



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería

“Revalorización de residuos restauranteros mediante el uso de larva de mosca soldado negro”

Opción de titulación
Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
M.C. en Ingeniería en Biosistemas

Presenta:

Jimena Asereth López Rivas

Dirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

Dr. Juan Fernando García Trejo
Presidente

Firma

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez
Vocal

Firma

Dra. Claudia Gutiérrez Antonio
Secretario

Firma

Dr. Humberto Aguirre Becerra
Suplente

Firma

Dr. Gobinath Chandrakasan
Suplente

Firma

Dr. Manuel Toledano Ayala
Director de la Facultad

Dra. Ma. Guadalupe Flavia Loarca Piña
Directora de Investigación y Posgrado

Centro Universitario
Querétaro, Qro.
Marzo 2023



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Evaluación físico-química del cascabillo del café para
generación de biocombustible sólido

por

Jimena Asereth López Rivas

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGLIN-219974

RESUMEN

Las tendencias en revalorización y las inminentes leyes de economía circular, nos obligan a buscar alternativas que puedan integrar los residuos al ciclo económico, donde los residuos inorgánicos han tenido un auge de reincorporación, Sin embargo, poco se ha estudiado las alternativas de revalorización para los residuos orgánicos, especialmente aquellos que pierden su valor al pasar por toda una cadena de manipulación humana, como lo son los residuos de restaurantes. En este sentido, este trabajo está dirigido a valorizar estos residuos, pasando por un tratamiento de biotransformación con larva de mosca soldado negro para obtener dos productos de alto valor: la larva de mosca soldado negro con una composición de alto valor nutrimental: proteína (34 – 42 %), lípidos (12 -12%) y carbohidratos (2.7 - 7.4 %); y el frass, materia orgánica con características similares a fertilizantes orgánicos.

Palabra clave: tratamiento de residuos, biotransformación, economía circular, restos alimentarios.

SUMMARY

Valorization trends and imminent circular economy laws, force us to look for alternatives that can integrate waste into the economic cycle, where inorganic waste has had a reincorporation boom. However, little has been studied about revaluation alternatives for organic waste, especially those that lose their value when passing through a whole chain of human manipulation, such as restaurant waste. In this sense, this work is aimed at valorizing these residues, going through a biotransformation treatment with black soldier fly larvae to obtain two high-value products: black soldier fly larvae with a high amount nutritional content of protein (34 – 42 %), lipids (12 -12%) and carbohydrates (2.7 - 7.4 %); and frass, organic matter with characteristics similar to organic fertilizers.

Key words: waste treatment, biotransformation, circular economy, food waste.

DEDICATORIA

Mis Padres, mi hermano y a quienes han contribuido a mi formación académica, profesional y humanitaria

AGRADECIMIENTOS

A CONACyT, por el apoyo económico otorgado

A mis asesores, compañeros y demás personas que contribuyeron en esta investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	2
SUMMARY	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTOS	5
ÍNDICE DE CUADROS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	10
INTRODUCCIÓN	11
2. Descripción del problema	13
3. Justificación	14
4. Hipótesis y Objetivos	15
4.1 Hipótesis	15
4.2 Objetivo general.....	15
4.3 Objetivos particulares	15
CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA	16
Revalorización de residuos.....	16
Tipos de residuos	16
Residuos sólidos urbanos.....	17
Residuos orgánicos	17
Residuos restauranteros.....	18
Manejo de residuos.....	18
Compostaje.....	19
La mosca soldado negro.....	19
Ciclo de vida de la mosca soldado negro	20
Cultivo de larva de mosca soldado negro	22
Temperatura	22
Humedad relativa.....	22
Fuente de luz	23
Composición de la larva de mosca soldado negro	24
Composición del frass.....	Error! Bookmark not defined.
CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS	26
1. Obtención de residuos restauranteros y su caracterización bromatológica. 26	
Obtención de los residuos restauranteros	26

Caracterización físico-química de los residuos	27
Determinación del contenido de Humedad	27
Determinación del contenido de cenizas	27
Determinación de proteína cruda.....	28
Determinación de grasa cruda	28
Determinación de azúcares totales.....	28
Determinación de fibra cruda.....	29
2. Evaluación de la eficiencia de degradación de los residuos usando de larva de mosca soldado negro.....	29
Cultivo de la larva, obtención y condiciones de cultivo	29
Obtención de la larva	29
Acondicionamiento del espacio	31
Cultivo de LMSN.....	32
Determinación del tiempo de degradación de los residuos.....	34
3. Caracterización física y química de los subproductos generados después de la biotransformación.....	34
Elaboración de harina	34
Determinación de variables productivas	35
Determinación del pH y conductividad eléctrica	38
Determinación de materia orgánica y carbono orgánico total.	38
Determinación de la densidad	38
Determinación de la retención de humedad	39
Determinación del tipo de suelo.....	39
4. Determinación de la magnitud de la revalorización lograda	40
Diseño experimental	40
CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
1. Obtención de residuos restauranteros y su caracterización bromatológica. 41	
Caracterización físico-química de los residuos.....	43
Condiciones ambientales.....	43
2. Evaluación de la eficiencia de degradación de los residuos usando de larva de mosca soldado negro.....	44
Determinación del tiempo de degradación de los residuos.....	44
3. Caracterización física y química de los subproductos generados después de la biotransformación.....	47

