandra Panchana Matute con documento de identificación No. 0953635208 y Odalys Jamileth Ramírez Velasco con documento de identificación No.0803388131, expresamos nuestra voluntad y por medio del presente documento cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo experimental: “Bioconversión de desechos vegetales de mercados pertenecientes a la red municipal de Guayaquil mediante la sinergia de la Mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*) y la Lombriz californiana (*Eisenia foetida*)”, el cual ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniero/a Biotecnólogo/a, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En concordancia con lo manifestado, suscribimos este documento en el momento que hacemos la entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 24 de agosto del año 2023

Atentamente,



Gabriela Alexandra Panchana Matute
0953635208



Odalys Jamileth Ramírez Velasco
0803388131

CERTIFICADO DE DIRECCIÓN DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Yo, Johanna Alexandra Solórzano Muñoz con documento de identificación N° 0917391534, docente de la Universidad Politécnica Salesiana, declaro que bajo mi tutoría fue desarrollado el trabajo de titulación: BIOCONVERSIÓN DE DESECHOS VEGETALES DE MERCADOS PERTENECIENTES A LA RED MUNICIPAL DE GUAYAQUIL MEDIANTE LA SINERGIA DE LA MOSCA SOLDADO-NEGRA (*HERMETIA ILLUCENS*) Y LA LOMBRIZ CALIFORNIANA (*EISENIA FOETIDA*), realizado por Gabriela Alexandra Panchana Matute con documento de identificación N° 0953635208 y por Odalys Jamileth Ramírez Velasco con documento de identificación N° 0803388131, obteniendo como resultado final el trabajo de titulación bajo la opción Trabajos experimentales que cumple con todos los requisitos determinados por la Universidad Politécnica Salesiana.

Guayaquil, 24 de agosto del año 2023

Atentamente,



Bfga. Johanna Alexandra Solórzano Muñoz

CI: 0917391534

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a Dios, cuya presencia ha sido mi guía constante en cada paso de esta travesía. A mi amado padre, quien me brindó la vida y, a pesar de su partida, su espíritu sigue iluminando mi camino desde el cielo.

A mi querida madre, quién es mi pilar fundamental y apoyo incondicional en todos los aspectos de mi vida. Su dedicación y confianza me han impulsado a superar cada reto que he encontrado.

A mi familia en su totalidad, su constante impulso y respaldo han sido mi fuerza inspiradora a lo largo de este camino académico. No puedo dejar de mencionar a mi abuela, tíos, tías y primos, madrina, cuyo amor y seguridad en mí han sido combustible para mis ambiciones. Cada conversación y gesto de aliento ha sido un recordatorio constante de que no estoy solo en este viaje.

También quiero dedicar un espacio especial a mi novio, cuyo amor, paciencia y consuelo ha hecho que los desafíos parezcan más manejables y las metas más alcanzables. Tu amor me ha dado la fuerza para seguir adelante incluso cuando todo parecía abrumador.

Y, por último, e importante a mi círculo de amigos que con su amistad y compañía a lo largo de estos años de estudio. Sus palabras de ánimo, sus sentidos del humor y esa ayuda constante han hecho más llevadera este trayecto académico.

Odalys Ramirez Velasco

Quiero dedicar este proyecto a Dios quien es mi apoyo, refugio y consuelo espiritual, dándome la determinación para finalizar este desafío académico. Además, por poner a las personas correctas en mi camino para llevar a cabo este proyecto. A la Virgen María que con su bendito manto me ha protegido durante todo mi trayecto estudiantil.

En memoria de mi abuelita Fanny Matute Cordero, que desde el cielo sigue intercediendo por toda su familia. Por su convicción al ser capaz de cumplir mis metas. Su sabiduría, paciencia y cariño han sido una guía elemental para superar los desafíos del proceso universitario.

A mi querida mamá por su sacrificio, apoyo moral y económico durante todo el proceso universitario, al no dejarme decaer en este caminar. Por su confianza depositada en mí al iniciar la carrera universitaria, alentándome a ser mejor cada día.

A mi hermanito que con su cariño hace que todo sacrificio valga la pena, inspirándome a continuar en mi formación profesional, permitiéndome ser su guía en su formación personal.

De igual manera, a toda mi familia, por brindarme su amor incondicional, estando presentes en cada logro de mi vida. En especial, a mi abuelito por su apoyo económico para lograr culminar este proceso académico.

Finalmente, a mis amigos más cercanos que han demostrado su lealtad sincera y apoyo mutuo, Por compartir sus conocimientos, impulsándome a continuar en mis metas, gracias a ellos descubrí el gran valor de empatía.

Gabriela Panchana Matute

AGRADECIMIENTO

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a la tutora de tesis, la Blga. Johanna Solorzano, por su orientación experta y su apoyo constante a lo largo de todo el proceso de investigación. A el Ing. Jaime Naranjo que con sus consejos, conocimientos y contribución ha sido fundamental para el inicio de un desarrollo arduo de esta tesis.

También agradecer al Ing Jairo Jaime, el cual nos ha brindado valiosas sugerencias y guías. Sus comentarios y críticas constructivas fueron de gran ayuda para mejorar la calidad del proyecto propuesto. De igual manera, agradecer al Ing. Jeffrey Vargas y Blgo. Galo Gutiérrez por brindarnos su apoyo, conocimientos y recursos para la realización de análisis experimentales.

Asimismo, expresar nuestro reconocimiento a la Universidad Politécnica por proporcionarme los recursos necesarios y crear un ambiente propicio para llevar a cabo esta investigación.

A las ayudantes de laboratorio la Ing. Anngie Auz y Carla Zamora que de alguna manera contribuyeron en la realización de esto, a ellas quiero expresarles mi más profunda gratitud. Su apoyo fue fundamental y estoy eternamente agradecida.

A los comerciantes de hortalizas y legumbres provenientes de los tres mercados municipales de la ciudad de Guayaquil por facilitar por facilitarnos la basura empleadas en el montaje del experimento.

No está de más agradecer al Ing. Ángel Matute y al Sr. Johnny Panchana por el apoyo a la hora de transportar los desechos.

Este logro es el resultado del amor, sacrificio y confianza que cada uno de ustedes ha depositado en mí. Que este proyecto sea un reflejo de mi agradecimiento y un tributo a la fuerza colectiva que me impulsa a alcanzar mis metas.

Odalys Ramirez Velasco y Gabriela Panchana Matute

RESUMEN

La bioconversión de desechos orgánicos es un proceso cada vez más relevante en la actualidad debido a la necesidad de encontrar formas más sostenibles a la vez respetuosas con el medio ambiente para tratar los residuos que contaminan el suelo y aire. Una de las técnicas para evitar esta polución es novedosa como prometedoras, puesto que, la degradación de la basura se efectúa por la combinación del estadio larval de la mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*) BSF y la lombriz californiana (*Eisenia foetida*). En este estudio realizado con desperdicios de origen vegetal producidos en tres mercados de la ciudad de Guayaquil en Ecuador se evaluó la sinergia de estas dos especies en la bioconversión de los residuos. Se obtuvo un peso promedio para las larvas de la mosca BSF y lombrices californianas de 25 y 10 g respectivamente. El pH final del sustrato estudiado fue alcalino y la humedad alta. Los valores obtenidos fueron: para la tasa de bioconversión de este 23,11 %, para la supervivencia 100 % y la multiplicación 131,25 %, en diferentes estudios donde evalúan a cada organismo por separado arrojaron valores mayores. La interacción entre estos organismos fue eficaz para la degradación biológica de desperdicios en abonos orgánicos de alta calidad, alcanzando a reducir el sustrato hasta un 95,08 %. Incluso, el contenido proteico entre ambas especies fue del 51,46 %. Por ello, como antes ya se nombró resulta ser una alternativa prometedoras y sostenible debido al alto contenido de proteínas de estos organismos, lo que puede resultar en aplicaciones ya sea, en contextos industriales, urbanos y rurales, ofreciendo una solución eco amigable a la gestión de residuos sólidos de origen orgánico en diferentes entornos.

Palabras claves: *Abono Orgánico; Degradación; Proteínas; Organismos descomponedores.*

ABSTRACT

Bioconversion of organic waste is an increasingly relevant process nowadays due to the need to find more sustainable and environmentally friendly ways to treat waste that pollutes the soil and air. One of the techniques to avoid this pollution is novel and promising, since the degradation of waste is carried out by the combination of the larval stage of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) BSF and the Californian earthworm (*Eisenia foetida*). In this study carried out with vegetable waste produced in three markets in the city of Guayaquil in Ecuador, the synergy of these two species in the bioconversion of the waste was evaluated. The average weight of BSF fly larvae and Californian earthworms was 25 and 10 g, respectively. The final pH of the substrate studied was alkaline and the humidity was high. The values obtained were for the bioconversion rate of this 23.11 %, for survival 100 % and multiplication 131.25 %, in different studies where each organism is evaluated separately, higher values were obtained. The interaction between these organisms was effective for the biological degradation of wastes in high quality organic fertilizers, reducing the substrate up to 95.08 %. Even, the protein content between both species was 51.46 %. Therefore, as mentioned above, it is a promising and sustainable alternative due to the high protein content of these organisms, which can result in applications in industrial, urban and rural contexts, offering an eco-friendly solution to the management of solid waste of organic origin in different environments.

Key words: *Organic fertilizer; Degradation; Decomposer organisms; Proteins.*

ÍNDICE DE CONTENIDO

Índice De Tablas	12
Índice De Ecuaciones.....	12
Índice De Figuras	12
Anexos.....	12
Capítulo 1.....	1
Antecedentes	1
1.1 Introducción.....	1
1.2 Justificación	2
1.3 Problema.....	3
1.4 Delimitación	4
1.4.1 Delimitación espacial de los mercados	4
1.4.2 Delimitación espacial del proyecto de experimentación.....	4
1.4.3 Delimitación temporal	4
1.4.4 Delimitación sectorial	4
1.4.5 Delimitación institucional	5
1.5 Pregunta de investigación	5
1.6 Objetivos	5
1.6.1 Objetivo general.....	5
1.6.2 Objetivos específicos	5
1.7 Hipótesis	6
1.7.1 Hipótesis de investigación.....	6
Capítulo 2.....	7
Marco teórico.....	7
2. Fundamentación teórica	7
2.1. Bioconversión de desechos sólidos	7
2.2. Mosca soldado-negra (<i>Hermetia illucens</i>).....	7
2.2.1 Generalidades.....	7
2.2.2 Taxonomía.....	8
2.2.3 Ciclo de vida y características.....	8
2.2.4 Factores de crecimiento de la BSF	11
2.2.5 Usos y aplicaciones de la BSF.....	11
2.2.5.1 Producción de alimento animal	11
2.2.5.2 Producción de biodiesel.....	13
2.2.5.3 Producción de fertilizantes.....	13
2.3. Lombriz californiana (<i>Eisenia foetida</i>).....	14
2.3.1 Generalidades.....	14
2.3.2 Taxonomía.....	14
2.3.3 Ciclo de vida y características.....	15
2.3.4 Condiciones de crecimiento para <i>E. foetida</i>	17
2.3.5 Usos y aplicaciones de la <i>E. foetida</i>	19
2.3.5.1 Producción de humus	19
2.3.5.2 Producción de harina como alimento de animales.....	20
2.3.5.3 Cosmetología.....	20

2.3.5.4	Fabricación de antibióticos	20
2.4.	Sinergia entre la mosca soldado-negra y la lombriz californiana	21
2.5.	Caracterización de los residuos vegetales	22
2.6.	Cuantificación de proteínas	22
2.6.1	Fundamento del método de Bradford	22
2.6.2	Espectrofotometría UV-VIS	22
Capítulo 3.....	24	
Materiales y métodos.....	24	
3.1	TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	24
3.2	VARIABLES	24
3.2.1	Variable dependiente	24
3.2.2	Variable independiente	24
3.2.3	Variable interviniente.....	24
3.2.4	Variables extrañas	24
3.3	MÉTODOS Y HERRAMIENTAS PARA RECOLECCIÓN DE DATOS	25
3.4	OBTENCIÓN DE ORGANISMOS DESCOMPONEDORES	25
3.5	RECOLECCIÓN DE DESECHOS VEGETALES.....	25
3.6	BIOMASA Y MANTENIMIENTO.....	25
3.7	PARÁMETROS DE LA EFICIENCIA EN LA BIOCONVERSIÓN Y SINERGIA	26
3.8	MEDICIÓN DE TAMAÑO DE LARVAS BSL Y LOMBRICES CALIFORNIANAS.....	28
3.9	PROCEDIMIENTOS.....	28
3.9.1	Bioconversión	28
3.9.1.1	Elaboración de la caja.....	28
3.9.2	Pretratamiento al sustrato.....	29
3.9.2.1	Solarización.....	29
3.9.2.2	Trituración.....	29
3.9.2.3	Análisis fisicoquímico	29
3.9.3	Sinergia	30
3.9.4	Determinación de proteínas por el método Bradford	30
3.9.4.1	Obtención de material biológico.....	30
3.9.4.2	Extracción	30
3.9.4.3	Diluciones	31
3.9.4.4	Cuantificación.....	31
3.10	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	31
3.11	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	33
Capítulo 4.....	34	
Resultados y discusión.....	34	
4.1	Medición de tamaño y peso de organismos HI y EF.....	34
4.1.1	Comparación de tamaño entre tratamientos	34
4.1.2	Comparación del peso entre HI y EF.....	35
4.2	PRETRATAMIENTO DEL SUSTRATO.....	38
4.2.1	Análisis fisicoquímico	38
4.3	PARÁMETROS DE EFICIENCIA EN LA BIOCONVERSIÓN Y SINERGIA.....	41
4.4	PORCENTAJE DE PROTEÍNAS.....	42
Capítulo 5.....	46	
Conclusiones y recomendaciones.....	46	
5.1	CONCLUSIONES	46
5.2	RECOMENDACIONES	46

Bibliografía48

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Información de la ubicación de los tres mercados de la ciudad de Guayaquil	4
Tabla 2. Clasificación taxonómica de la mosca soldado-negra.....	8
Tabla 3. Clasificación taxonómica de la lombriz californiana	15
Tabla 4. Distribución con relación al tiempo en mantenimiento y adición de sustrato.....	26
Tabla 5. Descripción del Buffer RIPA para 10 ml.....	31
Tabla 6. Organismos descomponedores y desechos vegetales como factores para la interacción.	32
Tabla 7. Interacciones posibles del experimento.	32
Tabla 8. Descripción con respecto a la humedad contenida en los sustratos	40
Tabla 9. Parámetros para evaluar la eficiencia en la sinergia por cada tratamiento	41
Tabla 10. Rendimiento de proteínas.....	43

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1. Determinación sustrato reducido total.....	27
Ecuación 2. Tasa de bioconversión de residuos	27
Ecuación 3. Porcentaje de multiplicación para <i>E. foetida</i>	27
Ecuación 4. Tasa de supervivencia para <i>H. illucens</i>	27

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida <i>Hermetia illucens</i>	9
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Eisenia foetida</i>	16
Figura 3. Medición del peso para larvas y lombrices.....	26
Figura 4. Organizadores plásticos empleados en la experimentación.....	28
Figura 5. Solarización de la mezcla de residuos vegetales provenientes de los tres mercados.....	29
Figura 6. Peso de larvas BSF para promediar la cantidad contenida en cada peso	30
Figura 7. Longitud mayor alcanzada en larvas BSF.....	34
Figura 8. Longitud promedio de EF.....	35
Figura 9. Variación del peso de larvas (HI) con relación al tiempo	36
Figura 10. Variación del peso de lombrices (EF) durante el proceso de bioconversión	37
Figura 11. Variación de pH en los sustratos de los tratamientos.....	39
Figura 12. Tasa de bioconversión total por cada tratamiento	41
Figura 13. Porcentaje de proteínas en lombrices y larvas.....	45

ANEXOS

Anexo 1. Caracterización de diferentes residuos vegetales.....	54
Anexo 2. Comparación de tamaño de larvas BSL.....	57
Anexo 3. Medición de longitud de EF por tratamiento.....	57
Anexo 4. Muestra de algunos cocones encontrados en los tratamientos.....	59
Anexo 5. Tasa de bioconversión por tratamiento.....	59
Anexo 6. Comparaciones en parejas de Tuckey de larvas.....	60
Anexo 7. Comparaciones en parejas de Tuckey de lombrices.....	60
Anexo 8. T student para muestras independientes de proteínas.....	61
Anexo 9. Larva de mosca soldado-negra y disección con vista microscópica	62
Anexo 10. Mosca soldado-negra eclosionada.....	62

Anexo 11. Lombriz californiana	63
Anexo 12. Recolección de basura y pretratamiento de solarización	63
Anexo 13. Sustrato húmedo y seco de tratamientos aleatorios	64
Anexo 14. Preparación y corrección de pH del buffer RIPA.....	64
Anexo 15. Sustrato húmedo y seco de tratamientos aleatorios	64
Anexo 16. Pesaje de larvas y lombrices durante el período de 27 días.....	65
Anexo 17. Curva de calibración de Bradford para proteínas.....	67

Capítulo 1

Antecedentes

1.1 Introducción

Los residuos orgánicos son una fuente de contaminación ambiental que representan un gran desafío por resolver en zonas muy pobladas, que se vuelve más complicado con el paso del tiempo, sobre todo, en las áreas urbanas. Los desechos están conformados en su mayoría por materia orgánica, como: restos de comida, frutas, legumbres, entre otros (Jaramillo Henao, 2008). En la red de mercados municipales estos desperdicios se encuentran en mayor cantidad, estas ferias de alimentos, por lo general, no cuentan con un sistema adecuado de gestión de residuos, lo que causa un impacto negativo en la calidad de vida de las personas que viven en las cercanías y a los mismos trabajadores (Luna Panimboza, 2020).

A pesar de los esfuerzos por tener una recolección sectorizada en 24 subzonas con 174 micro rutas de recolectores, aún se dejan sin recoger cada día unas 700 toneladas de desechos que se acumulan a la vista de todos (Willington Paredes Ramirez, 2015). Esto sucede día tras día, semana tras semana y hasta por meses, lo que demuestra una ineficacia en el servicio de recolección de basura. Solo el 30 % de los residuos reciben un tratamiento adecuado, mientras que el 70 % termina en los cuerpos de agua aledaños, terrenos baldíos y basureros clandestinos (Escudero Andino, 2019). Según la Asociación de Municipalidades del Ecuador, solo el 2 % de las municipalidades a nivel nacional maneja de forma adecuada la basura generada por la población (Escudero Andino, 2019).

No obstante, existen nuevas técnicas agronómicas en la actualidad para el tratamiento de esos residuos, otorgándoles otra utilidad a nivel agrícola, ganadero, alimenticio y automotriz (Purkayastha & Sarkar, 2021). De esta manera, se pretende reducir los impactos negativos en el medio ambiente, mejorar la salud pública y fomentar una economía circular, en la que los desperdicios se convierten en recursos valiosos para nuevos procesos productivos.

Un ejemplo de estas nuevas técnicas se encuentra en la bioconversión por medio de la mosca soldado-negra *Hermetia illucens*, el vermicompostaje con la lombriz californiana *Eisenia foetida* (Cabrera & López, 2021; P. Garg et al., 2006; Siddiqui et al., 2022). Dada la capacidad biodescomponedora de estos organismos que es posible gracias a las enzimas degradadoras, digestión de patógenos, proliferación de microorganismos

benéficos que poseen dentro de sus microbiotas es un proceso que no causa contaminación (Galassi et al., 2021; Swati & Hait, 2018).