Características de la larva	47
Determinación de variables productivas	48
Caracterización proximal bromatológica del frass	65
Caracterización físico – química del frass.....	66
4. Determinación de la magnitud de la revalorización lograda	68
CAPÍTULO V. CONCLUSIONES	69
CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución de la alimentación por tratamiento por cada residuo	33
Tabla 2. Descripción de los restaurantes y frecuencia de recolección.	41
Tabla 3. Composición proximal bromatológica de los residuos restauraneros con n = 3.	43
Tabla 4. Duración del experimento hasta el inicio de la fase de prepupa con n = 3.	44
Tabla 5. Composición proximal de LMSN cultivada en diferentes residuos restauraneros, medido en peso seco, con n = 3.	47
Tabla 6. Variables productivas de LMSN cultivada en diferentes residuos restauraneros, medidas en base seca con n = 3.	54
Tabla 7. Composición proximal bromatológica de frass derivado de la biotransformación de diferentes residuos restauraneros usando LMSN, medido en base seca con n = 3.	65
Tabla 8. Composición físico – química de frass derivado de la biotransformación de diferentes residuos restauraneros usando LMSN, medio en base seca, con n = 3.	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Ciclo de vida de la mosca soldado negro. Tomada de Banks, 2014..	21
Figura 2. Etapas del Proyecto	26
Figura 3. LMSN de 5-7 DOL	30
Figura 4. Tamizado de larva	30
Figura 5. Espacio habilitado para la biotransformación	31
Figura 6. Diagrama del control de temperatura	32
Figura 7. Larveros para cultivo de LMSN	32
Figura 8. Disposición de cada residuo por tratamiento.	33
Figura 9. Toma de temperaturas dentro de los larveros	34
Figura 10. Triángulo de textura de suelos.	40
Figura 11. Residuos restauranteros obtenidos	42
Figura 12. Temperaturas internas de cada uno de los sustratos en cada tratamiento.	47
Figura 13. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Fonda (1.5)	49
Figura 14. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Fonda (2)	50
Figura 15. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Desayunería (1.5)	51
Figura 16. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Desayunería (2)	51
Figura 17. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Marisquería (1.5)	52
Figura 18. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Marisquería (2)	52
Figura 19. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Cafetería (1.5)	53
Figura 20. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Cafetería (2)	54
Figura 21. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Fonda (1.5)	57
Figura 22. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Fonda (2)	57
Figura 23. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Desayunería (1.5)	58
Figura 24. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Desayunería (2)	58
Figura 25. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Marisquería (1.5)	59
Figura 26.. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Marisquería (2)	60
Figura 27. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Cafetería (1.5)	60
Figura 28. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Cafetería (2)	61
Figura 29. FCR del Sustrato Fonda	62
Figura 30. FCR del Sustrato Desayunería	63
Figura 31. FCR del Sustrato Marisquería	64
Figura 32. FCR del Sustrato Cafetería	65

INTRODUCCIÓN

1. Antecedentes

La intensificación de los comercios y establecimientos de alimentos debido a los hábitos de consumo, ha provocado un aumento en la generación de los residuos, acumulándose principalmente en las grandes ciudades. Dicha acumulación, puede provocar diferentes problemas ambientales, mismos que se buscan evitar con la búsqueda de alternativas de eliminación de los residuos (DOF, 2003).

De manera general, los residuos son materiales que se destinan al abandono, pues no son útiles ni necesarios (PNUMA, 2018) por lo que sus disposiciones finales son en rellenos sanitarios o vertederos; no obstante, el enfoque de alternativas de eliminación actuales, que se centran en la economía circular, busca no solo su desaparición, sino que los residuos generen productos de interés o materias primas que sirvan para integrarse a otros procesos productivos, es decir, su revalorización (MacArthur, 2013).

En particular, los residuos restauranteros corresponden a gran parte de la fracción orgánica de los RSU, ya que se componen principalmente de restos de alimentos (generados en el consumo) y materia prima alimentaria (generada en la preparación) (WRAP, 2013; Papargyropoulou et al., 2016), mismos que son clasificados también como desperdicio y pérdida de alimento, respectivamente (FAO, 2011). Es importante destacar que estos, debido a su descomposición, no se consideran aptos para el consumo humano, (FAO, 2011; Principiati et al. 2015), ya que los residuos restauranteros por su procedencia orgánica, tienen un valor negativo (André & Cerdá, 2006) al contribuir a la generación de lixiviados, CO₂, proliferación de plagas, enfermedades, y problemas a la salud humana (Kiss & Encarnación, 2006), De ahí que se busque su eliminación.

Tradicionalmente, las tecnologías más utilizadas para el tratamiento y eliminación de los RSU son los vertederos, rellenos sanitarios, la incineración, el compostaje y la digestión anaeróbica (PNUMA, 2010), y aunque son tecnologías conocidas y

dominadas para la eliminación de desechos no son satisfactorios para el tratamiento de residuos orgánicos (Hernández et al., 2014).

Para llevarse a cabo la revalorización, es necesario conocer el estado de los residuos, es decir, su composición y origen, de ahí, que los principales métodos de revalorización de residuos orgánicos sea a través de tratamientos aeróbicos, que imiten el proceso de reincorporación a la naturaleza de componentes fundamentales, (Boulter et al., 2000; Craig et al., 2000), que se llevan a cabo de manera natural o mediante organismos que acortan el tiempo de procesamiento, para obtener material rico en nutrientes y oligoelementos (André & Cerdá, 2006; MacArthur, 2013). Entre los cuales, la larva de mosca soldado negro (LMSN) es un organismo en auge que ha demostrado procesar residuos orgánicos (Diener et al., 2009).

La mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) es un insecto de la familia de los *Stratiomyidae* con gran capacidad de reproducción, rápido crecimiento y sobre todo una enorme capacidad para alimentarse de materia orgánica en descomposición. Este tipo de insectos desempeñan el papel de descomponedores, pues la larva se alimenta de materia orgánica, lo que permite usarla para el aprovechamiento, transformación y eliminación de distintos tipos de residuos (Barragán et al, 2008). Por lo que, como tratamiento aeróbico, la larva de mosca soldado negro es una forma importante de tratamiento viable y opción sostenible (Diener et al., 2009).

El potencial de la larva de mosca soldado negro como degradador de materia orgánica, ha sido demostrado en diferentes investigaciones; por ejemplo, En un estudio en Costa Rica, se evaluó la viabilidad de la larva de mosca soldado negro para degradar desechos orgánicos municipales en los cuales, la reducción de desechos fue de 65.5 a 78.9% (Diener et al., 2011). Además, se han probado residuos orgánicos de agroindustrias como la cervecera, donde este tipo de sustratos por su alto contenido en azúcares, tuvo un tiempo de degradación más corto comparado con otros (Zhongyi et al., 2018). LMSN alimentado con diferentes sustratos exhibió diferentes patrones de acumulación de minerales, con CM resultando en la mayor rotación de minerales (Shumo et al., 2019).

En cuanto a los RSU se ha probado el consumo de diferentes residuos orgánicos, donde los residuos de cocina han demostrado tener un mayor consumo por larva que la establecida como dieta estándar (Nguyen et al., 2020), similarmente en otro estudio se evaluó el desarrollo de larvas de mosca soldado negro en 8 diferentes residuos orgánicos urbanos en donde se concluyó que las frutas y verduras son desperdicios adecuados para tratarse con larva de mosca soldado negro (Lalander et al., 2019). Otros residuos probados para biotransformación han sido: residuos agroindustriales (Mohd-Noor et al., 2017), estiércol de animales (Rehman et al., 2017) y residuos alimenticios (Surendra et al., 2016).

En cuanto a los subproductos generados después de la biotransformación, se dividen en dos: la propia larva, la cual se ha reportado presenta una alta concentración de proteína cruda, y una fuente rica en grasas, (Nyakeri et al., 2017), y el frass, siendo este el excremento de la larva, parecido a una composta, que ha reportado tener un alto índice de germinación de plantas (Nguyen, et al. 2015).

Por tanto, en este trabajo se pretende dar un nuevo valor a los residuos restauranteros valiéndose de las necesidades biológicas de la larva, obteniendo un doble beneficio al eliminar los residuos mediante la biotransformación y obteniendo subproductos que puedan ser utilizados como materia prima reintegrándose al ciclo económico.

2. Descripción del problema

Actualmente los residuos restauranteros no tienen un tratamiento para su desaparición como tampoco un valor económico, ya que por su alta carga microbiana y compleja de nutrientes no suelen ser puestos en técnicas de aprovechamiento de residuos como el compostaje, por lo que el uso de organismos para la eliminación de materia orgánica, es una de las tecnologías que se presenta como alternativa para generar productos de alto valor.

Por lo anterior, este trabajo se centra en es determinar si la larva de la mosca soldado negro por su capacidad de procesamiento y transformación de residuos orgánicos puede ser utilizada para revalorizar los residuos restauranteros.

3. Justificación

En México hay una generación diaria de 102,895.00 toneladas de residuos, de los cuales se recolectan 83.93% y se depositan en almacenamientos finales alrededor del 78.54%, reciclando solamente el 9.63% de los residuos generados (SEMARNAT, 2017). En Querétaro en el año 2018 se generaron 84 425 979 toneladas de sólidos urbanos, lo que corresponde a 25 834 349 toneladas de residuos de desperdicio y pérdida de alimentos. La disposición final de los residuos en el estado son 3 rellenos sanitarios, 8 como sitios controlados, 4 vertederos y 1 sitio no controlado (SDS, 2019).

Los tratamientos que se le dan a los residuos orgánicos para su transformación y revalorización son en los sitios controlados donde se genera biogás y vermicomposta (SEDESOL, 2002). La gestión de desechos sólidos orgánicos muestra una falta de planes de aprovechamiento, recuperación y revalorización de quienes manejan los RSU (Mora, 2012). Desde el punto de vista no solo ambiental sino también de salud pública, el manejo adecuado de los residuos en las etapas de las actividades secundarias hasta el consumo, permite mitigar los impactos negativos sobre el ambiente, reduce la presión ejercida sobre los recursos naturales y contribuye a la salud pública (SEMARNAT, 2013). A menudo, los desechos orgánicos de las ciudades terminan en las calles o se acumula en los vertederos, a pesar de su contenido energético, Allí, atrae enfermedades vectoriales y produce gases de efecto invernadero (Hussein et al, 2018).

Las acciones para atender el desperdicio de alimentos y la pérdida de materias primas, deben enfocarse en tres áreas claves: la prevención desperdicio, la recuperación de alimentos y sobre todo la revalorización de los residuos orgánicos desde el inicio de la cadena de producción hasta el consumo final (SEMARNAT 2011). Debido a su descomposición, los residuos restauranteros generan lixiviados, malos olores y fermentaciones, generando problemas a la salud y al medio ambiente; convirtiéndolos en residuos difícilmente separables, teniendo que llevar a cabo una recuperación más compleja (SEMARNAT, 2012); por lo que, en cuanto

a la revalorización de residuos, no suele llevarse a cabo en residuos con gran carga orgánica (Ramos, 2013).

Por lo que se requiere un nuevo proceso de revalorización de residuos orgánicos, utilizando nuevas tecnologías disponibles como la lava de mosca soldado negro que disminuya el tiempo de degradación de y les dé un valor mayor a los residuos.

4. Hipótesis y Objetivos

4.1 Hipótesis

La biotransformación de residuos restauranteros mediante el uso de larva de mosca soldado negro, generará dos subproductos de alto valor, el primero (larva) con características nutrimentales valiosas para alimentación animal y el segundo (frass) con características físico- químicas similares a sustratos agrícolas en similar o menor tiempo.

4.2 Objetivo general

Revalorizar los subproductos generados mediante la biotransformación de residuos restauranteros usando larva de mosca soldado negro

4.3 Objetivos particulares

- Determinar las variables productivas en la biotransformación de los residuos provenientes de 4 tipos de residuo restaurantero mediante el uso de larva de mosca soldado negro
- Determinar el efecto de la dosificación con alimentación de residuos restauranteros sobre las variables productivas de la larva de mosca soldado negro
- Caracterizar física y químicamente los subproductos generados por la biotransformación de residuos restauranteros

CAPÍTULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Revalorización de residuos

La revalorización en general se refiere al proceso de conversión de desechos en productos más útiles (Hussein et al., 2018; Arancon et al., 2013) al obtener un mayor valor de los residuos particularmente a través de la conversión a productos, la modificación en productos alimenticios de mayor valor o aditivos (Tuck et al., 2012; Nayaka & Bhushan, 2019), es un conjunto de acciones que tiene como finalidad recuperar el valor remanente de los residuos.

La revaloración de los residuos se entiende como un principio y conjunto de acciones asociadas cuyo objetivo principal es recuperar el valor remanente como los compuestos químicos, o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, todo esto mediante su reincorporación en procesos productivos (SEMARNAT, 2017), es decir, su utilización en otros procesos, bajo criterios de sustentabilidad: cuidado y protección del medio ambiente, tecnología, sociedad, y mejora económica (Myers et al., 2010); esto nos permite disminuir el consumo de materias primas, usando poder calorífico en vez de electricidad, disminuyendo el consumo de agua etc., que son insumos indispensables para la extracción y/o procesamiento de otros materiales (Hoornweg & Bhada-Tata, 2012).

Tipos de residuos

Los residuos se definen formalmente como los materiales o productos que se desechan en todos sus estados, que se contienen en recipientes o depósitos, y que necesitan estar sujetos a tratamiento o disposición final con base en lo dispuesto en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR; DOF, 2003). Se clasifican de acuerdo a sus características y orígenes en tres grupos: residuos sólidos urbanos (RSU), residuos de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP) (Tchobanoglous et al., 1994)

Por otro lado, los residuos generados en las grandes ciudades se clasifican en tres grandes grupos: residuos de manejo especial (RME), residuos peligrosos (RP) y residuos sólidos urbanos (RSU) (SEMARNAT, 2006). Estos últimos, incluyen todos los residuos generados en las casas habitación y en cualquier otra actividad que se

desarrolla dentro de los establecimientos de las ciudades, (DOF, 2003) fraccionándose por su composición.

Residuos sólidos urbanos

Los RSU como su nombre lo indica son los generados dentro de la urbanización que incluye las casas habitación y los provenientes de cualquier otra actividad dentro de establecimientos (locales, negocios, empresas etc.) o en la vía pública. En general cualquier actividad que genere residuos con características domiciliarias; además de incluir los resultantes de la limpieza de las vías y lugares públicos (Gutiérrez et al, 2019).