Sin embargo, los estudios revisados emplean estos organismos por separado. En este contexto, la aplicación del insecto *Hermetia illucens* en su estadio larval y del anélido *Eisenia foetida*, se presenta como una opción viable para la conversión de los residuos en abono orgánico (Yadav & Garg, 2013; Yuan & Hasan, 2022) por lo tanto, hacerlo con estos saprófitos representa una opción viable para desarrollar un trabajo investigativo.

Sin embargo, los estudios revisados emplean estos organismos por separado. En este contexto, la aplicación del insecto *Hermetia illucens* en su estadio larval y del anélido *Eisenia foetida*, se presenta como una opción viable para la conversión de los residuos en abono orgánico (Yadav & Garg, 2013; Yuan & Hasan, 2022) por lo tanto, hacerlo con estos saprófitos representa una opción viable para desarrollar un trabajo investigativo. Por tal motivo, se llevó a cabo este estudio con el propósito principal de mostrar cómo la sinergia entre *Hermetia illucens* y *Eisenia foetida* puede ser efectiva en la bioconversión de residuos orgánicos de origen vegetal recolectados en tres mercados de Guayaquil, lo que no solo sirve de ayuda para mejorar la gestión de estos desechos, sino que también, contribuye a mantener un ambiente más limpio. Debido a la importancia e impacto que tiene tanto en el medio ambiente como en la sociedad el manejo eco amigable de estos residuos.

1.2 Justificación

El presente trabajo propone una solución alternativa y sustentable para el manejo de las 4.000 toneladas de basura diaria compuesta de residuos orgánicos producidas en los mercados de Guayaquil. El impacto al ambiente es alto como consecuencia del crecimiento descontrolado, desordenado, asociado al ecosistema de la ciudad. Por lo que es imperativo en la población urbana un control ordenado, con una mínima contaminación del suelo, agua y demás biotopo asociado a las urbes costeras. Si dicho material de desecho se trata de manera inadecuada, como el colocarla en áreas deforestadas, con la consecuente pérdida de la biodiversidad, para la construcción de botaderos a cielo abierto o se sitúa como relleno en zonas aledañas, esta materia en descomposición puede llegar a producir efectos nocivos a la naturaleza, puesto que, se convertiría en foco de polución por las emanaciones de gases de efecto invernadero, vertedero de lixiviados que llegarían

a capas freáticas entre los principales tipos de contaminación que pueden llegar a producir (Salas Sucaticona et al., 2021).

El llevar a cabo un procesamiento de estos desechos sólidos puede ser una oportunidad para obtener beneficios económicos y sociales. Es decir, se obtendrían subproductos útiles, como abonos orgánicos y proteínas para la alimentación animal, aplicando la economía circular en la que los residuos se convierten en recursos, evitando la utilización de fertilizantes químicos, también la elaboración de piensos para animales que son producidos de manera convencional (Cabrera Gutiérrez, 2021).

Por otro lado, este tema de estudio puede servir como modelo replicable para otros mercados y ciudades en Ecuador. Esta labor empezaría con la concientización de las empresas municipales encargadas del aseo, que serían las encargadas de fomentar prácticas más sostenibles de gestión de residuos, luego, a gran escala se disminuiría la presencia de microorganismos patógenos, que en consecuencia evitaría un riesgo mayor a la salud pública con la aparición de enfermedades infecciosas, como sucede en la actualidad por la proliferación de basura (Solíz et al., 2020).

La implementación de la sinergia de estos organismos biodescomponedores *Hermetia illucens* y *Eisenia foetida* favorecerá tanto a los vendedores, como a los comerciantes de los mercados de Guayaquil. Porque haría posible el manejo eficiente de los residuos orgánicos que producen en sus actividades diarias, con la consecuente reducción de los costos asociados a la disposición de los desperdicios, a la vez que mejoraría las condiciones sanitarias, de higiene, hasta la presentación de los locales dentro de los mercados. Podría también, brindar beneficios a las personas encargadas de la gestión de desechos, debido a que, les permitiría reducir la cantidad de desechos orgánicos sólidos que en la actualidad son transportados y dispuestos en vertederos o rellenos sanitarios así, la presión sobre los mismos disminuiría, extendiendo su vida útil, Además, reduciría la emanación de gases de efecto invernadero junto a los lixiviados que contaminan el ambiente.

1.3 Problema de investigación

Los desechos sólidos generados a nivel de mercados municipales de la ciudad de Guayaquil son enviados al relleno sanitario “Las Iguanas”, sitio donde se dispone la mayor cantidad de residuos sin pasar por un pretratamiento para su aprovechamiento.

Actualmente, la empresa encargada de recolectar estos desperdicios. Desconoce del provecho que se puede obtener a partir del manejo de esta materia en descomposición. La basura se recoge pasando un día, acumulando lixiviados que traen consigo malos olores y producen gases de efecto invernadero en el lugar donde se encuentran almacenados, todo esto originado por la alta temperatura de la urbe.

1.4 Delimitación

1.4.1 Delimitación espacial de los mercados

La investigación propuesta se encontrará dentro de tres mercados: Mercado Mayorista de Mariscos La Caraguay, Mercado Municipal Acisclo Garay y Mercado de Sauces 9 en la Ciudad de Guayaquil de la provincia del Guayas, donde se recolectó la producción semanal de los desechos orgánicos.

Tabla 1. Información de la ubicación de los tres mercados de la ciudad de Guayaquil

Mercados	Sector	Coordenadas	Latitud
La Caraguay	Sur	-79,88709° O	-2,22562° S
Acisclo Garay	Sur	-79.90566° O	-2.19789° S
Sauces 9	Norte	-79,89253° O	-2.12906° S

1.4.2 Delimitación espacial del proyecto de experimentación

La fase experimental de los tratamientos se llevará a cabo en la Universidad Politécnica Salesiana, sede Guayaquil, campus María Auxiliadora, km 19,5 vía a La Costa, en el laboratorio de Entomología perteneciente a la Carrera de Biotecnología. Mientras, que parte de cuantificación de proteínas se gestionaron en el Centro de Investigaciones Biotecnológicas (CIBE), Escuela Superior Politécnica del Litoral, campus Gustavo Galindo, en el área de Biología Molecular.

1.4.3 Delimitación temporal

Los desechos orgánicos se recolectaron en los tres mercados mencionados durante 12 días, en el periodo del 22 de junio al 5 de julio del 2023.

1.4.4 Delimitación sectorial

La investigación se enfocará en el sector de la comercialización de verduras

y frutas. En este contexto, se busca cumplir con el Objetivo 11: Ciudades y comunidades sostenibles, meta (11.6); Objetivo 12. Producción y consumo responsables, meta (12.5); Objetivo 13. Acción por el clima, meta (13.3) que están contemplados en los Objetivos de Desarrollo Sostenible propuestos por la Agenda 2030 de las Naciones Unidas (Naciones Unidas, 2015).

1.4.5 Delimitación institucional

La delimitación institucional incluye el conocimiento de la “Muy Ilustre Municipalidad de Guayaquil” junto con la Dirección Municipal de Mercados. El proyecto de investigación cumplirá con los requisitos establecidos por la Universidad Politécnica Salesiana para el nivel de investigación requerido y el formato de presentación para la tesis. Esto incluirá la justificación de la experimentación, así como la revisión de los conceptos y teorías relacionadas con el diseño experimental. El CIBE complementará el desarrollo de análisis técnicos en relación con la investigación.

1.5 Pregunta de investigación

¿Cuál es la eficiencia de la bioconversión de desechos vegetales en mercados de la red municipal de Guayaquil utilizando la sinergia de la mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*) y la lombriz californiana (*Eisenia foetida*), y cómo se comparan los productos resultantes en términos de tasa de degradación y porcentaje de proteína, mediante el diseño exploratorio de factores de confusión?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general

Bioconvertir los desechos vegetales obtenidos en tres mercados pertenecientes a la red municipal de Guayaquil mediante la sinergia de la mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*) y la lombriz californiana (*Eisenia foetida*).

1.6.2 Objetivos específicos

- Realizar el análisis fisicoquímico de los sustratos usados en cada uno de los dieciséis tratamientos con el diseño exploratorio de factores de confusión.

- Determinar por medio de los parámetros de eficiencia de la bioconversión y sinergia entre las dos especies.
- Cuantificar la cantidad de proteínas que contienen los organismos biodescomponedores mediante el método Bradford en la etapa final de la experimentación.

1.7 Hipótesis

1.7.1 Hipótesis de investigación

La colaboración entre la mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*) y la lombriz californiana (*Eisenia foetida*) en la bioconversión de residuos vegetales recolectados de mercados en la red municipal de Guayaquil demostrará diferencias significativas en la tasa de degradación en comparación con los tratamientos individuales de cada especie.

Capítulo 2

Marco teórico

2. Fundamentación teórica

2.1. Bioconversión de desechos sólidos

La bioconversión de desechos sólidos es un proceso biológico que implica el uso de microorganismos para descomponer la materia orgánica presente en los residuos sólidos. En lugar de acumularse en vertederos o incinerarse, los residuos orgánicos se convierten en productos valiosos como abonos y alimentos para animales (Yaashikaa et al., 2020).

En el caso de la combinación de estos dos organismos, se presenta un enfoque único: la mosca soldado-negra asume el papel de transformar los nutrientes del sustrato en biomasa de larva, caracterizada por su contenido superior al 40 % en proteína y más del 30 % en grasa. Esta larva se convierte en una fuente de proteínas rica y energética, adecuada para la alimentación de animales (R González, 2013). Por otro lado, la lombriz californiana contribuye en el procesamiento de los restos que no han sido consumidos por la mosca, enriqueciendo con nutrientes al compost. Los beneficios de la bioconversión de desechos sólidos incluyen la reducción de residuos, la producción de alimentos y fertilizantes naturales, la disminución de emisiones de gases de efecto invernadero y la conservación de los recursos naturales (Yaashikaa et al., 2020).

2.2. Mosca soldado-negra (*Hermetia illucens*)

2.2.1 Generalidades

Esta especie posee un rango geográfico que abarca zonas tropicales y subtropicales. Su distribución se extiende desde regiones neotropicales hasta áreas de Australia, América del Norte, regiones paleárticas y zonas africanas tropicales. Su origen se encuentra en América, se registró por primera vez en las islas de Hawái en una empresa llamada Hilo Sugar (Singh & Kumari, 2019).

En Ecuador, la compañía Bioconversión S.A. en colaboración con la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) ha establecido una asociación con el propósito de construir una instalación industrial destinada a la cría de la mosca soldado-negra. El objetivo de esta institución es producir harina proteica a partir de esta especie, presentando una alternativa para reemplazar la harina de pescado. Esta

iniciativa busca aprovechar los desechos orgánicos generados por la agroindustria nacional. La planta se encuentra ubicada en un área de 150 hectáreas en la Zona de Desarrollo Económico (ZEDE) del Litoral, situada en Guayaquil. Este proyecto ejemplifica la transferencia de tecnología que antes Europa en conjunto con Asia han implementado, hoy en día se está adaptando en nuestro país (Mendoza M, 2021).

2.2.2 Taxonomía

La mosca soldado-negra (BSF) forma parte de los dípteros que pertenecen a la familia Stratiomyidae, en particular al género *Hermetia* sp. y es una de las 150,000 especies que se han identificado, siendo la más vinculada con el proceso de descomposición de la materia orgánica (Hoc et al., 2019). Hay otros cuatro géneros presentes como: *Chaetosargus* spp., *Patagiomyia* spp., *Chaetohermética* spp. y *Notohermetia* spp. Sin embargo, entre estos cinco géneros, es *Hermetia illucens* la especie con la distribución más extendida (tabla 2).

Tabla 2. Clasificación taxonómica de la mosca soldado-negra

Taxonomía mosca soldado-negra	
Reino	Animalia
Filo	Arthropoda
Clase	Insecta
Orden	Diptera
Suborden	Brachycera
Familia	Stratiomyidae
Subfamilia	Hermetiinae
Género	Hermetia
Especie	<i>H. illucens</i>

Fuente: Salomone et al., 2017.

2.2.3 Ciclo de vida y características

Su proceso de crecimiento implica cinco fases, formando un ciclo vital compuesto por cinco etapas distintas: huevo, larva, pupa, prepupas y adulto, así

como lo muestra la figura 1. La eclosión de huevos y adultos ocurre en periodos más breves, mientras que la fase larval, o la pupal son más prolongadas, desempeñando un papel crucial en el ciclo vital. La duración de este ciclo puede variar en función de las circunstancias del entorno (Nguyen et al., 2015).

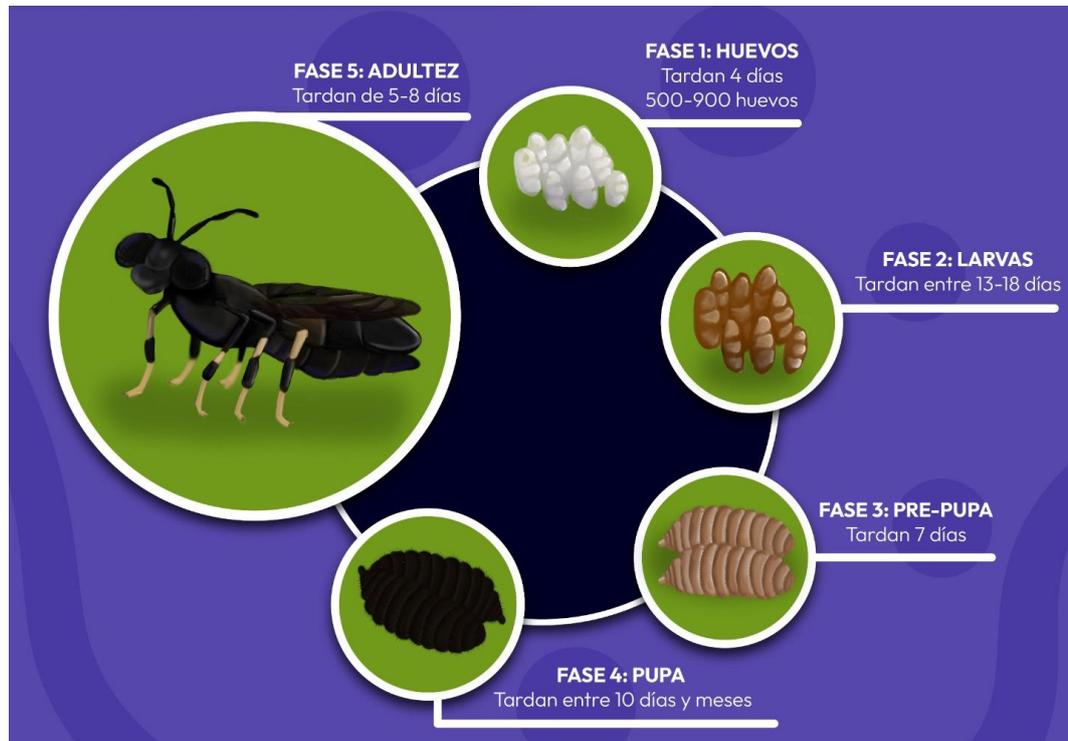


Figura 1. Ciclo de vida *Hermetia illucens*

La imagen muestra las cinco etapas de la mosca soldado-negra.

Huevo: La especie se reproduce a través del proceso de oviposición, en el cual los huevos son depositados en estructuras denominadas pseudo-oothecas, donde pueden acumularse en grupos de alrededor de 500 huevos. Estas pseudo-oothecas son encontradas en entornos semicerrados, como en grietas de materia orgánica (Nguyen et al., 2013). Los huevos experimentan su transformación al siguiente estadio alrededor de cuatro días. Por lo general, los huevos son cilíndricos y poseen una longitud de aproximadamente 1 mm, mostrando un color blanco-cremoso.

Larvas: Al eclosionar entre cuatro a seis días, se convierten en larvas y emergen con una coloración crema, adquiriendo una dimensión de hasta 6 mm de

ancho y 27 mm de longitud. Su forma es algo aplanada y más ancha, con una textura rígida y una cabeza de pequeño tamaño y puntiaguda (Salomone et al., 2017). A lo largo de su crecimiento, atraviesan seis etapas en las que experimentan mudas de piel, completando este ciclo en alrededor de 14 días. En la etapa final, sus mandíbulas se transforman en una forma de gancho que les permite excavar, y a esta fase se le conoce como prepupa (Singh & Kumari, 2019). Además, desarrollan de manera gradual una eficiencia enzimática en su sistema bucal, microbiota intestinal y proceso de digestión. Estas características lo convierten en un organismo detritívoro capaz de descomponer de manera significativa grandes cantidades de desechos orgánicos (Segura Cazorla, 2015).

Pupas: En la transición hacia su etapa pupal, las larvas buscan áreas secas para llevar a cabo su desarrollo dentro de la envoltura pupal durante un período de al menos dos semanas, donde la falta de movimiento las delata. Durante este proceso, su exoesqueleto se oscurece y la liberación del insecto será en una región dorsal externa de manera específica: desde la cabeza hasta el quinto anillo, y del plano horizontal se sitúa en la separación entre el segundo y tercer segmento (Caruso, 2014).

En su consecutivo estadio, conocido como prepupa, se alcanza el tamaño máximo, siendo en gran medida una fase valiosa debido a su contenido proteico, que oscila entre el 36 y el 48 %, incluso su contenido de grasas, que constituye un 33 %. Finalmente, después de un período de 14 días, la metamorfosis se completa y las prepupas se transforman en adultos (Ritika et al., 2015).

Adulta: en su fase adulta, se distingue por presentar un abdomen amplio y aplanado. Una gran singularidad son sus antenas, al tener un tercer segmento anillado, siendo el segundo segmento el que muestra dos manchas traslúcidas. Estas manchas son más evidentes en las hembras, a diferencia de los machos, que se diferencian por el color de la parte final del abdomen, que es más rojizo en las hembras y más cafés en los machos. El tamaño de esta especie varía entre 15 y 20 mm, culminando con una coloración marrón-negro (Devic & Fahmi, 2013).

Durante un período de 6 a 8 días, la fase adulta de este insecto se limita a la ingesta de agua y obtienen los nutrientes necesarios para su reproducción (Singh & Kumari, 2019). Las hembras adultas solo se aparean en una ocasión a lo largo de su

vida, lo que lleva a un único acto de oviposición. En pocas palabras, este proceso acontece con proximidad 2 días después de la eclosión, mientras que la oviposición ocurre alrededor de 4 días después (Čičková et al., 2015).

2.2.4 Factores de crecimiento de la BSF

Temperatura: La temperatura es un factor crucial que debe ser considerado, dado que la BSF se desarrolla en un amplio rango térmico, que abarca de 21 °C a 30 °C. Su temperatura óptima para desarrollo es de 27 °C, lo que las califica como especies euritermas, permitiéndoles procesar distintos nutrientes presentes en los desechos (Barrett et al., 2023). Los extremos de temperatura, tanto mínima como máxima, se conocen como umbrales de desarrollo, y el metabolismo de las larvas se desacelera o se detiene cuando se exponen a condiciones ambientales fuera de estos umbrales (Park, 2016).