Residuos orgánicos

La fracción orgánica de los RSU, conocida como residuos sólidos orgánicos (RSO) representa alrededor del 50 % y proviene principalmente negocios relacionados a la alimentación inmediata, mercados y las casas habitación (Pedreño et al., 2011) . El problema de estos es que debido a la biodegradación anaeróbica de los RSO sus sitios de disposición final que son en los rellenos sanitarios y tiraderos a cielo abierto se genera biogás, cuyos principales componentes son el metano y el dióxido de carbono, ambos gases de efecto invernadero (Tavares et al., 2010).

Los residuos sólidos orgánicos se componen de materiales ricos en proteínas, minerales y azúcares que se pueden utilizar en otros procesos como sustratos o materias primas. los residuos orgánicos podrían ser un buen candidato para proporcionar los nutrientes y las condiciones adecuadas para desarrollo y crecimiento de microorganismos. La fermentación orgánica en estado sólido (SSF) se considera una tecnología prometedora para la valorización de residuos orgánicos a través de la bioconversión de residuos utilizados como sustrato o soporte inerte para convertirse en productos de alto valor agregado (Thomas et al., 2013).

Los residuos sólidos urbanos al tener una alta cantidad de carga orgánica, tienen el potencial de ser utilizados como sustratos o soportes en procesos para obtener productos de alto valor. (Hussein et al., 2018).

Residuos restauraneros

Gran parte de los residuos sólidos urbanos son los residuos restauraneros, por la demanda y cultura del consumismo. Se estima que los residuos orgánicos equivalen a un 60% de los residuos sólidos urbanos. Por lo que el problema no es solo la acumulación, sino también la cantidad (FAO, 2011).

Manejo de residuos

Según estimaciones de la OCDE, el monto destinado al manejo y tratamiento de residuos puede llegar hasta un tercio de los recursos financieros que destina cada país en el sector público para la eliminación y el control de la contaminación (Saéz, 2014).

Desde el punto de vista ambiental un manejo adecuado de los RSU, permite reducir la presión sobre la explotación de los recursos naturales, sobre los ecosistemas y mitigar los efectos negativos sobre el ambiente, y desde la salud pública, reducir la proliferación de plagas y enfermedades (Viniestra, 2003). Paralelamente disminuye el uso de materias primas para la extracción y procesamiento; además de disminuir el espacio de disposición final de los residuos. Desde el punto de vista económico, un menor volumen de residuos que requieren de disposición final reduce los costos de operación.

Incineración

La incineración o combustión de ciertos materiales permite reducir considerablemente su volumen, además de obtener un beneficio como fuente de energía calorífica, algunos otros materiales que se acumulan con los residuos, permiten obtener energía eléctrica o eólica beneficiándonos del ahorro de fuentes de energía. Otra ventaja considerable es que no se requiere el almacenamiento, por lo que los periodos de tiempo son muy cortos, a diferencia de los rellenos sanitarios o vertederos. (André & Cerdá, 2006).

Compostaje

Entre los métodos conocidos como tecnologías maduras para el tratamiento de estos residuos orgánicos está el compostaje; sin embargo, mucho del uso de tratamientos biológicos pueden ser aeróbicos y anaeróbicos. Parte de los fundamentos de la economía circular es imitar el proceso de reincorporación de componentes fundamentales de la naturaleza, tales como Calcio, Nitrógeno, Fósforo y Potasio. Este tratamiento permite realizar esta reincorporación en un corto o mediano plazo, generándose un producto que cumple los requisitos de reducción de patógenos, y mineralización, por lo que el residuo compostado es conveniente para su distribución y comercialización (Boulteret et al., 2000; Craig et al., 2000). El compostaje se puede considerar como un reciclaje natural ya que consiste en la descomposición de la materia orgánica contenida resultante en compost también conocido como abono orgánico, un material rico en nutrientes y oligoelementos, que beneficia a los suelos agrícolas, mejorando su calidad, regulando la compactación del suelo, su retención de agua, y sobre todo aumentar la Materia Orgánica (André & Cerdá, 2006)

Vermicompostaje

El Vermicompostaje es un proceso de degradación de la materia orgánica mediante el uso de lombrices y microorganismos bajo condiciones anaerobias

La mosca soldado negro

La mosca soldado negro es un insecto con una enorme capacidad de reproducción, de rápido crecimiento, con gran capacidad para procesar una gama de subproductos. Este tipo de mosca no transmite ninguna enfermedad al ser humano, animales o plantas (Gobbi, 2014).

La larva de mosca soldado negra es una mosca díptera de la familia *stratiomyidae*, (tabla 1) que encuentra en todo el mundo en ambientes tropicales. Este tipo de insectos desempeñan el papel de descomponedores, pues la larva se alimenta de materia orgánica en descomposición lo que permite usarla para el aprovechamiento,

transformación y eliminación de distintos tipos de residuos orgánicos. (Barragán et al., 2008).

Tabla 1. Taxonomía de la mosca soldado negro

Reino:	Animalia
Filo:	Arthropoda
Clase:	Insecta
Orden:	Diptera
Suborden:	Brachycera
Infraorden:	Stratiomyomorpha
Familia:	Stratiomyidae
Subfamilia:	Hermetiinae
Género:	<i>Hermetia</i>
Especie:	<i>Hermetia illucens</i>

Ciclo de vida de la mosca soldado negro

El ciclo de vida de la mosca soldado inicia con la puesta de huevecillo por parte de la hembra, incubándose con buena temperatura y humedad por un periodo de 3 a 4 días, seguidamente pasan al estado de larva, donde carecen de patas, alas y solo tienen boca en un extremo y salida en el otro extremo, por donde expulsan los desechos. Cuando la temperatura y humedad son ideales, las larvas alcanzan su desarrollo completo en 8 - 10 días, dando inicio a la fase adulta que tiene como único objetivo el reproducirse (Figura 1), En esta etapa de su vida no necesitan alimentarse y dependen solamente de la reserva que acumularon durante su fase larvaria. (Banks, 2014).



Figura 1. Ciclo de vida de la mosca soldado negro.

En la etapa adulta, estos organismos son moscas grandes de color negro, las cuales se caracterizan por no ser voladores activos. En esta etapa, se llevan a cabo el apareamiento y la ovoposición, que por lo general ocurren entre dos y cuatro días después de la eclosión del adulto. En el caso de la ovoposición, cada hembra es capaz de liberar de 200 a 650 huevos (Tomberlin y Sheppard, 2002). Comúnmente, los huevos son depositados en grietas ubicadas en lugares secos con acceso a sustratos orgánicos. Posteriormente, la larva eclosiona del huevo y se desplaza en busca de alimento (sustratos orgánicos), que puede ser distintas materias, como: animales en descomposición, material vegetal, estiércol, residuos alimenticios, basura municipal, etc. (Diener et al., 2011). En la etapa de larva, el organismo se desarrolla a través de 6 estadios, durante los cuales crece hasta llegar a una longitud de 18-20 mm (Čičková, 2015). Esta etapa es importante, ya que los nutrientes necesarios para que los adultos lleven a cabo de manera exitosa el apareamiento y la ovoposición son acumulados durante esta etapa (Sheppard et al.,

2002). Transcurridos los 6 estadios, la larva se convierte en prepupa, la cual migra en busca de un lugar seco para pasar su etapa de pupa. Ya en estado de pupa, el organismo pasa 14 días para poder convertirse en adulto, con una vida aproximada de 6 a 8 días (Singh et al., 2019).

Cultivo de larva de mosca soldado negro

El cultivo de la larva de mosca soldado negra requiere de ciertas condiciones ambientales para poder llevarse a cabo. Dentro de estas variables, se han reportado principalmente: la temperatura, humedad relativa, cantidad de luz, además de humedad, pH y composición del alimento, como variables críticas para el desarrollo de este organismo (Padmanabha et al., 2020).

Temperatura

En el caso de la temperatura, la mosca soldado negro es capaz de tolerar un rango de 15 a 47 °C (Park, 2016). Sin embargo, la variación dentro de este rango afecta procesos biológicos, como: el desarrollo, apareamiento y ovoposición. En este sentido, se sabe que el apareamiento y la ovoposición ocurren principalmente cuando se tienen temperaturas de 27 °C. También, con este mismo valor de temperatura, el desarrollo del organismo es más eficiente, tanto en hembras como en machos, ya que a temperaturas mayores a 30 °C su metabolismo aumenta y genera adultos pequeños y con menos esperanza de vida. Además, se ha reportado que a 27 °C, las moscas generan un peso mayor del 10%, que cuando son criadas a temperaturas mayores a 30 °C (Holmes et al., 2010; Tomberlin et al., 2009).

Humedad relativa

La humedad relativa es una variable que afecta procesos de la mosca soldado informado que un rango de humedad de 50 a 90% la mosca soldado negro se puede desarrollar de forma óptima (Diener et al., 2009), pero un valor de 60% de humedad es ideal para el apareamiento y ovoposición de la mosca. Cuando se tienen valores bajos de humedad relativa (25%) aumenta la pérdida de humedad del huevo y la mortalidad del organismo (Holmes et al., 2012).

Fuente de luz

En cuanto de la luz, hay información limitada sobre su efecto en la mosca soldado negra. Hasta el momento se sabe que este factor es indispensable para procesos de reproducción y puesta de huevo. La principal fuente de luz reportada para el cultivo de larva de mosca soldado negro es la luz solar directa, la cual, con una intensidad de $110 \mu\text{molm}^2\text{s}^{-1}$, permite que se lleven a cabo un 85% de los eventos (Park, 2016)., se sabe que un rango de longitud de onda de 450 a 700 nm es suficiente para que se lleven a cabo dichos procesos (Zhang et al., 2010).

Por otro lado, el pH ha sido reportado como una variable que afecta el desarrollo y crecimiento de la larva de mosca soldado negro. De acuerdo a Ma et al., (2018), el rango de pH apropiado para el cultivo de larva de mosca soldado negro es de 6 a 10, en el cual se obtienen valores más altos de desarrollo que en un rango de 4 a 2. También, se conoce que las larvas de mosca soldado negra son capaces de regular el pH a valores de 8 a 9 (Green y Popa, 2012; Ma et al., 2018).

Alimentación de la larva de mosca soldado negro

En cuanto a la composición de la dieta, esta ejerce un papel importante en el desarrollo, crecimiento y composición de la mosca soldado negro. De acuerdo a Kim et al. (2011), la mosca soldado negro puede alimentarse de una gran variedad de alimentos gracias a la capacidad enzimática de su tracto digestivo. Sin embargo, la variación de la fuente de alimento repercute en el crecimiento, supervivencia y composición de la larva de mosca soldado negro (Gold et al., 2020).

Según lo reportado por Barragán-Fonseca et al. (2018), el contenido de carbohidratos no fibrosos y de proteína en la dieta de la larva influyen de manera directa sobre variables, como: tasa de supervivencia de larvas, tiempo de desarrollo, rendimiento en peso, emergencia de adultos, longevidad, número de huevos, además del contenido de proteína y grasa cruda de las larvas. En este sentido, los valores más altos para la mayoría de estas variables se obtuvieron con una alta concentración de carbohidratos (de 40 a 55%), y una concentración baja de proteína (de 5 a 15%), excepto para el contenido de grasa cruda y tiempo de desarrollo, las

cuales dieron resultados superiores a alta concentración de proteína (35%) y baja concentración de carbohidratos (>10%), respectivamente.

Composición de la larva de mosca soldado negro

La larva de mosca soldado negro, al igual que otros insectos, ha sido considerada como una buena materia prima para obtener alimentos de alto valor nutricional, debido a su composición. En esta larva, los principales macro componentes son: proteínas, lípidos y carbohidratos; de los cuales, las proteínas constituyen del 17.5 al 63%; los lípidos pueden encontrarse entre un 12 a un 49%, y los carbohidratos, principalmente quitina, se encuentran en una concentración de un 2%, del peso seco (Shelomi, 2020).

Además de los componentes antes mencionados, la larva de mosca soldado negro también contiene minerales y vitaminas, que representan una parte significativa de su composición. Entre estos se encuentran: calcio, cobre, hierro, potasio, magnesio, manganeso, sodio, fósforo y zinc, al igual que vitaminas del complejo B, ácido pantoténico, ácido fólico, vitamina E (Nyakeri et al., 2017; Finke et al., 2013).

Usos de la larva de mosca soldado negro

En general, los insectos representan una buena posibilidad, ya que su porcentaje de proteína varía de 35.3% a 61.3% (base de materia seca) y su calidad, en términos de aminoácidos esenciales, es prometedora en comparación con la caseína y la soya (Rumpold y Schluter, 2013).

En el caso de la larva de mosca soldado negro, contiene una alta concentración de proteína (hasta 49%).

Frass

El frass es un subproducto de la cría de mosca soldado negro, en sí, es el excremento de la larva que al pasar por el intestino, puede contener cantidades sustanciales de nutrientes (Lalander et al., 2015; Oonincx et al., 2015), que podrían ser útiles en la producción de cultivos si se convierten en fertilizante orgánico.