Humedad: Tanto el crecimiento, como la supervivencia dependen de este factor, el exceso de humedad puede entorpecer la velocidad de descomposición y resultar en un residuo final con agregados gruesos. Esto puede dificultar el procesamiento ulterior del cultivo. Por lo tanto, es fundamental mantener un control adecuado de este parámetro (Cheng et al., 2017). El estudio de Banks (2014) mostró un mayor crecimiento de pupas con un contenido de humedad del 85 % en el lodo fecal. Por otra parte, otro grupo de investigadores determinó que un contenido de humedad del 80 % en los residuos de alimentos es óptimo para el crecimiento de la mosca soldado-negra (Cheng et al., 2017).

pH: El pH es otro factor que debe considerarse a conciencia, ya que tiene un impacto en la actividad y el rendimiento del crecimiento dentro del ciclo de vida de la BSF. Según (Ma et al., 2018), las larvas tienen un crecimiento y desarrollo óptimos en sustratos con un pH básico entre 8 y 10, o en un rango neutro, lo que les permite ser más eficientes. Por otro lado, presentan un menor crecimiento en sustratos ácidos, donde su capacidad de regular el pH es limitada. (Ma et al., 2018).

2.2.5 Usos y aplicaciones de la BSF

2.2.5.1 Producción de alimento animal

Durante su fase larvaria, se puede aprovechar como una fuente nutritiva

rica en proteínas para animales como aves, peces y cerdos. Investigaciones realizadas por Girotto & Cossu, (2019) han indicado que estas larvas exhiben un perfil nutricional muy beneficioso, dado que suministra proteínas crudas y lípidos con cadenas de ácidos grasos monoinsaturados de longitud media, semejantes a los presentes en la carne o la soja, las cuales son utilizadas siempre en la elaboración de piensos para animales. Así mismo, se ha identificado la presencia de compuestos que pueden inducir efectos inmunoestimulantes en los animales, junto con péptidos antimicrobianos (Barrett et al., 2023).

Los estudios de Cummins et al. (2017) respaldan que la cría de larvas de BSF puede reemplazar el 25 % de la harina tradicional de pescado gracias a su contenido nutricional. Magalhães et al. (2017) llegó a la conclusión de que el reemplazo del 19 % de la harina tradicional por harina de larvas de BSF no afectó los patrones de crecimiento de la lubina europea (*Dicentrarchus labrax*). Así como, observaron que alimentar las larvas con residuos heterogéneos podría mejorar su composición de nutrientes en comparación con una alimentación uniforme. Muy aparte de reemplazar la harina de pescado, las larvas al mismo tiempo están siendo utilizadas como alimento para aves de corral en lugar de la soja o el maíz (Singh & Kumari, 2019). Esta práctica se alinea con el concepto de economía circular, porque las larvas tienen el potencial de reducir los desechos generados por las aves de corral y luego pueden ser empleadas para alimentarla. En una línea similar, han observado que la alimentación de codornices japonesas y pollos (*Coturnix japonica* y *Gallus gallus domesticus*) con larvas de BSF resultó en un buen rendimiento y un aumento en la cantidad de aminoácidos en la carne. Por lo tanto, se puede inferir que el cultivo de larvas de BSF sirve como una valiosa fuente de alimento para aves de corral, a la vez ofrece la ventaja de reciclar o reducir sus residuos (Cullere et al., 2016, 2018).

Otros hallazgos, es la comercialización de la quitina de la capa externa de las larvas, por tener potencial en áreas como la medicina y la biotecnología, gracias a su alta concentración de nitrógeno que alcanza un 6,9 %, en comparación con el 1,25 % presente en la celulosa sintética (Singh & Kumari, 2019).

2.2.5.2 Producción de biodiesel

La demanda de combustibles y energía está experimentando un rápido incremento a medida que la población crece. Las industrias se desarrollan para el año 2040, como consecuencia de la demanda mundial de energía que alcanzará los 820 billones de BTU (Eia, 2013). Aparte de las preocupaciones relacionadas con el calentamiento global y el cambio climático, se ha restringido el uso de combustibles fósiles.

Por esta razón, el concepto de biodiesel como un combustible renovable ha ganado popularidad y más con el alto potencial de las larvas de BSF para convertir biomasa lignocelulósica en productos valiosos. Las convierte en una solución para una producción más económica (Kumar et al., 2018). Se determinó que a partir de 2000 larvas alimentadas con 1000 g de sustrato se obtiene 43,8 g de biodiesel (Singh & Kumari, 2019). Gracias a su perfil de ácidos grasos, la calidad del biodiesel obtenido de las larvas se compara con el biodiesel de origen vegetal y cumple con los criterios establecidos en la norma EN 14214, que define los requisitos de ácidos grasos para su uso como combustible en motores diésel.

2.2.5.3 Producción de fertilizantes

El investigador Siddiqui et al. (2023) en conjunto a otros profesionales descubrió que alimentar a las moscas con residuos orgánicos podría facilitar la transformación biológica de 30 toneladas de desechos al día, resultando en la producción cerca de un 33,3 % de residuos que pueden ser empleados como fertilizantes, así como un 7,7 % de biomasa prepupal que puede destinarse a la alimentación animal. Otros grupos de investigadores también han indicado que el estiércol proveniente de las larvas tiene características similares a las de los fertilizantes, lo cual lo hace apto para ser utilizado como componente en cultivos (Rehman et al., 2023). No obstante, se observó que el proceso de tratamiento y valorización llevado a cabo por las larvas de BSF tiene un potencial de calentamiento global que es bastante bajo en comparación con otras tecnologías convencionales, aunque tiene cierto impacto hasta cierto punto (Salomone et al., 2017). A pesar de esto, presenta una significativa ventaja en términos de necesidades mínimas de terreno para la producción de

alimentos o energía.

2.3. Lombriz californiana (*Eisenia foetida*)

2.3.1 Generalidades

La lombriz roja californiana, perteneciente al reino animal como un anélido terrestre de la familia Lumbricidae y del género *Eisenia* sp., tiene su origen en Europa. Sin embargo, su adaptabilidad excepcional le ha permitido establecerse de manera amplia en diversos puntos del mundo, abarcando continentes como América del Norte, América Latina, Asia y Oceanía. A pesar de la existencia de alrededor de 8000 especies de lombrices, solo alrededor de 3500 han sido objeto de estudio y clasificación (Sánchez Bandera, 2017).

La lombriz roja californiana es un organismo de hábito epigeo, lo que implica que habita en la capa superior del suelo, en ambientes húmedos y ricos en materia orgánica en proceso de descomposición (Cantuta Sangalli, 2015). Además, presenta preferencias alimenticias debido a su capacidad para detectar sabores a través de órganos gustativos, y muestra aversión a la luz, siendo fotófobos. En condiciones de suelo húmedo, estas lombrices crean galerías al hundirse en el sustrato; por el contrario, en suelos secos, ablandan el terreno con secreciones antes de ingerirlo (Huaccha, 2019). Su apetito es notable, puesto que cada individuo consume a diario una cantidad de materia orgánica que equivale a su propio peso (oscilante a 1 gramo en individuos adultos). El vermicompost, que constituye el 60 % de su ingesta diaria, es un producto de alta calidad.

2.3.2 Taxonomía

A pesar de la existencia de alrededor de 8000 especies de lombrices, solo alrededor de 3500 han sido objeto de estudio y clasificación. Entre las variedades más empleadas en la lombricultura en la actualidad destacan la *Eisenia foetida* y la *Eisenia andrei*, de forma genérica conocidas como "lombriz roja". Durante un período prolongado, estas dos especies fueron consideradas como una única entidad, en vista de sus notables similitudes morfológicas (Sánchez Bandera, 2017). En la tabla 3 describe la taxonomía para *E. foetida*, conocida como lombriz californiana.

Tabla 3. Clasificación taxonómica de la lombriz californiana

Taxonomía lombriz californiana	
Reino	Animalia
Filo	Annelida
Clase	Clitellata
Subclase	Oligochaeta
Orden	Haplotaxida
Familia	Lumbricidae
Género	<i>Eisenia</i>
Especie	<i>E. foetida</i>

Fuente: Mamani Lima, 2016.

2.3.3 Ciclo de vida y características

La lombriz roja californiana posee un sistema de reproducción hermafrodita, lo que implica que cada individuo alberga tanto órganos sexuales masculinos como femeninos (UASP, 2018). Sin embargo, para la fertilización de los huevos, se requiere la copulación con otro individuo. Tras este proceso, cada lombriz es capaz de poner entre 1 y 5 cápsulas de huevos en un intervalo de tiempo de 7 a 10 días (Chango Aguilar, 2011). En cada una de estas cápsulas, varios embriones se desarrollan para luego pasar por 4 estadios, como muestra la figura 2.



Figura 2. Ciclo de vida de *Eisenia foetida*

La imagen muestra los 4 estadios de la lombriz californiana.

Cocones o capullos: Cada uno de estos capullos pequeños y ovalados contiene de 3 a 10 lombrices, simulando la forma de un grano de arroz, con un tamaño que varía por lo regular entre 5 y 10 mm de longitud (Rivera-Arredondo et al., 2018). Su superficie es lisa y brillante con tonalidades variantes desde un tono amarillo pálido hasta un marrón claro (Domínguez & Gómez-Brandón, 2010). Las lombrices dentro del capullo necesitan una temperatura en torno a 20-25 °C y permanecen durante un período de 14 a 44 días. Durante este tiempo, las lombrices contenidas en el interior del cocón se alimentan de las secreciones albuminoideas.

Juveniles: Las crías recién nacidas emergen de los cocones y comienzan su proceso de desarrollo. En esta etapa, las lombrices jóvenes son muy pequeñas, a la vez son frágiles de al menos 1 a 2 cm, con cuerpos delgados y segmentados casi transparentes, que aún no han alcanzado el tamaño ni la madurez de los adultos (Inversanet, 2011). Durante esta etapa, las lombrices jóvenes dedican gran parte de su energía al proceso de alimentación y crecimiento (Díaz et al., 2009). Se alimentan de materia orgánica en descomposición presente en el sustrato circundante. A

medida que se alimentan, experimentan un aumento constante en su tamaño, lo que resulta en el desarrollo de sus estructuras corporales.

Subadultos: Durante esta fase, las lombrices experimentan cambios significativos en su forma y estructura. Por ejemplo, su longitud, que varía entre 3 y 5 cm, así como su grosor, que fluctúa entre 2 y 4 mm, experimentan un aumento perceptible (Inversanet, 2011). De la misma manera, en esta etapa, las lombrices suelen presentar una pigmentación más marcada, aunque aún no han desarrollado el clitelo, una estructura característica de la reproducción en las lombrices adultas. El comportamiento de las lombrices en la etapa de subadultos está orientado a preparar su camino hacia la madurez sexual (Domínguez & Gómez-Brandón, 2010). Este comportamiento está vinculado al crecimiento de sus órganos reproductores. A medida que estos órganos se desarrollan, se vuelven más discernibles, lo que a su vez contribuye a la supervivencia de las lombrices en su entorno.

Adultos: Las lombrices en esta etapa han alcanzado su tamaño y morfología adulta. Tienen una longitud que suele oscilar entre 7 y 10 centímetros y un grosor de aproximadamente 4 a 5 mm y se caracterizan por su color rojo brillante en la parte ventral. Posee una constitución segmentada, con un número variable de segmentos que pueden oscilar entre 90 y 120 en adultos, definiendo un clitelo desarrollado, el cual es una banda gruesa que rodea la parte inferior del cuerpo ocupando de 6-8 segmentos (Karmegam & Daniel, 2009). Cada lombriz adulta puede depositar un huevo que eclosiona al cabo de 3 semanas y de éste emergen entre 2 y 20 estados juveniles, están listas para reproducirse, a los 3 meses. La lombriz tiene un promedio de vida de 16 años, aunque algunos autores confirman que esta especie dura 4.5 años de vida (Chango Aguilar, 2011).

2.3.4 Condiciones de crecimiento para *E. foetida*

Humedad: Los porcentajes óptimos para el desarrollo se encuentran entre el rango del 80 y 85 %, aunque las lombrices muestran una amplia variabilidad en este aspecto. No obstante, es crucial mantener un control sobre este factor, ya que, si la humedad disminuye a niveles de 12 % o incluso menos, el proceso de descomposición se vuelve más lento (Luna-Canchari & Mendoza-Soto, 2020). Las lombrices poseen una notable capacidad de adaptación a las condiciones de

humedad. Si esta condición se desequilibra, las lombrices pueden entrar en un estado de inactividad conocido como "diapausa". Durante este período, las lombrices se enroscan y permanecen en este estado hasta que las condiciones ambientales sean propicias (Sánchez Bandera, 2017).

Temperatura: Las lombrices alcanzan un crecimiento óptimo a una temperatura de 25 °C, aunque también pueden desarrollarse en el rango de 25-28 °C. Incluso, si han sido aclimatadas desde el nacimiento, pueden sobrevivir en condiciones de hasta 32 °C. Sin embargo, se debe tener en cuenta que una temperatura superior a 33,3 °C resultará letal para las lombrices, inhibiendo su crecimiento y provocando su muerte (Cantuta Sangalli, 2015).

Por otro lado, se ha observado que las temperaturas mínimas adecuadas para el crecimiento oscilan alrededor de los 10 °C. Aunque algunos estudios han demostrado el crecimiento de las lombrices a temperaturas bajo cero, esta condición no es recomendable para su desarrollo óptimo y adecuado (Sánchez Bandera, 2017).

pH: Las lombrices exhiben una considerable variabilidad en términos de tolerancia al pH, abarcando desde 5 hasta 9. A pesar de esta amplitud, su desempeño óptimo se observa cuando el pH del entorno se encuentra cercano a la neutralidad (Sánchez Bandera, 2017).

Estructura del sustrato y aireación: La elección de un sustrato adecuado es esencial para el cultivo exitoso de las lombrices rojas californianas. La estructura del sustrato debe permitir la difusión pasiva del aire y asegurar que no obstruya el movimiento de las lombrices, el drenaje del agua ni la circulación del oxígeno. Esta última es crucial, para las lombrices que requieren una concentración de oxígeno en el rango del 55 al 65 % (Sánchez Bandera, 2017).

Según Jaramillo & Muñoz (2018), la aireación para este tipo de organismo debe ser aeróbica por naturaleza. Destacan que en el lecho de cultivo debe haber un intercambio gaseoso adecuado, y este intercambio está relacionado con la textura del sustrato. La presencia de materiales compactos o un exceso de agua que sature los poros del lecho puede provocar una reducción peligrosa de los niveles de oxígeno, lo cual es perjudicial para la supervivencia de las lombrices.

Iluminación: Dicha especie es sensible a los rayos ultravioleta, incluso una exposición leve a la luz solar puede resultar letal para ellas. Por esta razón, se

recomienda situarlas en áreas que estén sombreadas (Rincones et al., 2023).

Conductividad eléctrica: Las lombrices rojas californianas muestran una limitada habilidad para regular las sales en su sistema corporal, por lo que, al seleccionar los sustratos para su cultivo, es importante asegurarse de que la conductividad eléctrica no supere los 8 dSm⁻¹, dado que los niveles más altos les impide sobrevivir, causando la muerte de las lombrices (Sánchez Bandera, 2017).

2.3.5 Usos y aplicaciones de la *E. foetida*

2.3.5.1 Producción de humus

En los últimos años, el humus de lombriz ha ganado reconocimiento como el fertilizante orgánico más destacado. Este producto puede ser almacenado durante largos períodos sin que sus propiedades se vean afectadas, siempre y cuando se mantenga en condiciones óptimas de humedad (alrededor del 40 %). Su potencial se vislumbra tanto en la agricultura ecológica como en la convencional, no solo por su excepcional capacidad como abono, sino también por su capacidad para revitalizar suelos compactos y empobrecidos en materia orgánica (Sara Montoya Sanchez, 2021).

El humus de lombriz posee una carga microbiana notable, estimada en alrededor de 20 mil millones de gramos en su estado seco. Esta característica contribuye a la protección de las raíces contra bacterias y nemátodos, especialmente aquellos que representan una amenaza. Adicionalmente, el humus de lombriz genera hormonas como el ácido indol acético y ácido giberélico, que fomentan el crecimiento y las funciones vitales de las plantas (Escobar Carvajal, 2015). La composición de los excrementos de lombriz se distingue por tener cinco veces más nitrógeno, siete veces más fósforo, cinco veces más potasio y el doble de calcio en comparación con la materia orgánica originalmente ingerida.

Debido a su naturaleza como fertilizante, el humus puede permanecer en el suelo por hasta cinco años, siempre y cuando se mantenga un pH neutro en el suelo. Esto garantiza que no haya complicaciones en cuanto a la dosificación y minimiza el riesgo de fitotoxicidad (Escobar Carvajal, 2015). En términos de aplicación, el otoño y la primavera son las estaciones ideales para suministrar el humus. Es importante distribuirlo en la superficie del suelo, en particular las

bacterias presentes en el humus requieren oxígeno para llevar a cabo sus funciones esenciales (Jaramillo & Muñoz, 2018).

2.3.5.2 Producción de harina como alimento de animales

En la actualidad, se ha ido empleando la harina de lombriz como una valiosa fuente de proteínas en la dieta de animales, funcionando como un complemento a los alimentos balanceados comerciales (Ariana Camba, 2021). Debido a que, las lombrices son apreciadas como carnada, se ha sugerido que poseen cualidades organolépticas que las hacen atractivas para los animales (Lezcano & Borjas, 2017).

Investigaciones realizadas en diversas especies, como peces, aves y mamíferos, han arrojado resultados positivos al incorporar harina de lombriz en sus dietas, en proporciones que oscilan entre el 0,5 y el 2 %. En la práctica, esta harina es añadida como fuente proteica en la alimentación animal, al tiempo que se emplea como atrayente, siendo adicionada en cantidades de 2 a 4 kilogramos por tonelada de alimento (Kevin Gonzalez, 2022).

2.3.5.3 Cosmetología

Este enfoque de aprovechamiento se caracteriza por su innovación al emplear el colágeno inherente en las lombrices como un agente regenerador y revitalizante poderoso para la piel (Gioffre, 2022).

En la actualidad, se está dirigiendo la atención hacia la formulación de compuestos antienvjecimiento que incorporan extractos derivados de la harina de lombriz. Dado que esta especie es un anélido, se le atribuye el potencial de facilitar la cicatrización de tejidos dañados y, al mismo tiempo, restablecer secciones completas del cuerpo que han sido eliminadas. Esta característica ha impulsado el interés en el desarrollo de tratamientos con aplicaciones potenciales en la lucha contra el cáncer (Heidy Wagner Laclette, 2019).

2.3.5.4 Fabricación de antibióticos

A lo largo de diversas culturas, como la china e hindú, la lombriz californiana ha sido empleada con fines terapéuticos que abarcan propiedades antihipertensivas, antipiréticas, antiasmáticas, antitumorales y antibióticas

(Vallejo & González, 2013).

Desde tiempos ancestrales, se han documentado múltiples propiedades curativas asociadas a esta especie, y se ha observado que la ingestión de lombrices californianas puede aliviar enfermedades. Los compuestos predominantes que son responsables de estos efectos medicinales son la tirosina y la lumbrofebrina (Castaño Castillo, 2013).

Gracias a su contenido significativo de proteínas, se ha logrado la creación de comprimidos de aminoácidos con aplicaciones terapéuticas (Heidy Wagner Laclette, 2019).

Hace poco, la investigación ha dirigido su enfoque hacia el fluido celómico presente en estas lombrices. La aplicación de este fluido en la medicina ha llevado al desarrollo de diversos tipos de antibióticos. A pesar de que se han realizado múltiples estudios sobre la capacidad de esta especie para la regeneración de tejidos, aún no se ha alcanzado una conclusión definitiva al respecto. Sin embargo, la investigación en esta área sigue en progreso (Escobar Carvajal, 2015).