Se observaron contenidos elevados de materia seca (MS)(69,62%) y materia orgánica (MO) (86,22%). En general, las diferencias en los sistemas de producción de BSF (métodos de crianza, sustrato de alimentación, mecanismos de separación, posprocesamiento de excrementos) pueden afectar los contenidos de MS. Como los contenidos de MS se distribuyen uniformemente entre 40 y 90%, parece haber una gran variabilidad dentro de los sistemas de producción considerados. La optimización del contenido de MS del residuo es un factor importante para separar con éxito las larvas de BSF mediante el tamizado: el alimento con un contenido de humedad >75 % puede conducir a resultados de tamizado subóptimos debido a la formación de grumos, mientras que la separación fue mejor cuando las larvas de BSF pudieron reducir el excremento. contenido de humedad a alrededor del 50% (Cheng et al. 2017). Además, los sistemas de producción que generan bajos contenidos de MS en los residuos necesitarán un procesamiento posterior adicional para crear un producto fertilizante estable a partir de ellos (Diener et al. 2011).

CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

Esta investigación se llevó a cabo en etapas de acuerdo a los objetivos planteados, las cuales se muestran en la figura y que consisten en: Etapa 1 ,que abarcó la obtención de los residuos restauranteros y su caracterización físico-química, la Etapa 2, consistente en la evaluación de la eficiencia de degradación del residuo utilizando la larva de mosca soldado negro, la Etapa 3 que abarcó la caracterización física y química de los subproductos generados de la biotransformación del residuo y la Etapa 4 que consistió en la evaluación de los subproductos obtenidos (figura 2).

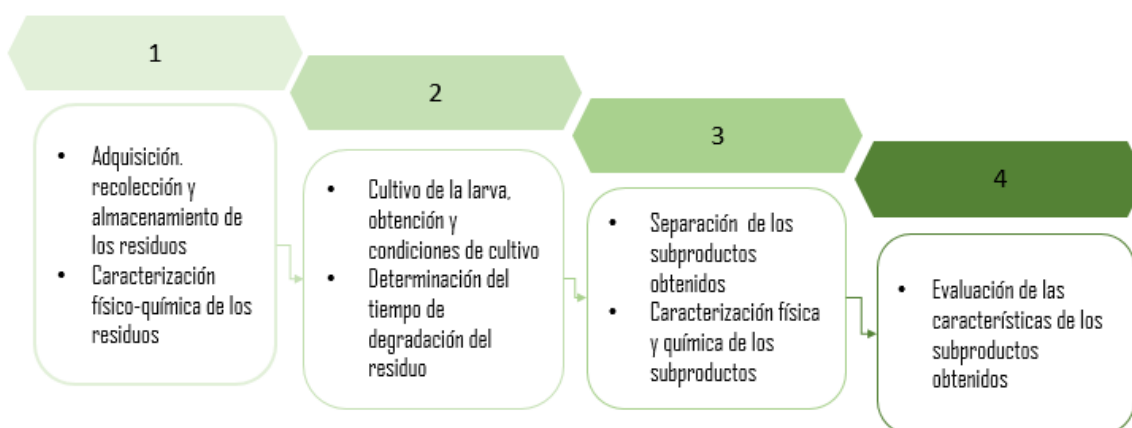


Figura 2. Etapas del Proyecto

1. Obtención de residuos restauranteros y su caracterización bromatológica

Obtención de los residuos restauranteros

Los residuos restauranteros que se utilizaron para esta investigación fueron proporcionados por 4 comercios diferentes ubicados en el Municipio de Querétaro, Qro., Donde, personalmente se les hizo una invitación a los encargados para colaborar en esta investigación; esta invitación consistió en la entrega de un folleto con información sobre el proyecto (anexo 1). Una vez aceptada la invitación se acordó recolectar los residuos al final del día, donde la frecuencia de las visitas dependió de la cantidad de residuos generados.

Una vez recolectados los residuos, se llevaron a congelación hasta obtener la cantidad necesaria para realizar la biotransformación; y mantener sus

características para el análisis de laboratorio. Las determinaciones, así como la biotransformación del residuo se realizaron en el campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, en el laboratorio de bioingeniería, así como en la planta piloto de mosca soldado negro.

Caracterización físico-química de los residuos

Como parte de la caracterización de los residuos se determinó la composición proximal. Dicha composición comprende la cantidad de humedad, proteína cruda, grasa cruda, cenizas y carbohidratos totales. Cabe destacar que todas las determinaciones se realizaron por triplicado.

Determinación del contenido de Humedad

El contenido de humedad de las muestras se midió mediante gravimetría, siguiendo el protocolo reportado por la norma mexicana NMX-F-083-1986. Este consistió en poner 2g de la muestra en un crisol que fue llevado previamente a peso constante. La muestra se pesó en una balanza analítica. Posteriormente, la muestra fue llevada a una estufa a 100° C durante 48 h, después fue pesada cada hora hasta obtener el peso constante. El contenido total de humedad se obtuvo por la ec.1.

$$\%W = 100 \left(\frac{P2 - P3}{P3 - P1} \right) \quad (1)$$

Dónde:

%W = Porcentaje de humedad

P1 = Peso del crisol (g)

P2 = Peso del crisol más muestra húmeda (g)

P3 = Peso del crisol más muestra seca (g)

Determinación del contenido de cenizas

La determinación de la cantidad de cenizas se realizó mediante calcinación completa, siguiendo el protocolo conforme a la norma NMX-F-066-S-1978 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1978). En dicho procedimiento, se tomó la muestra seca obtenida de la determinación de humedad donde se una vez obtenido el peso constante del crisol y la muestra seca, esta fue llevada a una mufla

Felisa, modelo FE-360 a 500°C y se dejó la muestra por 5 horas, posteriormente se dejó enfriar en un desecador. La muestra se pesó y la determinación del contenido total de cenizas se calculó con la ec.2.

$$\%A = \left(\frac{P2 - P1}{M}\right)100 \quad (2)$$

Dónde:

%A = Porcentaje de cenizas

P1 = Peso del crisol con cenizas (g)

P2 = Peso del crisol (g)

M = Peso de la muestra seca (g)

Determinación de proteína cruda

El contenido de proteína cruda de las muestras se calculó mediante el valor de nitrógeno total, determinado por el método Kjeldahl. Posteriormente, este valor se multiplicó por el factor de corrección para proteína: 6.25, siguiendo el protocolo descrito por la norma mexicana NMX-F-068-S-1980.

Determinación de grasa cruda

El contenido de grasa cruda se llevó a cabo por el método de extracción por microondas (EPA 3546). Dicho procedimiento consistió en realizar la extracción de grasa de la muestra con agitación constante con presión y temperatura regulada. Posteriormente, la grasa presente se determina por gravimetría usando la ec. 3.

$$\%L = 100 \left(\frac{P1}{P2}\right) \quad (3)$$

Dónde:

%L = Porcentaje de grasa total

P1 = Peso de la grasa (g)

P2 = Peso de la muestra (g)

Determinación de azúcares totales

La determinación de carbohidratos totales se llevó a cabo por el método conocido como antrona (Dimler et al., 1952), que consistió en realizar una curva de calibración

con antrona al 0.2%, y leer en espectrofotómetro. Este método se realizó por colorimetría.