2.4. Sinergia entre la mosca soldado-negra y la lombriz californiana

La mosca soldado-negra es una especie de insecto que se alimenta de materia orgánica en descomposición, como restos de alimentos, estiércol y residuos agrícolas. Sus larvas, son muy eficientes en la descomposición de la materia orgánica y pueden convertirla en un producto rico en nutrientes llamado "harina de mosca soldado-negra" (G Del Hierro et al., 2021). La mosca soldado-negra es una especie de insecto que se alimenta de materia orgánica en descomposición, como restos de alimentos, estiércol y residuos agrícolas. Sus larvas, son muy eficientes en la descomposición de la materia orgánica y pueden convertirla en un producto rico en nutrientes llamado "harina de mosca soldado-negra" (G Del Hierro et al., 2021). Por otro lado, *E. foetida* es una especie de anélido que se alimenta de material natural en deterioro, convirtiéndola en un producto llamado "humus de lombriz", que es un excelente fertilizante natural (Quintero Rodríguez, 2008).

La sinergia de ambas especies se produce en cuanto, las larvas excretan nutrientes en forma de excremento en un mismo sustrato en el que se encuentran las lombrices

californianas, dando ellas una continuidad al procesado de los residuos. De tal manera contribuyen a la descomposición adicional, produciendo moléculas orgánicas de alta calidad con una concentración nutricional óptima en el crecimiento de plantas saludables.

2.5. Caracterización de los residuos vegetales

Los desechos sólidos generados en las plazas de mercado presentan una notable concentración de minerales y son propicios para la degradación, lo que los hace altamente adecuados para someterse a procesos biológicos. La cualidad de caracterizar dichos desperdicios les otorga una alta viabilidad para ser tratados mediante enfoques biológicos, tal y como se muestra en el anexo 1.

2.6. Cuantificación de proteínas

2.6.1 Fundamento del método de Bradford

Esta técnica se fundamenta en una reacción visual de las proteínas con un colorante denominado Coomassie Azul Brillante G-250. En un entorno ácido, las proteínas se enlazan con el colorante, lo que ocasiona un cambio en su color desde marrón (con una absorción máxima a 465 nm) a azul (con una absorción máxima a 610 nm). La interacción de las proteínas en la muestra con el colorante genera estabilidad en la forma aniónica del mismo, llevando a un cambio observable en el color (De células, 2021).

Este proceso de cambio de color está directamente relacionado con la cantidad de proteínas presentes y puede ser cuantificado mediante espectrofotometría a una longitud de onda de 595 nm. En esta longitud de onda, la diferencia en absorción entre las dos formas coloreadas del colorante es más pronunciada (Aminian et al., 2013). Mediante la creación de una curva de calibración con concentraciones de proteínas conocidas, utilizadas como puntos de referencia, es factible determinar la cantidad de proteína en una solución. Esto se basa en la medición de la absorción de la solución después de añadir el colorante.

2.6.2 Espectrofotometría UV-VIS

La cuantificación de proteínas con espectrofotometría UV-VIS se basa en la Ley de Beer-Lambert, que establece que la absorbancia es proporcional a la

concentración de la sustancia absorbente y a la longitud del camino óptico de la luz a través de la muestra (B. Jill Venton, 2018). Por lo general, utiliza la absorbancia medida a 280 nm, ya que los aminoácidos que componen las proteínas tienen una fuerte absorción a esta longitud de onda. Sin embargo, al medir la absorbancia de una muestra desconocida y compararla con una curva de calibración construida con muestras de concentraciones conocidas, se puede determinar la concentración de proteínas en la muestra desconocida (Mosquera, 2019).

Mediante el empleo de un Espectrofotómetro UV-VIS, se abre la posibilidad de lograr una cuantificación altamente precisa de compuestos como el ADN, ARN y proteínas, utilizando únicamente volúmenes de muestra de tan solo 1 a 2 μL , así como diferentes longitudes de onda de luz. Esta herramienta tecnológica también permite el análisis de muestras proteicas como parte de la evaluación de calidad de un lote, y sirve incluso como paso previo a reacciones posteriores (Mosquera, 2019). Así mismo, ofrece un medio eficaz para asegurar la integridad de las muestras proteicas, garantizando su calidad y viabilidad para futuros procesos.

Capítulo 3

Materiales y métodos

3.1 Tipo y diseño de investigación

La categoría de investigación de este proyecto de tesis es descriptiva experimental donde se observó el comportamiento de *H. illucens* y *E. foetida*, en peso como en tamaño, ante diferentes niveles de sustratos, evaluando la cantidad de sustrato reducido, tasa de bioconversión, tasa de supervivencia para larvas de BSF, tasa de multiplicación para lombrices californiana y pH del sustrato, además la humedad se determinó de manera cualitativa.

3.2 Variables

Las variables son cuantitativas, al ser valores numéricos, menos la humedad, al ser una variable cualitativa.

3.2.1 Variable dependiente

Las variables dependientes del experimento son el peso, el porcentaje de proteínas, la bioconversión, la supervivencia de larvas y la multiplicación de lombrices.

3.2.2 Variable independiente

En el estudio, se identifican como variables independientes al sustrato reducido, el pH y la temperatura.

3.2.3 Variable interviniente

En la investigación, una de las variables que juega un papel importante es el método utilizado para extraer la proteína de ambas especies. Otra variable relevante es la humedad en el proceso de pesaje.

3.2.4 Variables extrañas

La humedad del sustrato es un factor no tan controlable, pudiendo tener un impacto en las especies.

3.3 Métodos y herramientas para recolección de datos

Los métodos y herramientas en la recolección de datos para el presente trabajo experimental son: búsqueda y análisis de tesis, artículos, revistas científicas, guías técnicas, entre otros. Para la recopilación de información relevante se utilizó dispositivos electrónicos. Las herramientas para registrar la información fueron una bitácora digital y cámara de dispositivo electrónico.

3.4 Obtención de organismos descomponedores

Las larvas de la mosca soldado-negra fueron adquiridas en la segunda etapa larvaria, en la Sociedad Ecuatoriana Biotecnológica de la ESPOL (SEBIOCA), a un costo de \$5,30 por 12 g. Las lombrices californianas fueron obtenidas en estado adulto, por medio del Sr. Juan Cárdenas, empleado de la empresa Young Living, a un valor de \$50,00 por 3 kg. Tanto las larvas como las lombrices fueron transportadas y almacenadas en tarrinas de plástico (116 mm x 81 mm); las cuales fueron otorgados por los propios proveedores, hasta el momento de iniciar el proyecto.

3.5 Recolección de desechos vegetales

La recolección de desechos se realizó dentro de cada Mercado Municipal. Se recolectaron 50 kg de residuos vegetales, en fundas plásticas o sacos, por cada mercado. Adicional, para el continuo adiciónamiento de sustrato se volvió a recolectar 50 kg de desechos por cada mercado. Los desechos fueron transportados primero hasta la casa de una de las tesis para un pretratamiento y luego del mismo, a la Universidad Politécnica Salesiana, sede María Auxiliadora, lugar donde se almacenó, hasta el inicio del proyecto. La experimentación fue realizada dentro del laboratorio de Entomología de la carrera de Biotecnología, desde el mes de mayo hasta agosto del 2023.

3.6 Biomasa y mantenimiento

Cada 6 días se realizará un pesaje de los organismos descomponedores, visualización de su anatomía. De igual manera, se adicionaron residuos vegetales procesados y no procesados cada 5 días hasta la evaluación final, como lo describe la tabla 4. El pesaje para cada organismo se realizó en una balanza analítica (figura 3).

Tabla 4. Distribución con relación al tiempo en mantenimiento y adición de sustrato

Día	Fecha	Actividades culturales
0	07/07/23	Inicio de la experimentación. Medición de pH en sustratos.
5	12/07/23	Medición de pH. Adición de sustrato a cada tratamiento.
7	14/07/23	Pesaje de larvas y lombrices. Evaluación de humedad de la tierra para las lombrices
10	17/07/23	Medición de pH. Adición de sustrato.
13	20/07/23	Pesaje de larvas y lombrices. Evaluación de humedad de la tierra para las lombrices.
15	22/07/23	Medición de pH. Adición de sustrato.
19	26/07/23	Pesaje de larvas y lombrices. Evaluación de humedad de la tierra para las lombrices.
20	27/07/23	Medición de pH. Adición de sustrato.
26	03/08/23	Pesaje de larvas y lombrices. Evaluación de humedad de la tierra para las lombrices. Medición de tamaño por tratamiento y caracterización estereoscópica. Medición de pH.
31	08/08/23	Limpieza y secado de los organismos.
34	11/08/23	Peso de biomasa final.

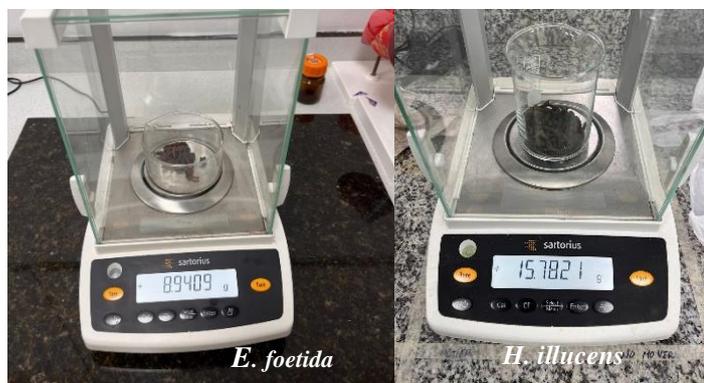


Figura 3. Medición del peso para larvas y lombrices

En la figura se muestra el pesaje para los dos organismos por cada tratamiento.

3.7 Parámetros de la eficiencia en la bioconversión y sinergia

Para establecer la eficiencia de la experimentación se estableció ciertos parámetros, para la evaluación de bioconversión y sinergia entre los organismos descomponedores. Dentro de los parámetros evaluados fueron: sustrato reducido total, tasa de bioconversión, porcentaje de crecimiento y de supervivencia, mediante las ecuaciones descritas por Diener et al., (2009), Rincones et al., (2022) & Isibika et al., (2019).

$$SR = \frac{W - R}{W} * 100$$

Ecuación 1. Determinación sustrato reducido total

$$BR = \frac{TM}{Wi - Wf} * 100$$

Ecuación 2. Tasa de bioconversión de residuos

Donde:

SR, Sustrato reducido total, %

Wi, Peso de sustrato añadido, g

Wf, Peso sustrato reducido, g

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

BR, Tasa de bioconversión, %

TM, Peso total de organismos, g

$$M = \frac{N_{Ef}F}{N_{Ef}I} * 100$$

Ecuación 3. Porcentaje de multiplicación para *E. foetida*

Donde:

M, Porcentaje de multiplicación, %

N_{Ef} , Número de lombrices final

$N_{Ef}I$, Numero de lombrices inoculadas inicial

$$SR = \frac{N_{Hi}F}{N_{Hi}I} * 100$$

Ecuación 4. Tasa de supervivencia para *H. illucens*

Donde:

SR, Tasa de supervivencia, %

N_{Hi} , Número de larvas final

N_{HiI} , Numero de larvas inoculadas inicial

3.8 Medición de tamaño de larvas BSL y lombrices californianas

Al finalizar la experimentación, se realizó un seguimiento fotográfico de tamaño por cada organismo de su respectivo tratamiento. Se tomó al azar un organismo, para colocarlo en una tela blanca para su comparación de tamaño entre tratamientos. Igualmente, para mejor caracterización de los organismos, se realizó seguimiento por medio del estereoscopio.

3.9 Procedimientos

3.9.1 Bioconversión

3.9.1.1 Elaboración de la caja

En 18 organizadores plásticos, con dimensiones de 19x15x28 cm, se realizaron pequeños agujeros en las tapas, las cuales fueron cubiertas con tela malla para la entrada de oxígeno. De igual manera, en la parte inferior se efectuaron dos agujeros, con su respectiva tela malla, para la salida de lixiviado. Los agujeros fueron creados por medio de un kautil de soldadura, para conservar el mismo tamaño de los agujeros en cada organizador. El lixiviado generado por la bioconversión era depositado en otro organizador; tal y como muestra la figura 4, que se localizaba debajo del organizador con todos los factores evaluados.



Figura 4. Organizadores plásticos empleados en la experimentación

En la tapa del organizador se encuentran los agujeros realizados con su respectiva tela malla. El organizador en la parte inferior almacenó el lixiviado generado en

la bioconversión.

3.9.2 Pretratamiento al sustrato

3.9.2.1 Solarización

La mezcla de residuos fue expuesta a la luz solar alrededor de 72 horas, sobre una superficie plana, con una cubierta plástica, evitando el contacto con otros organismos, para lograr extraer cierta cantidad de humedad contenida (García & Michel, 2020).



Figura 5. Solarización de la mezcla de residuos vegetales provenientes de los tres mercados
La figura muestra la cubierta plástica donde fueron colocados los desechos.

3.9.2.2 Trituración

El 50 % de residuos fueron triturados por medio de una licuadora marca Oster, para actuar como un factor de cambio dentro de las variables (Procesado de residuos vegetales).

3.9.2.3 Análisis fisicoquímico

El pH se evaluó a los residuos, al inicio y final, en 50 ml de agua desionizada con 5 g de sustrato. Para garantizar una buena mezcla, se colocó el matraz en una placa de agitación. Se utilizó el potenciómetro, para el análisis, con sus respectivos buffers de pH.

La humedad fue analizada cualitativamente dentro de cada tratamiento, de acuerdo con el cronograma descrito en la tabla 4, siguiendo la técnica de puño en la guía de UASP (2018). Cabe recalcar que, se empleó esta técnica debido

al corto tiempo en que se realizó el proyecto.

La temperatura estimada para la experimentación fue de 24 °C, tanto al inicio como al final de la bioconversión.

3.9.3 Sinergia

Las larvas fueron pesadas por duplicado, de acuerdo con el dominio experimental (tabla 6), para promediar la cantidad de larvas contenidas en ese peso (figura 6), sumando la cantidad de lombrices, se logró así, el cálculo estimado de procesado de residuos vegetales para cada tratamiento. Para lograr mantener vivas a las lombrices, se adiciono 300 g de tierra de sembrado, logrando así, no variar su pH.



Figura 6. Peso de larvas BSF para promediar la cantidad contenida en cada peso

La figura muestra la cantidad promedio de larvas BSF contenidas en 0.5 y 1 g

3.9.4 Determinación de proteínas por el método Bradford

3.9.4.1 Obtención de material biológico

Al término de la experimentación, se separaron los organismos descomponedores. Luego fueron lavados con agua destilada. Tanto las larvas como lombrices fueron colocadas en recipientes de aluminio, para ser llevados a la estufa a una temperatura de 120 °C por 6 horas.

Para la obtención de la harina por cada organismo, se trituroó con ayuda de una licuadora. El polvo obtenido de cada organismo por tratamiento fue almacenado en tubos Falcon de 15 ml.

3.9.4.2 Extracción

La metodología de Universidad Nacional de Quilmes, (2008) fue

modificada para emplearla en larvas y lombrices. En tubos eppendorf de 2 ml, fueron colocados 10 mg de muestra y 1000 μ l de buffer RIPA (tabla 5). Luego, fueron llevados a centrifugar a 14000 rpm por 15 minutos (4 °C).

Tabla 5. Descripción del Buffer RIPA para 10 ml

Reactivos	Cantidad
Tris-HCl	500 μ l
EDTA	10 μ l
NaCl	1000 μ l
Tween 20	100 μ l
Agua	8.390 μ l

El pH indicado para el buffer es de 7.5.

3.9.4.3 Diluciones

El sobrenadante fue extraído para realizar las diluciones correspondientes (relación 1:10). Cada dilución se realizó en diferentes tubos eppendorf. Las diluciones se realizaron con el buffer RIPA.

3.9.4.4 Cuantificación

En micro lisas se colocaron 200 μ l del reactivo Bradford, junto con el sobrenadante extraído y las diluciones, con sus respectivos duplicados. La lectura de las muestras se realizó mediante el equipo de espectrofotometría UV-VIS, utilizando el programa Gen 5.

3.10 Diseño experimental

Para la sinergia entre los organismos, también se tomaron en cuenta, como factores en la interacción al procesado de residuos vegetales y cantidad de biomasa (tabla 6). De igual manera, los factores serán distribuidos por medio del método de confusión (tabla 7). Sin embargo, los tratamientos control se evaluaron por separado, es decir, cada organismo en su propio organizador, con el nivel óptimo de sustrato.

Tabla 6. Organismos descomponedores y desechos vegetales como factores para la interacción.

Factores	Dominio experimental	
	Nivel bajo (-)	Nivel óptimo (+)
<i>Hermetia illucens</i> (HI)	0,5 g	1 g
<i>Eisenia foetida</i> (EF)	16 u	32 u
Procesado de residuos vegetales (PRV)	Sin	Con
Cantidad de biomasa (CB)	37,5 g	75 g

Procesado se usó una fracción de residuo triturado; Cantidad de biomasa que estima el total de material biológico.

Tabla 7. Interacciones posibles del experimento.

Matriz del experimento					Tratamiento
	HI	EF	PRV	CB	*Control
1	-	-	-	-	1
2	+	-	-	-	HI
3	-	+	-	-	EF
4	+	+	-	-	HI, EF
5	-	-	+	-	PRV
6	+	-	+	-	HI, PRV
7	-	+	+	-	EF, PRV
8	+	+	+	-	HI, EF, PRV
9	-	-	-	+	CB
10	+	-	-	+	HI, CB
11	-	+	-	+	EF, CB
12	+	+	-	+	HI, EF, CB
13	-	-	+	+	PRV, CB
14	+	-	+	+	HI, PRV, CB
15	-	+	+	+	EF, PRV, CB
16	+	+	+	+	HI, EF, PRV, CB

Control se llevó a cabo a bajas cantidades entre factores; *Hermetia illucens* (HI); *Eisenia foetida* (EF); Procesado de residuos vegetales (PRV); Cantidad de biomasa (CB).

3.11 Análisis estadístico

Para el análisis de datos de porcentaje de proteínas se utilizará el software IBM SPSS Statistics Version 21, donde se aplicará una prueba T para muestras independientes, el cual se usaría para comparar las medias de dos grupos diferentes y determinar si hay una diferencia significativa entre ellas.

Un análisis ANOVA para demostrar la diferencia significativa entre los niveles de los factores propuestos, más la interacción que justamente se evaluará de las proteínas, bioconversión y sinergia, por un periodo de 27 días donde finaliza el experimento propuesto. A este tipo de análisis se le puede realizar también una prueba post hoc (Tukey) que ayudará a crear intervalos de confianza para todas las diferencias en conjunto entre las medias de los niveles de los factores mientras se controla la tasa de error. Para ello, se utilizará el software Minitab 19.2 Portable, donde la hipótesis nula (H_0) abordaría la igualdad de los valores de degradación. Y la hipótesis alternativa (H_a) planteará una diferencia respecto a dichos valores.

Capítulo 4

Resultados y discusión

4.1 Medición de tamaño y peso de organismos HI y EF

4.1.1 Comparación de tamaño entre tratamientos

Al día 26, se tomó al azar un organismo (HE y EF), para comparación de tamaño entre tratamientos. Hay que toma en cuenta, que el experimento se finalizó a los 26 días porque en el tratamiento 15 y 16, las larvas ya estaban transformándose en moscas.

Como se muestra en la figura 7, el tamaño mayor que logró alcanzar la larva de BSF fue de 3 cm, para los tratamientos 8, 10, 12 y 16. De igual manera, en el anexo 2, se muestra la variación de tamaño entre todos los tratamientos. Del tratamiento 1 al 7 se encontraban en prepupa, mientras que los tratamientos restantes, en pupa. Por tal motivo, al observar que ya estaban entrando en estadio de pupa, se decidió finalizar todo el experimento. En cambio, para la autora Acosta Hernández, (2022), realizó una evaluación de bioconversión con larvas BSL, donde el tiempo de degradación fue de 21 días, en una mezcla de sustratos frescos, cocidos y cárnicos, donde la longitud mayor que alcanzaron las larvas, entre tratamientos, fue de 1,90 cm, siendo un valor menor al que muestra la figura anterior.