Determinación de fibra cruda

La fibra cruda calculó mediante la diferencia del peso fresco de la muestra, y el contenido de humedad, proteína cruda, grasa cruda, azúcares totales y cenizas, como lo reporta Surendra et al., (2016).

2. Evaluación de la eficiencia de degradación de los residuos usando de larva de mosca soldado negro

Cultivo de la larva, obtención y condiciones de cultivo

La larva utilizada fue obtenida de la planta piloto de mosca soldado negro ubicada en el Campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, donde también se acondicionó el espacio para llevar a cabo la biotransformación.

Obtención de la larva

La larva utilizada fue proporcionada de la planta piloto de LMSN ubicada dentro de la Universidad Autónoma de Querétaro Campus Amazcala. Esta colonia de mosca es mantenida usando dieta estándar (Gainesville), la cual se cosechó 7 días después de la preparación del huevo en el sustrato estándar (figura 3); esta tenía una edad de entre 5 y 7 días de eclosión (5-7 DOL); con un peso medio de 0.0091g. y un tamaño de entre 0.1 y 0.2 cm. Para seleccionar este tamaño de larva se utilizaron dos tamices genéricos comerciales; el primero de apertura de 0.2 cm para eliminar la larva mayor a este tamaño y el segundo con apertura de 0.1 cm para eliminar la larva menor a este tamaño como se muestra en la figura 4.



Figura 3. LMSN de 5-7 DOL



Figura 4. Tamizado de larva

En cuanto a la cantidad de larva utilizada, se usaron 1000 larvas por tratamiento por repetición; para el ajuste se contaron 100 larvas 10 veces, para obtener un peso promedio. Posteriormente se pesó por tratamiento por repetición la cantidad de gramos que referían a 1000 larvas.

Acondicionamiento del espacio

La biotransformación se realizó en un espacio dentro de la planta piloto de mosca soldado negro, de 3 x 2 x 2.5 más. (figura 5) En este espacio se colocó y programó un control de temperatura; se colocó un ventilador y calefactor conectados al controlador (figura 6), para mantenerse en un rango de 25.5 a 27.5 °C. En este caso la humedad no se controló, únicamente se midió. Además, se instaló una malla antiáfidos a la entrada del espacio seleccionado con la finalidad de evitar que la mosca doméstica (*musca domestica*) y otros insectos se instalaran dentro de larveros.



Figura 5. Espacio habilitado para la biotransformación



Figura 6. Diagrama del control de temperatura

Cultivo de LMSN

La degradación del residuo mediante la larva de mosca soldado negro, se llevó a cabo en la planta piloto de producción de larva de mosca soldado negro que se encuentra en las instalaciones del campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro.

Cada residuo fue molido en una licuadora industrial, hasta obtener una pasta similar a la dieta Gainesville (dieta estándar para LMSN) y depositados en contenedores de plástico de 50cm x 30cm x 10cm (figura 7) que funcionaron como larveros.



Figura 7. Larveros para cultivo de LMSN

La disposición de cada residuo se dividió en porción total de residuo de 2 kg y 1.5 kg, estas a su vez se dividieron en una única alimentación y en alimentación dosificada, teniendo en total cuatro tratamientos por residuo (figura 8). Cada tratamiento se llevó a cabo en tres repeticiones, y a cada repetición se le suministraron 1000 larvas.

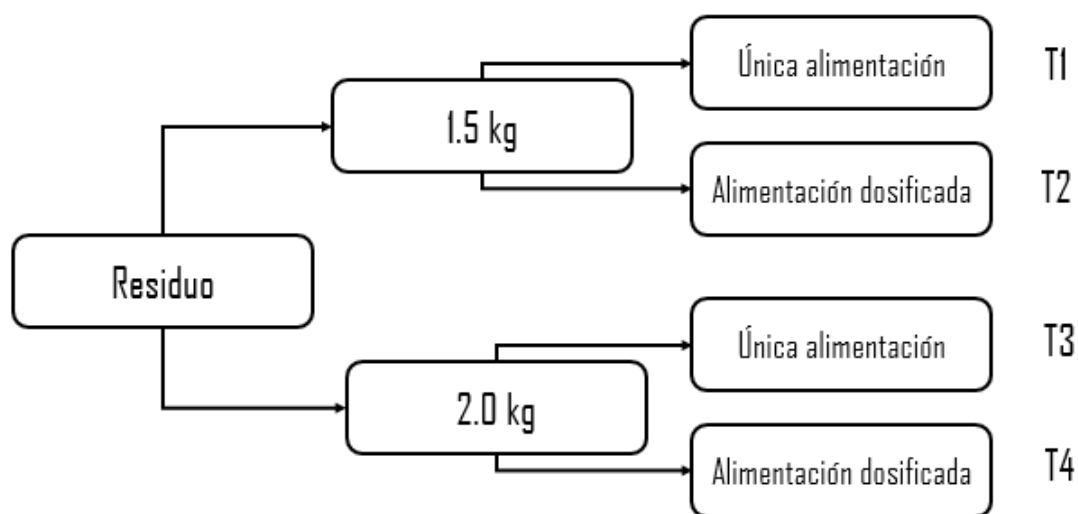


Figura 8. Disposición de cada residuo por tratamiento.

Los larvarios se apilaron en columnas, siendo cada columna un tratamiento con sus repeticiones. Los tratamientos con una única alimentación se les suministro el total de residuo en el primer día del experimento, y los tratamientos con alimentación dosificada, se dividió el total del residuo en cuatro, repartidos en el día 1, 3, 5 y 7 del experimento como se puede apreciar en la tabla 1.

Tabla 1. Distribución de la alimentación por tratamiento por cada residuo

Tratamiento	Día de suministración del alimento								
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
T1	X								
T2	X		X		X		X		
T3	X								
T4	X		X		X		X		

Determinación del tiempo de degradación de los residuos

Para medir el tiempo de degradación de los residuos, se registraron el total de días de duración del experimento, tomando como día uno el día que se les suministró el alimento por primera vez y el día final cuando las larvas comenzaron su fase de prepupa; además se realizó la toma de temperatura al interior de los larveros (figura 9), para conocer el comportamiento de esta.



Figura 9. Toma de temperaturas dentro de los larveros

3. Caracterización física y química de los subproductos generados después de la biotransformación

Después de la degradación los residuos, se hizo una separación manual de las larvas y el frass, utilizando diferentes cribas; La larva y el frass se pesaron por separado y se almacenaron en congelación a -20°C .