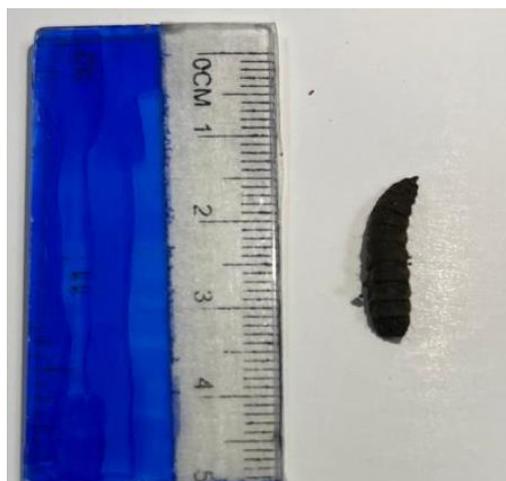


Figura 7. Longitud mayor alcanzada en larvas BSF

La longitud fue medida en cm.

El mismo proceso fue para EF, donde la longitud promedio logró alcanzar los 8 cm, en todos los tratamientos, así como lo muestra la figura 8. Mientras que para el estudio de Rincones et al. (2022), donde en diferentes tipos de sustratos, la longitud promedio es de 6,23 cm, siendo un valor inferior al que se obtuvo en esta experimentación. En anexo 3 se describe la longitud de EF para todos los tratamientos.



Figura 8. Longitud promedio de EF

La longitud fue medida en cm.

4.1.2 Comparación del peso entre HI y EF

A través del análisis, como muestra la figura 9, es evidente que se presenta un patrón de crecimiento logístico, de acuerdo con el avance de los días en la experimentación. Los tratamientos más relevantes para larvas HI, son el 6 y 8, logrando llegar a un peso mayor de 25 g, en estadio de prepupa. Datos que coinciden con la evaluación de lixiviado, y con uno de los tratamientos que generaron cierta cantidad de lixiviado. Además, para el tratamiento 8, quien tuvo mayor peso de larvas, obtuvo una cantidad alta de humedad contenida en el sustrato. En cambio, para Diener et al. (2011) quienes emplearon residuos municipales frescos, a mediana escala, obtuvieron un promedio 252 g por día, en estadio de prepupa.

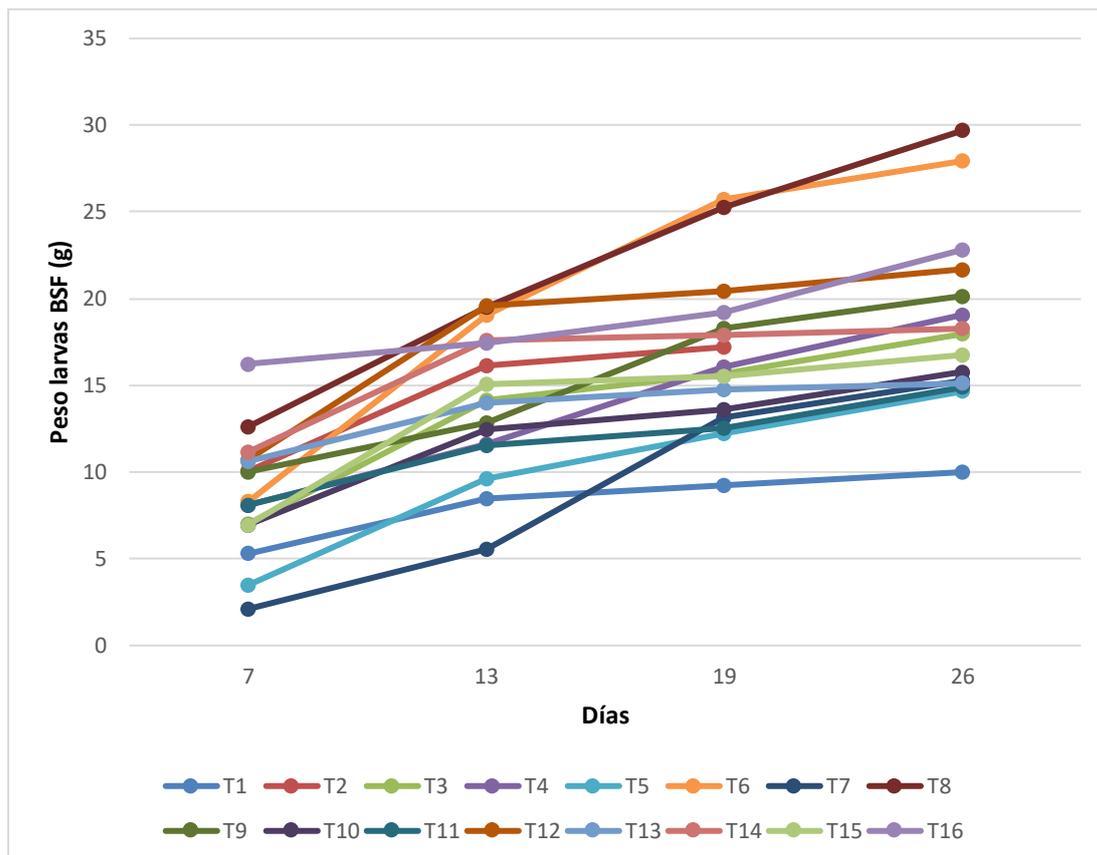


Figura 9. Variación del peso de larvas (HI) con relación al tiempo

La figura ilustra el incremento de tamaño de las larvas en función al tiempo en días, transcurridos, por cada tratamiento.

A pesar de que, el tratamiento 8 obtuvo el mayor peso con relación a HI, obtuvo el tercer lugar con mayor peso para EF, pasando los 10 g, como lo muestra la figura 10. Se estima que, en este tratamiento, al tener un nivel óptimo de HI, EF y procesado de residuo con nivel bajo de cantidad de biomasa, influyó en la rápida degradación de desechos, por lo que, al generar gran cantidad de lixiviado, generaba un excelente ambiente para las lombrices, estableciendo que la tierra de sembrando se mantuviera humedad en todo momento.

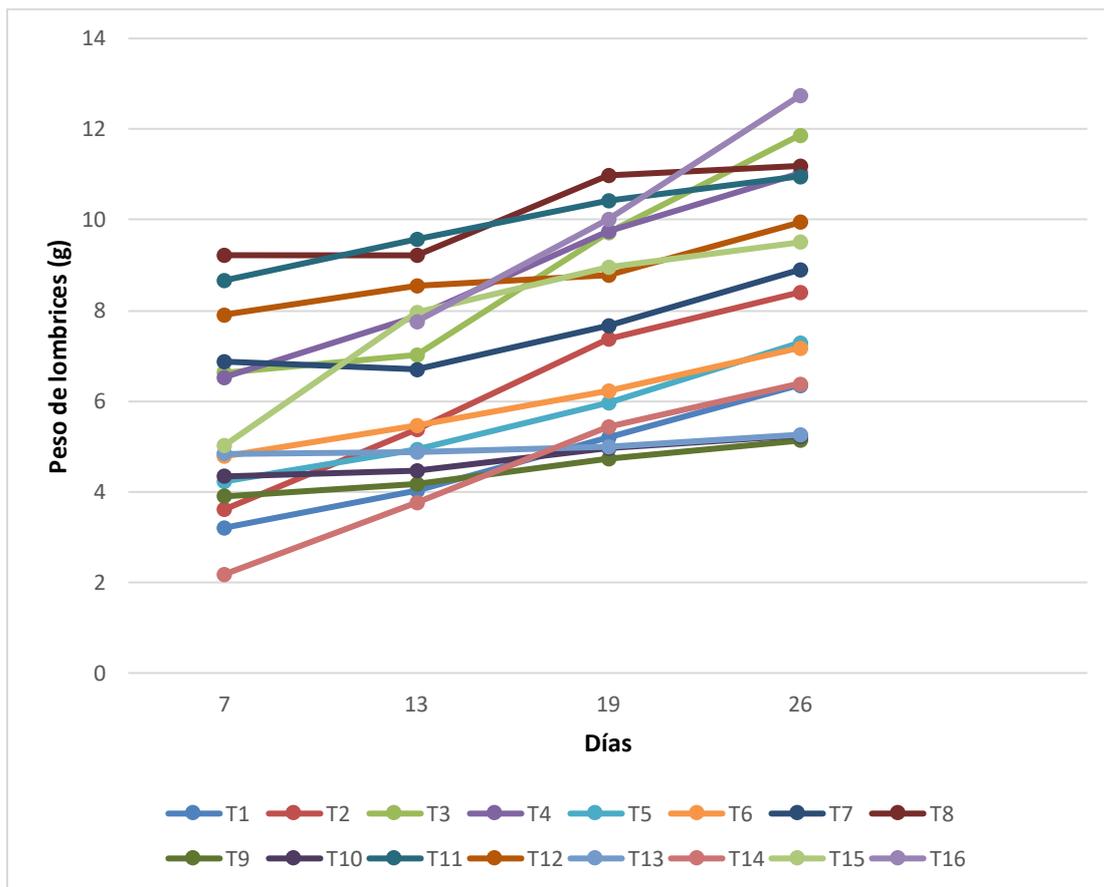


Figura 10. Variación del peso de lombrices (EF) durante el proceso de bioconversión

La figura ilustra el incremento de tamaño de lombrices en función al tiempo en días, transcurridos, por cada tratamiento.

Los tratamientos que no obtuvieron un crecimiento como tal, tan exponencial, no significa que no hubo degradación, más bien, indican que existe un potencial significativo de desarrollo que no ha sido aprovechado al máximo, aquello se podría deber a diversos factores en esta situación, incluyendo la composición de la dieta suministrada, el tiempo de desarrollo larval, el nivel de humedad en el sustrato utilizado y la densidad larval (Siddiqui et al., 2022). Como es el caso de los autores Yuan & Hasan (2022), quienes utilizaron como sustrato desechos de jardín, obteniendo un peso de 7.78 g a los 56 días. Al igual que los autores (Tomberlin & Sheppard, 2002) quienes alimentaron a las larvas HI con desechos de plantas, por 24 días, obteniendo un peso de 0.22 g por larva en estadio de pupa.

Con respecto a la figura 10, establece un día clave para el crecimiento de las lombrices, siendo así el día 13, en donde se marca ese punto inicial de expansión exponencial, para todos los experimentos.

Para el caso de EF, el tratamiento 16 es el que mayor peso reflejó, superando los 12 g, aunque el peso para las lombrices sea menor, es notorio que influyo en la degradación, debido a que, el lixiviado que generó este tratamiento fue absorbido por la tierra de sembrado en el que habitaban las lombrices. Además, el peso de HI para este mismo tratamiento obtuvo el tercer peso mayoritario. Por lo tanto, al tener el nivel óptimo para todos los factores evaluados, fue un ambiente óptimo de degradación rápida por parte de HI y EF, donde cada organismo aprovechó los nutrientes necesarios para su alimentación y crecimiento. Sin embargo, Sharma & Garg (2020), demostraron que, en 20 lombrices lograron alcanzar un peso de 23-59 g en un tiempo estimado de 90 días, alimentados con una mezcla de maleza de partenio y estiércol de búfalo.

A medida que HI y EF se desarrollan, su demanda de nutrientes aumenta, y si no hay suficientes nutrientes disponibles en el sustrato, esto puede limitar su crecimiento posterior.

4.2 Pretratamiento del sustrato

4.2.1 Análisis fisicoquímico

Como muestra figura 11, los valores de pH, del sustrato, al inicio oscila entre el rango de 4-5.5. Mientras que, al día 26 el pH cambia conforme pasan los días con una tendencia positiva, llegando a un valor de 8,24. Los valores finales de pH coinciden con los estudios de Gold et al. (2020); Lalander et al. (2019); Rehman et al. (2017), empleando diferentes tipos de sustratos, en relación con larvas BSF. Sin embargo, para Lalander et al. (2019), los valores de pH finales para los sustratos de comida para aves, perro, frutas y verduras son valores ácidos. En cambio, los valores en compostaje y vermicompostaje, se mantienen en entre 7 a 8,41 (V. K. Garg & Gupta, 2011; Rincones et al., 2022), en residuos vegetales, mezcla de pollinaza y bovinaza con material vegetal. Aunque, para residuos de mazorca de maíz, el pH puede ser ácido (Castillo-González et al., 2021).

El lixiviado después de la bioconversión, fue trasvasado en frascos de vidrio para su almacenamiento y análisis de pH, aunque, solo se obtuvo lixiviado de tres tratamientos 6, 8 y 12, al igual que el control, el promedio de pH fue de 7,29. (V. K. Garg & Gupta, 2011), describe que, el lixiviado que obtuvo después del compostaje fue ácido, al emplear como sustrato residuos de procesamientos

vegetales.

La razón por la que el pH varía en diferentes sustratos es a causa de los componentes nutritivos que contenga el sustrato, ya que, el pH puede cambiar de neutro a alcalino, durante la bioconversión (Čičková et al., 2015). A pesar, del tipo de sustrato que se exponga a las larvas BSF y lombrices, el valor final de pH se encontrará dentro del rango mencionado, ya siendo alcalino o ácido.

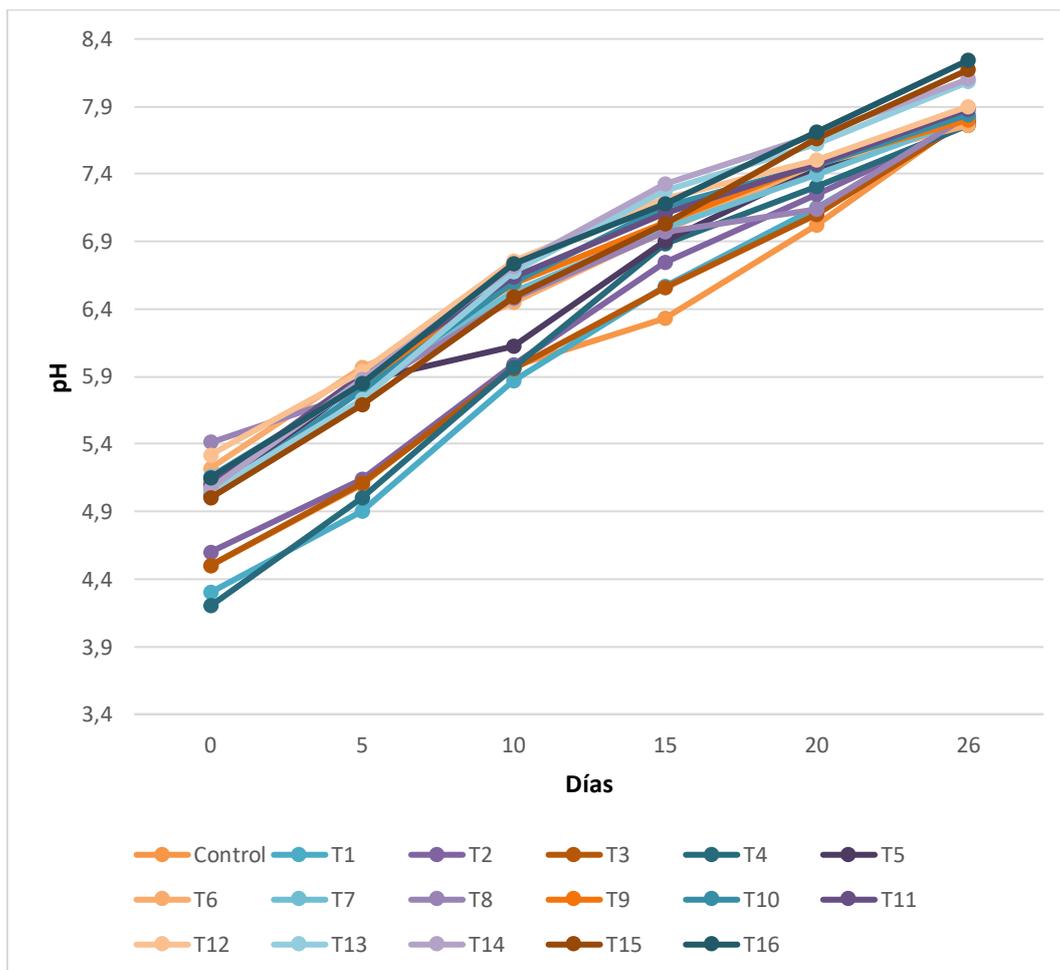


Figura 11. Variación de pH en los sustratos de los tratamientos

Cada tratamiento detalla la cantidad de sustrato contenida.

En cambio, para la humedad, al ser evaluada mediante la técnica de puño, se describió la cantidad de humedad contenida en los sustratos como: poco, medio y alto, como lo muestra la tabla 8. Para el control de HI, fue el control con un alto contenido de humedad que de EF. A pesar de que, en la mayoría de los estudios han realizado sus análisis cuantitativamente, se realizó una estimación para

comparación. Así lo describen los autores Bonelli et al. (2020), quienes obtuvieron valores de humedad, en dos sustratos diferentes, de 55 y 88 g respectivamente. De igual manera, Gold et al., (2020), describieron que el contenido de humedad oscila en los rangos de 70 – 83 Kcal por 100 g de biorresiduos secos.

Tabla 8. Descripción con respecto a la humedad contenida en los sustratos

Tratamiento	Día	Humedad	Tratamiento	Días	Humedad
1	7	Medio	9	7	Medio
	13	Alto		13	Alto
	19	Alto		19	Alto
	26	Medio		26	Alto
2	7	Medio	10	7	Medio
	13	Alto		13	Alto
	19	Alto		19	Alto
	26	Medio		26	Medio
3	7	Medio	11	7	Medio
	13	Alto		13	Alto
	19	Alto		19	Medio
	26	Medio		26	Medio
4	7	Poco	12*	7	Alto
	13	Medio		13	Alto
	19	Medio		19	Alto
	26	Medio		26	Alto
5	7	Poco	13*	7	Alto
	13	Medio		13	Alto
	19	Alto		19	Alto
	26	Medio		26	Alto
6	7	Poco	14*	7	Medio
	13	Alto		13	Alto
	19	Medio		19	Alto
	26	Alto		26	Alto
7	7	Medio	15	7	Alto
	13	Alto		13	Alto
	19	Alto		19	Alto
	26	Medio		26	Medio
8*	7	Medio	16	7	Alto
	13	Alto		13	Alto
	19	Alto		19	Medio
	26	Alto		26	Poco

*Los mejores tratamientos de la sinergia.

Las descripciones se describieron con respecto al tiempo del experimento.

4.3 Parámetros de eficiencia en la bioconversión y sinergia

Para los parámetros de bioconversión que se muestran en la figura 12, resaltan los tratamientos 3 y 4, llegando hasta el 23,11 % de bioconversión de sustrato. No obstante, para los autores (Lalander et al., 2019) reportaron un porcentaje del 15,2 % en residuos de matadero, porcentaje que coincide con el tratamiento 8. En otro estudio donde emplearon heces de humanos como sustrato, lograron una bioconversión del 22,9 %, coincidiendo con los valores obtenidos en desechos vegetales (Banks et al., 2014).

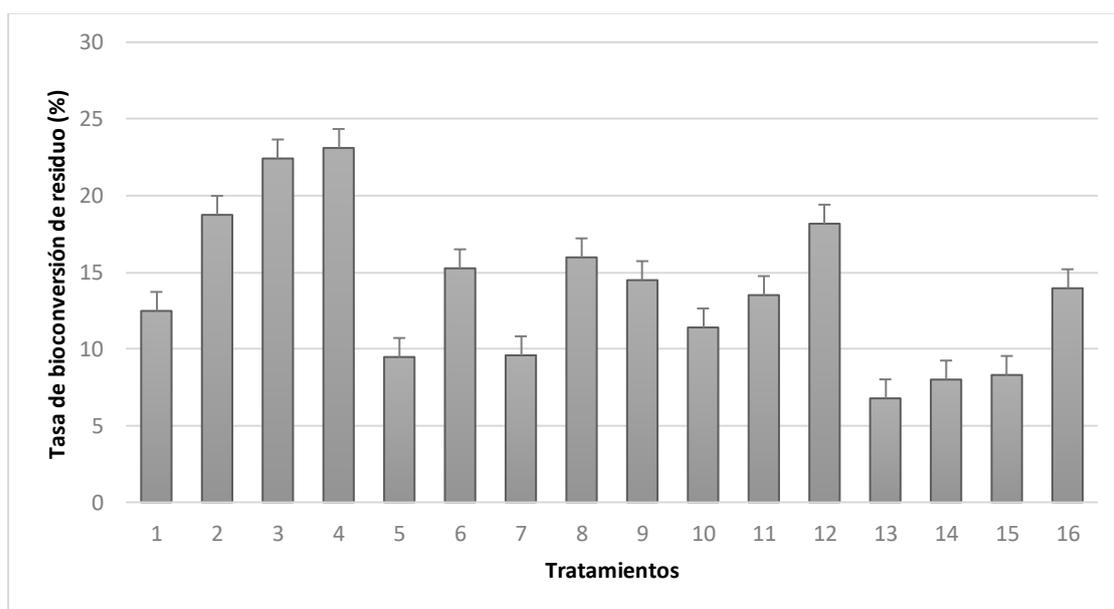


Figura 12. Tasa de bioconversión total por cada tratamiento

La figura muestra los porcentajes de bioconversión de sustrato.

En la evaluación de eficiencia de la sinergia se tomaron en cuenta tres parámetros, así como muestra la tabla 9. Para el porcentaje de sustrato reducido, destacan los tratamientos 7, 8, 10, 11, 13, 14 y 15, alcanzando más del 90 %. En cambio, al emplear comida de pollo como sustrato para larvas BSF, se obtuvo un 41,8 % reducido (Diener et al., 2009), mientras que, para EF, empleando como sustrato pulpa de café y vacaza, alcanza hasta un 97 % (Rodríguez, 1996), siendo un valor alto en comparación al que se obtuvo en la sinergia.

Tabla 9. Parámetros para evaluar la eficiencia en la sinergia por cada tratamiento

Tratamientos	Sustrato reducido (%)	Tasa de supervivencia (%)	Tasa de multiplicación (%)

T1	80,37	95,45	118,75*
T2	83,80	100*	131,25*
T3	81,60	99,55	100,00
T4	79,88	98,50	100,00
T5	84,09	90,91	100,00
T6	83,58	100	100,00
T7	91,57*	86,36	100,00
T8	92,95*	100*	100,00
T9	87,03	100*	100,00
T10	91,92*	100*	100,00
T11	92,42*	100*	100,00
T12	86,83	100*	100,00
T13	94,82*	100*	100,00
T14	94,50*	100*	100,00
T15	95,08*	100*	100,00
T16	81,42	100*	109,38*

*Valores significativos en la sinergia.

No obstante, para la tasa de supervivencia, solo se evaluó a las larvas BSF, por lo que, en estado larvario no se pueden multiplicar. Mientras que, para las lombrices, solo se evalúa la tasa de multiplicación. En los tratamientos 2, 8-16 se mantuvo el 100 % de supervivencia de larvas BSF, caso contrario, para los tratamientos restantes. Aunque en diferentes estudios (Banks et al., 2014; Gold et al., 2020; Z. Liu et al., 2018) reportaron una tasa de supervivencia de hasta el 98,1%, y un mínimo de 87,3, siendo un valor mayor al del tratamiento 7.

Caso contrario para la tasa de multiplicación en EF, solo los tratamientos 1, 2 y 16 sobrepasan el 100 %, superando hasta el 131,25 %, es decir que las lombrices lograron reproducirse en un plazo de 26 días. Aunque, en el resto de los tratamientos aparente no haber multiplicación, resulta que se encontraban varios cocones dentro de cada organizador (anexo 4). Sin embargo, para los autores Rincones et al. (2022) obtuvieron hasta el 1164,9 % referente a la tasa de multiplicación, en sustrato de estiércol bovino.

4.4 Porcentaje de proteínas

La tabla 10, muestra los resultados del análisis del contenido de proteína en cada uno de los organismos descomponedores (HI, EF).

Tabla 10. Rendimiento de proteínas

Tratamientos	HI	EF
T1	48,21±0,03	40,46±0,07
T2	43,53±0,04	45,84±0,05
T3	48,40±0,05	44,21±0,07
T4	47,71±0,02	41,21±0,07
T5	48,21±0,05	44,40±0,03
T6	48,53±0,07	46,40±0,02
T7	48,40±0,08	47,15±0,01
T8	51,46±0,04	45,59±0,04
T9	46,21±0,07	46,96±0,08
T10	50,28±0,03	27,09±0,03
T11	47,65±0,03	44,03±0,02
T12	43,65±0,06	46,84±0,02
T13	49,21±0,02	47,90±0,01
T14	50,03±0,04	48,03±0,02
T15	44,65±0,03	44,09±0,01
T16	47,90±0,01	48,46±0,01
Control	47,84±0,01	49,09±0,01

Hermetia illucens (HI); *Eisenia foetida* (EF).

En este proyecto, se examinó la proporción proteica presentes en las larvas de la mosca soldado negro durante su penúltimo estadio (prepupa) y último estadio (pupa). Al mismo tiempo, se consideró la etapa final de desarrollo de las lombrices californianas (adultas). En ambos casos, se proporcionaron alimentos a base de sustratos vegetales, los cuales fueron suministrados tanto en forma triturada como en su estado natural. Huyben et al., (2019) considera mucho los ciclos de vida en los organismos descomponedores como un factor crucial en la influencia de la calidad de la composición nutricional por poseer propiedades bioquímicas, las cuales ejercen un impacto directo en la calidad de la proteína obtenida a partir de las larvas y en las tasas de conversión biológica del proceso.

Los resultados de la tabla 10 son derivados de la evaluación de la harina de proteína, en donde se revela que las larvas alimentadas con desechos vegetales presentaron un incremento en el contenido de proteínas, registrando un máximo de 51,46 % en el tratamiento 8 y un mínimo de 43,53 % en el tratamiento 2. En contraste, con el caso de las lombrices, el porcentaje más alto de proteína se observó en el grupo de control con un 49,09 %, mientras que el valor más bajo se presentó de manera notable en un 27,09 %, respecto al tratamiento 10. Estos resultados indican diferencias significativas en los niveles de proteína en función de las condiciones de los tratamientos, con las larvas

mostrando un mayor rango de variabilidad en comparación con las lombrices.

A través de investigaciones, Liu et al., (2017) ha observado que el porcentaje de proteínas de las larvas varían considerablemente en función de la etapa de vida en la que se encuentren. En las larvas recién nacidas, se ha informado de un contenido de proteína del 56 %. Sin embargo, este valor disminuye en las etapas larvales posteriores, llegando al 38 %. Luego, se registra un aumento sustancial en las larvas maduras, alcanzando un 39,2 %. Este contenido proteico continúa incrementándose hasta alcanzar un 40,4 % en la etapa prepupal y un 46,2 % en la etapa de pupa. En cuanto, a las lombrices suelen considerarse porcentajes que oscilen en un rango de 50-75 % siendo un alto contenido proteico en su estadio adulto reproductivo (Pires, 2013).

En relación con el presente proyecto, las larvas utilizadas si reflejaron esta tendencia, sugiriendo que hay un aumento significativo en el contenido de proteína desde el penúltimo estadio hasta el último y las lombrices se ven influenciadas por el tipo de alimento en el sustrato.

Experimentos llevados a cabo con sustratos similares a los utilizados en este proyecto han proporcionado larvas con valores de contenido semejantes a los obtenidos en nuestra investigación. Lalander et al. (2019) informa un contenido de proteína de 41,3 % para larvas alimentadas con residuos de frutas y verduras. Del mismo modo, Spranghers et al. (2017) señala valores de proteína de 43,1 % en larvas alimentadas con restos de restaurantes. Con respecto a las lombrices californianas, Castañeda Chávez et al. (2019) hace un análisis bromatológico de la harina y específica que de todos sus tratamientos el sexto es el que resulta alcanzar un 51,79 % de proteínas en un estrato compuesto por materia orgánico y estiércol de animales vacunos.

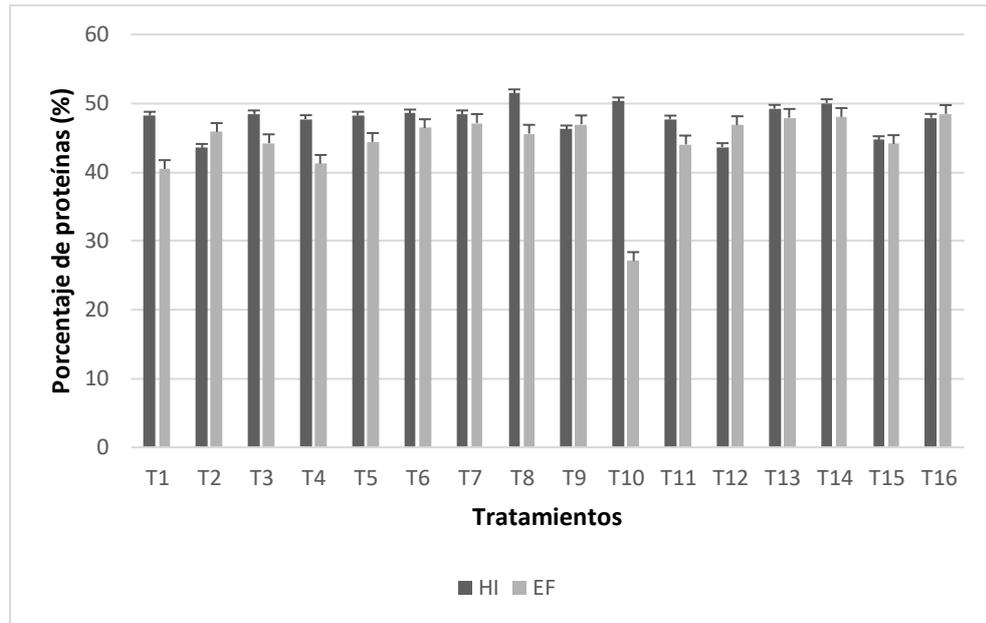


Figura 13. Porcentaje de proteínas en lombrices y larvas

Los valores individuales del promedio de ambas especies junto a su margen de error de la tabla 10. *Hermetia illucens* (HI); *Eisenia foetida* (EF).

En el anexo 8 el porcentaje de proteína promedio de 17 muestras de harina de *Hermetia illucens* (HI) es de 47,75 g; para el restante promedio de harina de *Eisenia foetida* (EF) muestra una cifra menor de 44,57 g. Por consiguiente, para saber si existen diferencias significativas se procede a plantearnos hipótesis nula y alternativas para contrastar ambas variables.

Los resultados de la mosca soldado-negra tienen un valor de p (0.024), de manera análoga para las lombrices californianas p ($0.027 < 0.05$); los dos organismos datan un nivel de significancia menor al propuesto por lo que se dice que existe evidencia para rechazar H_0 , de tal manera se concluye que si contienen porcentajes significantes de proteínas.

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1 Conclusiones

- El pH cambia de manera considerable de ácido a alcalino, durante la bioconversión, siendo influenciado por la composición del sustrato, mientras que la humedad varió en sus datos cualitativos según el alimento que se le suministro a las especies.
- Esta investigación demostró que la sinergia entre la mosca soldado-negra y la lombriz californiana es un enfoque efectivo para la bioconversión de desechos vegetales, superando el alcance de degradación individual de las especies. Las tasas de bioconversión fueron elevadas, reduciendo de forma constante el sustrato proporcionado.
- El contenido proteico de larvas BSF fue mayor al de las lombrices EF, a pesar de que ambas fueron alimentadas con restos vegetales. Este fenómeno sugiere que varios factores influyen en los niveles de proteína, como los ciclos de vida idóneos, la calidad de la composición nutricional, las condiciones ambientales y las tasas de conversión biológicas del proceso.
- Los hallazgos obtenidos respaldan la viabilidad de emplear diferentes organismos descomponedores como una estrategia sostenible para la gestión de residuos orgánicos en el contexto de la red municipal de Guayaquil y su posibilidad de aplicación en otras ciudades de la costa y regiones del país.

5.2 Recomendaciones

- Realizar múltiples réplicas biológicas, como mínimo tres en el experimento, para aumentar la precisión y la fiabilidad con respecto a las medidas estadísticas de variabilidad, las cuales proporcionarán una base más sólida para hacer inferencias y generalizaciones sobre los pesos, porcentajes de bioconversión y proteínas.
- Comparar el porcentaje de proteínas tanto de las larvas de la mosca soldado-negra como de la lombriz californiana con diferentes técnicas de extracción de proteína

animal.

- Optar por la solarización de residuos vegetales durante 48 horas en lugar de 72, debido a la pérdida de humedad y descomposición excesiva de la materia orgánica por las altas temperaturas en Guayaquil.
- Efectuar un análisis de macronutrientes presentes en el sustrato y lixiviado, así como una identificación o un perfil del tipo de proteínas que contiene cada uno de los organismos descomponedores.
- Promover la comercialización de los lixiviados derivados de la bioconversión de los residuos vegetales, como idea eco amigable, debido a sus numerosas ventajas para la agricultura en contraste con otros fertilizantes químicos.
- La temperatura tiene que permanecer en un rango de 21 a 24 °C, para evitar contaminación cruzada y mantener un ambiente óptimo para las especies.

Bibliografía

- Acosta Hernández, M. C. , & G. M. V. (2022). *Evaluación del contenido proteico de las larvas de mosca soldado negro (Hermetia Illucens Sp.) Durante el proceso de degradación de biorresiduos* . Fundación Universidad de América.
- Aminian, M., Nabatchian, F., Vaisi-Raygani, A. & Torabi, M. (2013). Mechanism of Coomassie Brilliant Blue G-250 binding to cetyltrimethylammonium bromide: An interference with the Bradford assay. *Analytical Biochemistry*, 434(2). <https://doi.org/10.1016/j.ab.2012.11.014>
- B. Jill Venton. (2018, 12. September). *Ultraviolet-Visible (UV-Vis) Spectroscopy: Principle and Uses* . Jove.
- Banks, Ian J., Gibson, W. T. & Cameron, M. M. (2014). Growth rates of black soldier fly larvae fed on fresh human faeces and their implication for improving sanitation. *Tropical Medicine and International Health*, 19(1), 14–22. <https://doi.org/10.1111/tmi.12228>
- Banks, Ian John. (2014). To assess the impact of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae on faecal reduction in pit latrines. *Dissertations and Theses*, 2014.
- Barrett, M., Chia, S. Y., Fischer, B. & Tomberlin, J. K. (2023). Welfare considerations for farming black soldier flies, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): a model for the insects as food and feed industry. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9(2). <https://doi.org/10.3920/JIFF2022.0041>
- Bonelli, M., Bruno, D., Brilli, M., Gianfranceschi, N., Tian, L., Tettamanti, G., Caccia, S. & Casartelli, M. (2020). Black soldier fly larvae adapt to different food substrates through morphological and functional responses of the midgut. *International Journal of Molecular Sciences*, 21(14), 1–27. <https://doi.org/10.3390/ijms21144955>
- Borba, N. (2008). La papa un alimento básico. In *RAP - AL Uruguay*.
- Cabrera, D. & Lopez, A. L. (2021a). Evaluación de la larva de mosca soldado negra (*hermetia illucens*) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos. *Fundación Universidad de América*.
- Cabrera, D. & Lopez, A. L. (2021b). Evaluación de la larva de mosca soldado negra (*hermetia illucens*) como alternativa para la degradación de residuos sólidos urbanos. *Fundación Universidad de América*.
- Camba Ariana. (2021). OBTENCIÓN DE HARINA DE LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida*) PARA LA ELABORACIÓN Y MEJORAMIENTO DEL VALOR PROTEICO DE UN PAN ARTESANAL. *Revista Científica Aristas*, 3(2), 1–26.
- Cantuta Sangalli, R. T. (2015). *Efecto del abono orgánico líquido de humus en la producción de forraje verde hidropónico de cebada (Hordeum Vulgare) en condiciones de invernadero*.
- Carbajal Azcona, Á. (2016). La cebolla, una aliada para tu salud. *Universidad Complutense de Madrid*, 1.
- Caruso, D. , D. E. , S. I. W. , T. P. , & B. E. (2014). Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) *Hermetia illucens*, Stratiomyidae. . *IRD Edition, Marseille*.
- Castañeda Chávez, V. M., Guivin Guadalupe, A. L. & Cuzco Mas, E. (2019). Evaluación de diferentes sustratos en la alimentación de la lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*) a efectos de mejorar su producción. *Revista de Investigación de Agroproducción Sustentable*, 3(2). <https://doi.org/10.25127/aps.20192.490>
- Castaño Castillo, J. del R. (2013). *Aprovechamiento de los residuos orgánicos generados en la Facultad de Planeación Urbana y Regional UAEMEX, mediante la técnica del vermicompostaje*. Universidad Autónoma del Estado de México.
- Castellanos, Z. , J. (2013). *Los Micronutrientes en la Nutrición de Maiz* . INTAGRI S.C.
- Castillo-González, E., De Medina-Salas, L., Giraldo-Díaz, M. R. & Sánchez-Noguez, C. (2021). Vermicomposting: A valorization alternative for corn cob waste. *Applied Sciences (Switzerland)*, 11(12). <https://doi.org/10.3390/app11125692>
- Chango Aguilar, D. A. (2011). *Establecimiento de un Plan de Manejo Sostenible para la Producción*

- de Lombriz en el Oriente Ecuatoriano (Puyo)* . Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Chávez-Estudillo, V., Valencia-Ordoñez, A., Córdova-Nieto, C., Flores Estévez, N., Jarillo-Rodríguez, J. & Noa Carrazana, J. C. (2017). Lixiviados de Raquis de Plátano: Obtención y Usos Potenciales. *Cuadernos de Biodiversidad*, 53. <https://doi.org/10.14198/cdbio.2017.53.01>
- Cheng, J. Y. K., Chiu, S. L. H. & Lo, I. M. C. (2017). Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion. *Waste Management*, 67. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2017.05.046>
- Cherlinka, V. (2022). Fijación Biológica De Nitrógeno: Beneficios De Su Uso. . *EOS Data Analytics*.
- Čičková, H., Newton, G. L., Lacy, R. C. & Kozánek, M. (2015a). The use of fly larvae for organic waste treatment. In *Waste Management* (Vol. 35). <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026>
- Čičková, H., Newton, G. L., Lacy, R. C. & Kozánek, M. (2015b). The use of fly larvae for organic waste treatment. In *Waste Management* (Vol. 35, pp. 68–80). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2014.09.026>
- Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Acuti, G., Marangon, A. & Dalle Zotte, A. (2018). Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: Meat proximate composition, fatty acid and amino acid profile, oxidative status and sensory traits. *Animal*, 12(3). <https://doi.org/10.1017/S1751731117001860>
- Cullere, M., Tasoniero, G., Giaccone, V., Miotti-Scapin, R., Claeys, E., De Smet, S. & Dalle Zotte, A. (2016). Black soldier fly as dietary protein source for broiler quails: Apparent digestibility, excreta microbial load, feed choice, performance, carcass and meat traits. *Animal*, 10(12). <https://doi.org/10.1017/S1751731116001270>
- Cummins, V. C., Rawles, S. D., Thompson, K. R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J. & Webster, C. D. (2017). Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture*, 473. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.022>
- De células, C. (2021, 21. October). El método de Bradford para cuantificar proteínas (cuantificación celular indirecta). *Altevista*.
- Díaz, D., Cova, L. J., Castro, A., García, D. E. & Perea, F. (2009). DINÁMICA DEL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE LA LOMBRIZ ROJA CALIFORNIANA (*Eisenia foetida* Sav.) EN CUATRO SUSTRATOS A BASE DE ESTIÉRCOL BOVINO. *Agricultura Andina*, 15.
- 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/TABLES/4>
- Diener, S., Zurbrügg, C. & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. *Waste Management and Research*, 27(6), 603–610. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>
- Domínguez, J. & Gómez-Brandón, M. (2010). Ciclos de vida de las lombrices de tierra aptas para el vermicompostaje. *ACTA ZOOLOGICA MEXICANA (N.S.)*, 26. <https://doi.org/10.21829/azm.2010.262896>
- Eia, U. S. (2013). US Energy Information Administration, Washington, DC. *Annual Energy Outlook 2013*.
- Escobar Carvajal, A. (2015). *Usos potenciales del humus (abono orgánico lixiviado y sólido) en la empresa Fertilombriz* . Corporación Universitaria Lasallista.
- Escudero Andino, J. J. , & P. M. S. G. (2019). *Plan de Manejo Integral de Residuos Sólidos generados en Plazas y Mercados del Cantón Salcedo, Provincia de Cotopaxi, período 2018* . Universidad Técnica de Cotopaxi (UTC)).
- G Del Hierro, A., Anrango, M. J., Ortiz, D. & Sánchez, L. (2021). Captura y cría de la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) para la biodegradación de desechos orgánicos en Puerto Quito, Ecuador. *Ecuadorian Science Journal*, 5(3). <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.164>
- Galassi, G., Jucker, C., Parma, P., Lupi, D., Crovetto, G. M., Savoldelli, S. & Colombini, S. (2021). Impact of Agro-industrial Byproducts on Bioconversion, Chemical Composition, in vitro Digestibility, and Microbiota of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae. *Journal of Insect Science*, 21(1). <https://doi.org/10.1093/jisesa/ieaa148>

- Garg, P., Gupta, A. & Satya, S. (2006). Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. *Bioresource Technology*, 97(3), 391–395. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2005.03.009>
- Garg, V. K. & Gupta, R. (2011a). Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(1), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.015>
- Garg, V. K. & Gupta, R. (2011b). Optimization of cow dung spiked pre-consumer processing vegetable waste for vermicomposting using *Eisenia fetida*. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 74(1), 19–24. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2010.09.015>
- Gioffre, P. (2022, 23. November). *Propiedades del Aceite de lombriz Roja*. . Cosmetic Latam.
- Giroto, F. & Cossu, R. (2019). Role of animals in waste management with a focus on invertebrates' biorefinery: An overview. In *Environmental Development* (Vol. 32). <https://doi.org/10.1016/j.envdev.2019.08.001>
- Gold, M., Cassar, C. M., Zurbrügg, C., Kreuzer, M., Boulos, S., Diener, S. & Mathys, A. (2020a). Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, 102, 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>
- Gold, M., Cassar, C. M., Zurbrügg, C., Kreuzer, M., Boulos, S., Diener, S. & Mathys, A. (2020b). Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, 102, 319–329. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.036>
- Guamaní Chiluiza Miguel Ángel & Quintana Molina Ángel Paúl. (2016). *Elaboración de un balanceado a partir de desechos vegetales brócoli (Brassica oleracea) y zanahoria (Daucus carota) a tres concentraciones fortificado con alfalfa (Medicago sativa l.) y pecutrin para cuyes de engorde*. Unidad Académica de Ciencias Agropecuarias y Recursos Naturales.
- Heidy Wagner Lacleite. (2019, 2. December). *Usos industriales de la lombriz roja californiana*. . México Ambiental.
- 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>
- Huaccha, A. (2019). Uso de la *Eisenia hortensis* (lombriz de tierra) en el vermicompostaje de residuos orgánicos. *Revista Científica Pakamuros*, 7(2). <https://doi.org/10.37787/pakamuros-unj.v7i2.91>
- Huyben, D., Vidaković, A., Werner Hallgren, S. & Langeland, M. (2019). High-throughput sequencing of gut microbiota in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) fed larval and pre-pupae stages of black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Aquaculture*, 500. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2018.10.034>
- Inversanet. (2011). *CICLO BIOLÓGICO Y DESARROLLO DE EISENIA FOETIDA (LOMBRIZ ROJA)*.
- 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, 151–160. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.09.017>
- Jaramillo Henao, G. , & Z. M. L. M. (2008). *Aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos en Colombia*. UNIVERSIDAD DE ANTIOQUIA.
- Jaramillo, T. & Muñoz, M. (2018). Diseño, construcción y automatización de un extractor de lixiviados a partir de humus de lombriz californiana (*eiseniafoetida*)". *Escuela Superior Politécnica de Chimborazo*.
- Karmegam, N. & Daniel, T. (2009). Growth, reproductive biology and life cycle of the vermicomposting earthworm, *Perionyx ceylanensis* Mich. (Oligochaeta: Megascolecidae). *Bioresource Technology*, 100(20). <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.05.004>
- Kevin Gonzalez. (2022, 9. September). *Uso de Harina de lombriz en la alimentación animal*. Zoovet Es Mi Pasión.
- Kumar, S., Negi, S., Mandpe, A., Singh, R. V. & Hussain, A. (2018). Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable

- wastes - A comprehensive review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 227). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.08.096>
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C. & Vinnerås, B. (2019a). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>
- Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C. & Vinnerås, B. (2019b). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211–219. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.017>
- Laserna, S. (2013, 3. August). *Abonado de Col, extracciones y Dosis de Nutrientes para fertilización con Nitrógeno, Fósforo y Potasa*. . Agroes.Es.
- Lezcano, J. F. & Borjas, G. J. (2017). Optimización en la elaboración de harina de lombriz (*Eisenia foetida*) como fuente proteica en alimento para alevines de tilapia (*Oreochromis* sp.). *Escuela Agrícola Panamericana*.
- Liu, X., Chen, X., Wang, H., Yang, Q., Ur Rehman, K., Li, W., Cai, M., Li, Q., Mazza, L., Zhang, J., Yu, Z. & Zheng, L. (2017). Dynamic changes of nutrient composition throughout the entire life cycle of black soldier fly. *PLoS ONE*, 12(8). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0182601>
- Liu, Z., Minor, M., Morel, P. C. H., Najar-Rodriguez, A. J. & Brent, C. (2018). *Bioconversion of Three Organic Wastes by Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae*. <https://doi.org/10.1093/ee/nvy141>
- LUNA-CANCHARI, G. & MENDOZA-SOTO, N. (2020). Condiciones ambientales y microorganismos adecuados para la obtención de humus de calidad y su efecto en el suelo agrícola. *Revista de Investigación Ciencia, Tecnología y Desarrollo*, 6(1). <https://doi.org/10.17162/rictd.v6i1.1405>
- M. Cepeda. (2021). *Elaboración y Caracterización de Bioplásticos a partir de Cáscaras de Yuca (Manihot esculenta) para la envoltura de alimentos*. Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.
- Ma, J., Lei, Y., Rehman, K. U., Yu, Z., Zhang, J., Li, W., Li, Q., Tomberlin, J. K. & Zheng, L. (2018). Dynamic Effects of Initial pH of Substrate on Biological Growth and Metamorphosis of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 47(1). <https://doi.org/10.1093/ee/nvx186>
- Magalhães, R., Sánchez-López, A., Leal, R. S., Martínez-Llorens, S., Oliva-Teles, A. & Peres, H. (2017). Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture*, 476. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.04.021>
- Mamani Lima, W. (2016). *Producción de humus de lombriz roja californiana (Eisenia foetida) con alimentación de estiércoles de animales en el vivero forestal de la prelatura de Corocoro en Patacamaya provincia Aroma La Paz*.
- Mónica Mendoza Saltos. (2021, 26. November). Ecuador abre la primera productora de mosca “soldado negro” de América Latina. *Forbes Ecuador*.
- Moreno Cornejo, J. (2013). *Valorización agronómica de restos de pimiento: influencia en las propiedades del suelo y producción de brócoli*. Universidad Politécnica de Cartagena .
- Mosquera, J. (2019, 13. June). *Cuantificación de proteínas con Espectrofotometría UV-VIS*. . Cromtek.
- Naciones Unidas. (2015). *Objetivos y metas de desarrollo sostenible*. Naciones Unidas.
- Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K. & Vanlaerhoven, S. (2013). Influence of resources on hermetia illucens. (diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4). <https://doi.org/10.1603/ME12260>
- Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K. & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae to Recycle Food Waste. *Environmental Entomology*, 44(2). <https://doi.org/10.1093/ee/nvv002>
- OCHOA RODRÍGUEZ, A. (2021). *Evaluación Teoría Del Uso De Harina De Lombriz Roja Californiana (Eisenia Foetida) En Dietas Para Pollos De Engorde En Cundinamarca*.
- Olivares, A. B., Bernal, M. J., Ros, G., Martínez, C. & Periago, M. J. (2006). Calidad de los datos del contenido en ácido fólico en vegetales recogidos en varias tablas de composición de alimentos

- españolas, y nuevos datos sobre su contenido en folatos. *Nutricion Hospitalaria*, 21(1).
- Park, H. H. (2016). Black Soldier Fly Larvae Manual. In *Student Showcase* (Vol. 14).
- Pires, M. B. (2013). *Harina de lombriz: una alternativa saludable para nuestra alimentación*.
- Purkayastha, D. & Sarkar, S. (2021). Sustainable waste management using black soldier fly larva: a review. *International Journal of Environmental Science and Technology* 2021 19:12, 19(12), 12701–12726. <https://doi.org/10.1007/S13762-021-03524-7>
- Quintero Rodríguez, R. (2008). *La lombricultura como una alternativa para el aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos. Caso de estudio. Barrio de Santiaguito, municipio de Texcoco, Edomex*. Instituto Nacional Politecnico.
- R González, A. F. A. H. A. C. M. M. J. A. (2013). Estudio de degradación de residuos orgánicos utilizando la larva de la mosca soldado negra - *Hermetia illucens* L. – 2. Desarrollo experimental. *Potencial Químico, Revista de Ingeniería Química*, .
- Rehman, K. ur, Hollah, C., Wiesotzki, K., Rehman, R. ur, Rehman, A. U., Zhang, J., Zheng, L., Nienaber, T., Heinz, V. & Aganovic, K. (2023). Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential innovative and environmentally friendly tool for organic waste management: A mini-review. In *Waste Management and Research* (Vol. 41, Issue 1). <https://doi.org/10.1177/0734242X221105441>
- Rehman, K. ur, Rehman, A., Cai, M., Zheng, L., Xiao, X., Somroo, A. 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, 366–373. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.04.019>
- Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A. & Parra, C. (2022). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Información Tecnológica*, 34(2), 11–20. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642023000200011>
- Rincones, P. A., Zapata, J. E., Figueroa, O. A. & Parra, C. (2023). Evaluación de sustratos sobre los parámetros productivos de la lombriz roja californiana (*Eisenia fetida*). *Información Tecnológica*, 34(2). <https://doi.org/10.4067/s0718-07642023000200011>
- Ritika, P., Satyawatiand, S. & Rajendra, P. (2015). Study on occurrence of black soldier fly larvae in composting of kitchen waste. *International Journal of Research in Biosciences*, 4(4).
- Rivera-Arredondo. (2018). Producción in vitro de cocones de la especie *Eisenia foetida* en diferentes sustratos. *Revista de Sistemas Experimentales*, 5, 147–11.
- Rodríguez, A. (1996). *Producción y Calidad de Abono Orgánico por Medio de la Lombriz Roja Californiana (Eisenia Foetida) y su Capacidad Reproductiva*.
- 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. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.154>
- SAMANTA TROPA. (2013). NODO HORTÍCOLA LOS RIOS FICHA TECNICA ACELGA. *Instituto Nacional de Investigación y Tecnología Agraria y Alimentaria*.
- Sánchez Bandera, J. M. (2017). *Vermicompostaje de residuos orgánicos con lombrices del género Eisenia spp: Proceso y caracterización del producto*. Universidad Mayor de San Andrés.
- Sara Montoya Sanchez. (2021, 14. April). *Humus de lombriz, beneficios para el suelo*. Tecnicrop.
- Segura Cazorla, M. (2015). *Composición bromatológica hermetia illucens*. UNIVERSIDAD DE ALMERÍA.
- Sharma, K. & Garg, V. K. (2020). Conversion of a toxic weed into vermicompost by *Eisenia fetida*: Nutrient content and earthworm fecundity. *Bioresource Technology Reports*, 11. <https://doi.org/10.1016/j.biteb.2020.100530>
- Siddiqui, S. A., Fernando, I., Nisa', K., Shah, M. A., Rahayu, T., Rasool, A. & Aidoo, O. F. (2023). Effects of undesired substances and their bioaccumulation on the black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae)—a literature review. In *Environmental Monitoring and Assessment* (Vol. 195, Issue 7). <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11186-w>
- Siddiqui, S. A., Ristow, B., Rahayu, T., Putra, N. S., Widya Yuwono, N., Nisa', K., Mategeko, B., Smetana, S., Saki, M., Nawaz, A. & Nagdalian, A. (2022). Black soldier fly larvae (BSFL) and

- their affinity for organic waste processing. In *Waste Management* (Vol. 140, pp. 1–13). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.12.044>
- Singh, A. & Kumari, K. (2019). An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review. In *Journal of Environmental Management* (Vol. 251). <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109569>
- Siura Cespedes, S., Reynafarje, X. & Avila, F. (2014). Evaluación de la incorporación de residuos de cosecha sobre la producción orgánica de albahaca (*Ocimum basilicum* L.) en el valle de Mala. *Anales Científicos*, 75(2). <https://doi.org/10.21704/ac.v75i2.976>
- Swati, A. & Hait, S. (2018). A Comprehensive Review of the Fate of Pathogens during Vermicomposting of Organic Wastes. *Journal of Environmental Quality*, 47(1), 16–29. <https://doi.org/10.2134/jeq2017.07.0265>
- Tomberlin, J. K. & Sheppard, D. C. (2002). Factors influencing mating and oviposition of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) in a colony. *Journal of Entomological Science*, 37(4), 345–352. <https://doi.org/10.18474/0749-8004-37.4.345>
- Traxco. (2018, 25. January). *Habas, producción y mejora de suelo*.
- UASP. (2018). *Guía Técnica para el aprovechamiento de residuos orgánicos a través de metodologías de compostaje y lombricultura*.
- Universidad Nacional de Quilmes. (2008). *Extracción y cuantificación de proteínas*.
- Vallejo, J. R. & González, J. A. (2013). Las lombrices de tierra en la medicina popular Española: Contraste con el uso medicinal a través de la Historia. *Medicina Naturista*, 7(2).
- Willington Paredes Ramirez. (2015, 18. March). Desechos y deberes ciudadanos. *Diarios Expreso*.
- Yaashikaa, P. R., Kumar, P. S., Saravanan, A., Varjani, S. & Ramamurthy, R. (2020). Bioconversion of municipal solid waste into bio-based products: A review on valorisation and sustainable approach for circular bioeconomy. *Science of The Total Environment*, 748, 141312. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2020.141312>
- Yadav, A. & Garg, V. K. (2013). Nutrient Recycling from Industrial Solid Wastes and Weeds by Vermiprocessing Using Earthworms. *Pedosphere*, 23(5), 668–677. [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(13\)60059-4](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(13)60059-4)
- Yuan, M. C. & Hasan, H. A. (2022). Effect of Feeding Rate on Growth Performance and Waste Reduction Efficiency of Black Soldier Fly Larvae (Diptera: Stratiomyidae). *Tropical Life Sciences Research*, 33(1), 179. <https://doi.org/10.21315/TLSR2022.33.1.11>

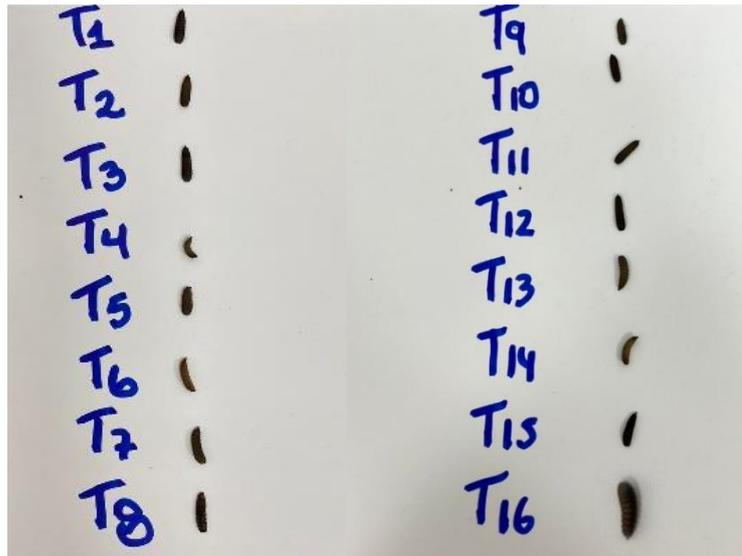
Anexos

Anexo 1. Caracterización de diferentes residuos vegetales

Fichaje crítico			
Residuos vegetales	Nombre científico	Aporte nutricional al suelo	Referencias
Cebolla	<i>Allium cepa</i>	<p>Contiene potasio, calcio, magnesio, fósforo en cantidades apreciables. Así como también posee compuestos sulfurosos, antioxidantes y fibras.</p>	(Carbajal Azcona, 2016)
Plátano	<i>Musa × paradisiaca</i>	<p>Entre los minerales identificables en este tipo de residuos, se pueden destacar el potasio, calcio, hierro y zinc.</p>	(Chávez-Estudillo et al., 2017)
Yuca	<i>Manihot esculenta</i>	<p>Este tipo de residuo alberga minerales como zinc, magnesio, potasio, hierro, fósforo y cobre.</p>	(M. Cepeda, 2021)
Papa	<i>Solanum tuberosum</i>	<p>Los minerales presentes incluyendo su cáscara, se ordenan de la siguiente</p>	(Borba, 2008)

		manera: fósforo, calcio, potasio y hierro.
Tomate	<i>Solanum sect. Lycopersicon</i>	Compuesto por agua, en segundo lugar, por hidratos de carbono, este residuo también contiene potasio y magnesio. Alta en fibra. (Cabrera & Lopez, 2021) (Laserna, 2013)
Col	<i>Brassica oleracea var. capitata</i>	potasio, hierro, fosforo y en menor cantidad contiene calcio.
Zanahoria	<i>Daucus carota</i>	Los minerales presentes en este tipo de residuos son: el fósforo, el calcio, betacarotenos, hierro y fibra. (Guamaní Chiluíza Miguel Ángel & Quintana Molina Ángel Paúl, 2016)
Pimiento	<i>Capsicum annuum</i>	Tiene fuentes notables de nitrógeno. También proporcionan tanto fibra como potasio. (Moreno Cornejo, 2013)
Haba	<i>Vicia faba</i>	Rica en fibra, minerales como hierro nitrógeno y magnesio. (Traxco, 2018)

Alverjita	<i>Pisum sativum</i>	<p>Contiene proteínas vegetales, fibra y carbohidratos complejos. Son una fuente de minerales como hierro y zinc. Proporcionan fibra, yodo, potasio, hierro ácido, en cantidades inferiores el fósforo y calcio. Fuente de potasio, fosforo, nitrógeno, azufre, calcio, magnesio microelementos y fibra.</p> <p>(Cherlinka, 2022)</p> <p>(Olivares et al., 2006)</p> <p>(Castellanos, 2013)</p>
Judías verdes	<i>Phaseolus vulgaris</i>	
Choclo	<i>Zea mays</i>	
Acelga	<i>Beta vulgaris var. cicla</i>	<p>Posee betacarotenos y calcio. Abarca compuestos antioxidantes, y contiene manganeso.</p> <p>(SAMANTA TROPA, 2013)</p> <p>(Siura Cespedes et al., 2014)</p>
Albahaca	<i>Ocimum basilicum</i>	

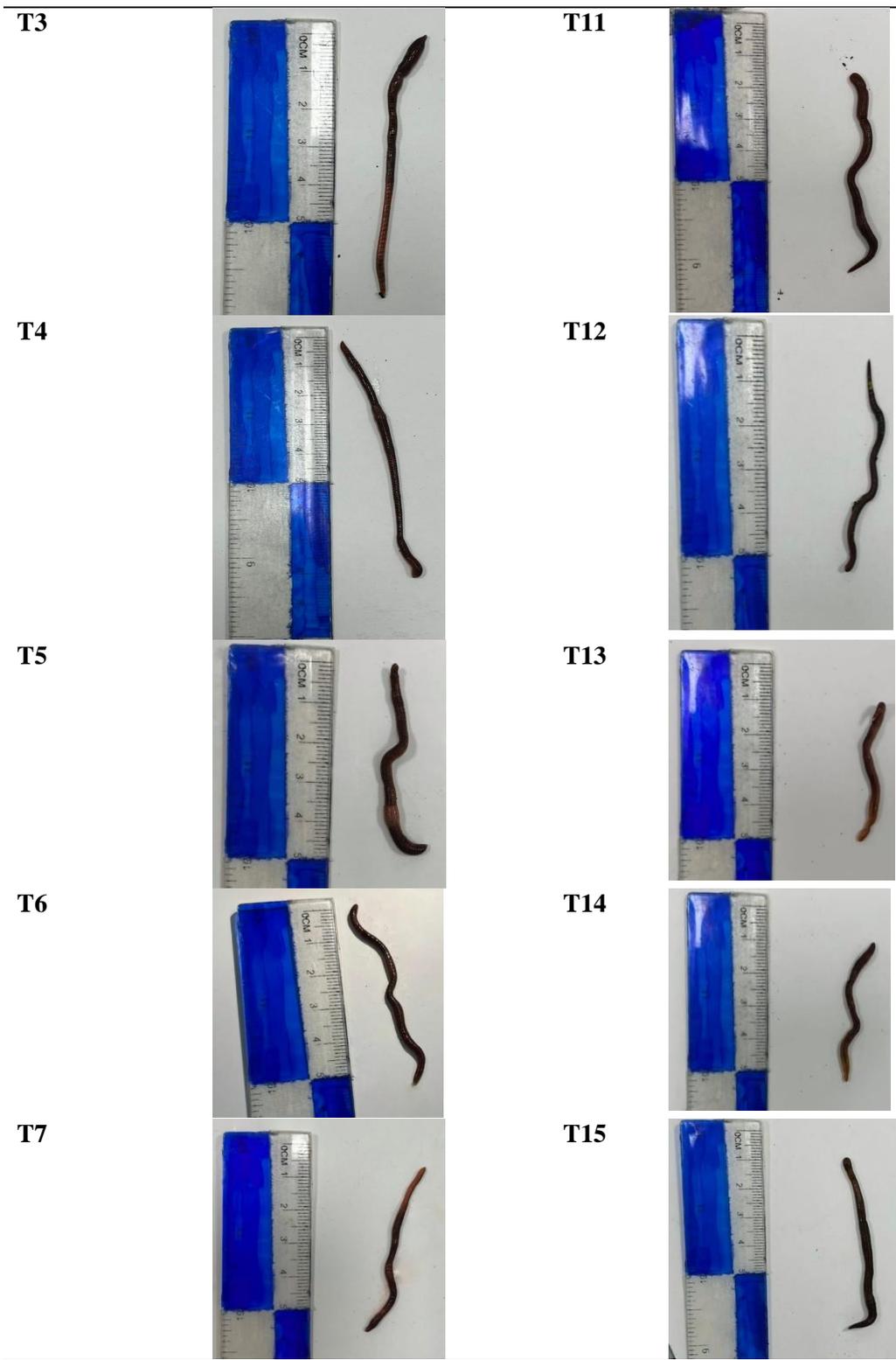


Anexo 2. Comparación de tamaño de larvas BSL

El anexo muestra las larvas de tamaño promedio de todos los tratamientos, al final de la experimentación.

Anexo 3. Medición de longitud de EF por tratamiento

Tratamientos	EF	Tratamientos	EF
T1		T9	
T2		T10	





Las mediciones están en unidades de centímetros (cm).



Anexo 4. Muestra de algunos cocones encontrados en los tratamientos

Anexo 5. Tasa de bioconversión por tratamiento

Tratamientos	Tasa de bioconversión (%)
T1	10,03
T2	15,70
T3	18,30
T4	18,46
T5	7,97
T6	12,75
T7	8,78
T8	14,85
T9	12,61
T10	10,48
T11	12,49
T12	15,78
T13	6,43
T14	7,56
T15	7,90
T16	11,37
Control HI	8,24
Control EF	2,86

Anexo 6. Comparaciones en parejas de Tuckey de larvas

Factor	N	Media	Agrupación
8	3	17,7	A
10	3	17,3	A
14	3	17,2	A
13	3	16,9	A
6	3	16,7	A
7	3	16,7	A
3	3	16,7	A
5	3	16,6	A
1	3	16,6	A
16	3	16,5	A
4	3	16,4	A
11	3	16,4	A
9	3	15,9	A
15	3	15,4	A
12	3	15,1	A
2	3	15,0	A

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 7. Comparaciones en parejas de Tuckey de lombrices

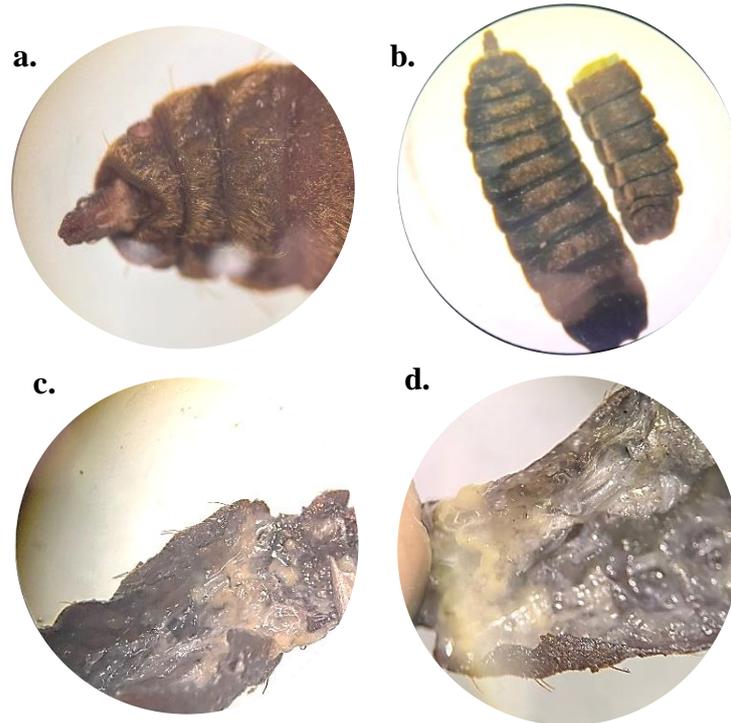
Factor	N	Media	Agrupación
16	3	16,7	B
14	3	16,5	B
13	3	16,5	B
7	3	16,2	B
9	3	16,2	B
12	3	16,1	B
6	3	16,0	B
10	3	15,8	B
2	3	15,8	B
8	3	15,7	B
5	3	15,3	B
3	3	15,3	B
15	3	15,2	B
11	3	15,2	B
4	3	14,2	B
1	3	14,0	B

Las medias que no comparten una letra son significativamente diferentes.

Anexo 8. T student para muestras independientes de proteínas

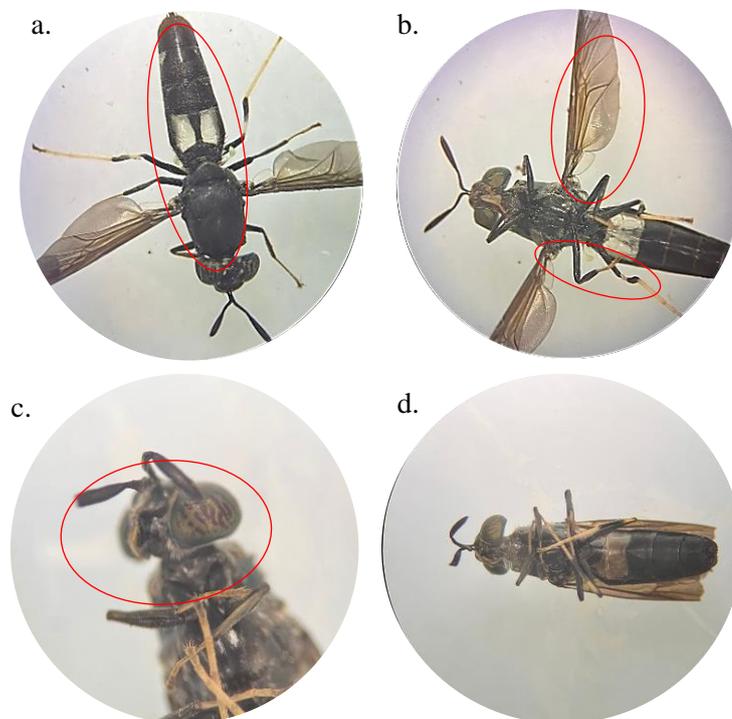
Estadísticos de grupo					
	ORGANISMOS	N	Media	Desviación típ.	Error típ. de la media
PORCE_PROT	HI	17	47,7570	2,1796	,52863
	EF	17	44,5735	5,1024	1,2375

Prueba de muestras independientes									
Prueba de Levene para la igualdad de varianzas					Prueba T para la igualdad de medias				
	F	Sig.	t	gl	Sig. (bilateral)	Diferencia de medias	Error típ. de la diferencia	95% Intervalo de confianza para la diferencia	
								Inferior	Superior
PORCE_PRO	2,354	,135	2,366	32	,024	3,1835	1,3457	,4424	5,9246
T			2,366	21,651	,027	3,1835	1,3457	,3900	5,9769



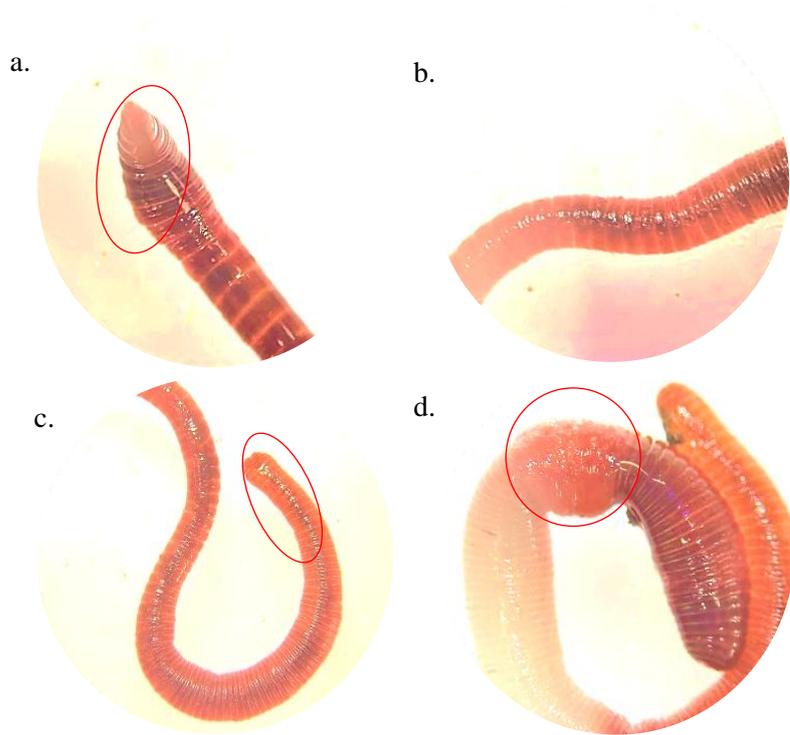
Anexo 9. Larva de mosca soldado-negra y disección con vista microscópica

a. Cabeza de la larva; b. Larva en estado de pupa, mostrando los segmentos del tórax; c y d. Disección y observación del interior de la larva.



Anexo 10. Mosca soldado-negra eclosionada

a. Pronoto, escutelo, élitro, abdomen y estigma; b. Alas y patas; c. Antena, mandíbula y labro; d. morfología general de la mosca soldado-negra adulta.



Anexo 11. Lombriz californiana

a. Pigido de la lombriz; b. Zona de crecimiento; c. Prostamio y peristamio; d. Clitelo.



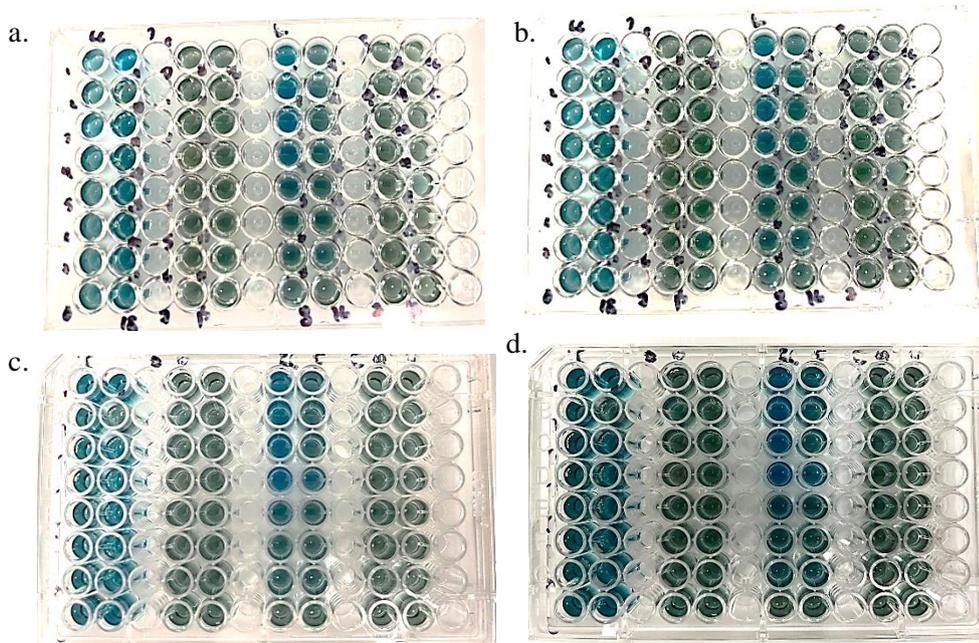
Anexo 12. Recolección de basura y pretratamiento de solarización



Anexo 13. Sustrato húmedo y seco de tratamientos aleatorios



Anexo 14. Preparación y corrección de pH del buffer RIPA



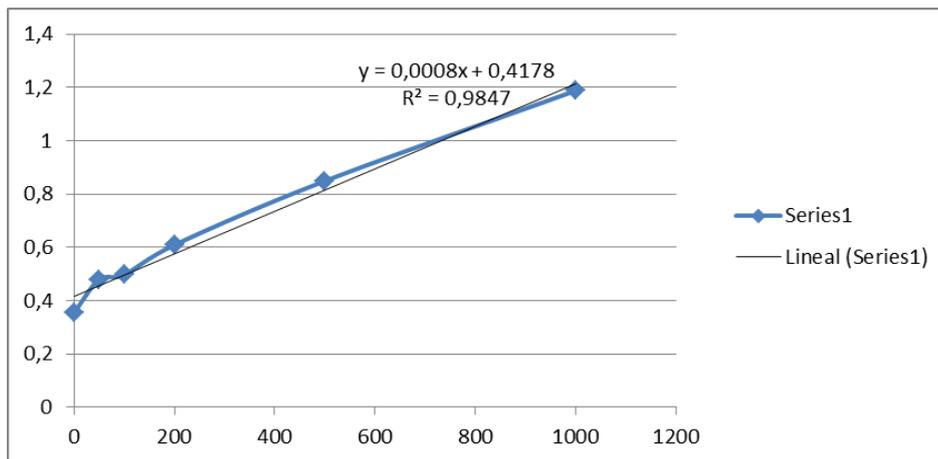
Anexo 15. Sustrato húmedo y seco de tratamientos aleatorios

a y b. concentrado y dilución 1:10 de muestra de nematodo tanto de larvas como de lombrices. c y d. réplicas del concentrado y dilución de ambas especies.

Anexo 16. Pesaje de larvas y lombrices durante el período de 27 días

	PESAJE DE LARVAS				PESAJE DE LOMBRICES			
	Primer peso	Segundo peso	Tercer peso	Cuarto peso	Primer peso	Segundo peso	Tercer peso	Cuarto peso
Control	4,3270	9,8195	16,2739	25,7821	3,2831	5,6125	7,2973	8,9409
T1	5,2895	8,4649	9,2291	9,9934	3,204	4,0323	5,1939	6,3556
T2	10,0539	16,111	18,1482	17,2072	3,608	5,3807	7,3695	8,398
T3	7,0196	14,1303	15,6844	17,9578	6,6242	7,0237	9,7258	11,8638
T4	8,1015	11,5942	16,0875	19,0588	6,5267	7,8541	9,7564	11,0253
T5	3,4826	9,5841	12,2545	14,6452	4,227	4,9417	5,9749	7,285
T6	8,2874	19,0737	25,6929	27,93314	4,7812	5,4716	6,2372	7,1745
T7	2,1064	5,5871	13,1502	15,2666	6,8777	6,7009	7,6498	8,8962
T8	12,616	19,4906	25,2806	29,6818	9,2311	9,2151	10,9708	11,1886

T9	10,0187	12,8639	18,2561	20,1533	3,8957	4,1678	4,7211	5,1277
T10	6,965	12,486	13,5717	15,7752	4,3366	4,36	4,9736	5,2381
T11	8,1008	11,4992	12,5144	14,8782	8,662	9,563	10,4315	10,1601
T12	10,7253	19,5788	20,4549	21,6933	7,906	8,5529	8,7926	9,9398
T13	10,6265	14,002	14,751	15,1096	4,832	4,8794	5,2579	4,9925
T14	11,1604	17,5991	17,8653	18,2698	1,1764	2,772	3,421	5,3863
T15	6,959	15,0466	15,5534	16,75	5,0175	8,9409	9,1015	7,9428
T16	17,4137	16,2392	19,2119	19,8116	7,75	5,5022	10,0127	12,7342



Anexo 17. Curva de calibración de Bradford para proteínas