Elaboración de harina

Para caracterizar los subproductos del tratamiento de los residuos restauranteros, las larvas se secaron en una estufa a 100°C por 48 horas, este proceso de secado, también se llevó a cabo para el frass. Ambos subproductos fueron molidos y tamizados para tener un tamaño de partícula menor a 0.065 pulgadas y realizar la caracterización correspondiente.

Caracterización de los subproductos obtenidos

Las características físicas, y químicas que se midieron para la larva fueron las mismas de la caracterización previa de los residuos, pero incluyendo las variables productivas. En el caso del frass, se añadieron las determinaciones de carbono orgánico total, materia orgánica, densidad, retención de humedad, Ph y conductividad eléctrica, además de la clasificación del tipo de suelo.

Determinación de variables productivas

Para evaluar la eficacia de la larva como tratamiento de residuos restauranteros se calcularon las siguientes variables asociadas a la producción: peso ganado, tasa de crecimiento absoluto, eficiencia de conversión de alimento digerido (Giannetto et al., 2020) y supervivencia (Bulak et al., 2019).

Peso ganado

El peso ganado por las larvas se determinó mediante la diferencia del peso final de las larvas y el peso inicial de las larvas, este se calculó con la ec. 4.

$$PG = P1 - P2 \quad (4)$$

Dónde:

PG = Peso ganado

P1 = Peso corporal final (g)

P2 = Peso corporal inicial (g)

Tasa de crecimiento absoluto

La tasa de crecimiento absoluto de las larvas se calculó a través de la relación del peso ganado de las larvas y el número de días de cultivo, como lo muestra la ec. 5.

$$TG = \left(\frac{P1 - P2}{T} \right) \quad (5)$$

Dónde:

TG = Tasa de crecimiento absoluto

P1 = Peso corporal final (g)

P2 = Peso corporal inicial (g)

T = Duración de la prueba (días)

Reducción de sustrato

La reducción del sustrato se calculó mediante la relación del residuo total añadido y el alimento residual al final de los días del cultivo, por medio de la ec. 6.

$$\%RS = 100 \left(\frac{P1 - P2}{P3} \right) \quad (6)$$

Dónde:

%RS = Reducción del sustrato

P1 = Alimento total añadido (g)

P2 = alimento residual (g)

P3 = alimentación total añadida (g)

Conversión alimenticia

La conversión alimenticia se calculó usando la relación del alimento total agregado y la biomasa ganada de la larva mediante la ec.7. La cual se ha reportado como peso seco/ peso seco y peso seco/ peso húmedo

$$CA = \frac{P1}{P2} \quad (7)$$

Dónde:

CA = Conversión alimenticia

P1 = Alimento agregado (g)

P2 = Biomasa total ganada (g)

Relación de bioconversión

La relación de bioconversión se calculó usando el factor inverso de la conversión alimenticia, para determinar el porcentaje por medio de la ec. 8

$$\%RB = 100 \left(\frac{P1}{P2} \right) \quad (8)$$

Dónde:

% RB = Relación de bioconversión

P1 = biomasa total (g)

P2 = Alimentación añadida (g)

Eficiencia de conversión de alimento digerido

El valor de la eficiencia de conversión de alimento digerido se obtuvo por el cálculo de la relación entre el peso ganado (base seca) y la diferencia entre el alimento adicionado y el residuo generado por las larvas (base seca), utilizando la ec. 9.

$$\%ECD = 100 \left(\frac{P1 - P2}{P3 - P4} \right) \quad (9)$$

Dónde:

% ECD = Eficiencia de conversión de alimento digerido

P1= Peso seco de la larva final

P2 = Peso seco de la larva inicial

P3 = Alimento seco total ofrecido

P4 = Residuo seco remanente

Supervivencia

El valor de la supervivencia de las larvas de mosca soldado negro se determinó mediante la diferencia entre el número inicial y el número final de larvas. Dicho valor se reportó como porcentaje como muestra la ec. 10.

$$\%S = (P1 - P2)/10 \quad (10)$$

Dónde:

%S = Porcentaje de supervivencia

P1 = Número de larvas inicial

P2 = Numero de larvas final

Biometrías de la larva

Se seleccionaron 32 larvas completamente al azar por contenedor y se midió el largo, ancho por medio de un vernier; el peso de la larva se midió por medio de una balanza analítica.

Determinación del pH y conductividad eléctrica

La determinación del PH, se llevó a cabo en una solución 1:10 de suelo / agua destilada, obteniendo una solución sobrenadante de relación de suelo, medida por medio de un potenciómetro de acuerdo a la NOM-021-RECNAT—2000, Este mismo método se utilizó para medir la conductividad eléctrica.

Determinación de materia orgánica y carbono orgánico total.

La determinación de materia orgánica se realizó por medio del método de pérdida por ignición (LOI) donde se utilizó 1 g de la muestra seca, y se calcinó en a 375° C durante 16 h, se tomó el peso y se calculó la m.o. por medio de la ec.11.

$$\%M.O. = 100 \left(\frac{P1 - P2}{P1} \right) \quad (11)$$

Dónde:

%M.O. = materia orgánica

P1 = peso seco de la muestra

P2 = peso de la muestra calcinada

Una vez determinada la materia orgánica, se multiplico por un factor de 1 / 1.724 para determinar el carbono orgánico total.

Determinación de la densidad

El valor de la densidad se realizó utilizando un contenedor de volumen conocido (probeta 100 ml) donde se llenó de muestra de frass (peso seco) hasta llegar a los 100 ml, la cual se pesó y se calculó la densidad por medio de la ec. 12.

$$D = \left(\frac{m}{v} \right) \quad (12)$$

Dónde:

D = densidad

m = peso de la muestra

v = volumen del contenedor

Determinación de la retención de humedad

Para esta determinación, se utilizó las muestras utilizadas de la densidad, donde, una vez conocido el peso de la muestra, se llevó a saturación con agua destilada, y se dejó reposar durante 1h, posteriormente se llevó la muestra saturada a una bomba de vacío que contenía papel filtro, y se encendió para separar el exceso de agua; la bomba se mantuvo encendida hasta que cayeran 4 o menos gotas de agua por minuto; posteriormente se pesó la muestra húmeda y se llevó a secar a 100° C hasta quedar en peso constante. Después se pesó la muestra seca, y se calculó la retención de humedad por medio de la diferencia de pesos y usando la ec. 1, correspondiente al porcentaje de humedad.

Determinación del tipo de suelo

El tipo de suelo se determinó por medio de la granulometría de suelos, donde se utilizaron los tamices del 1 al 10 de la serie Taylor. Este método consistió en tamizar el frass de cada uno de los tratamientos y pesar el frass retenido en cada uno de los tamices, posteriormente se calculó el porcentaje de acuerdo al peso total y el peso retenido. Después se utilizó el triángulo de la textura (figura 10) de suelos para clasificarlo.

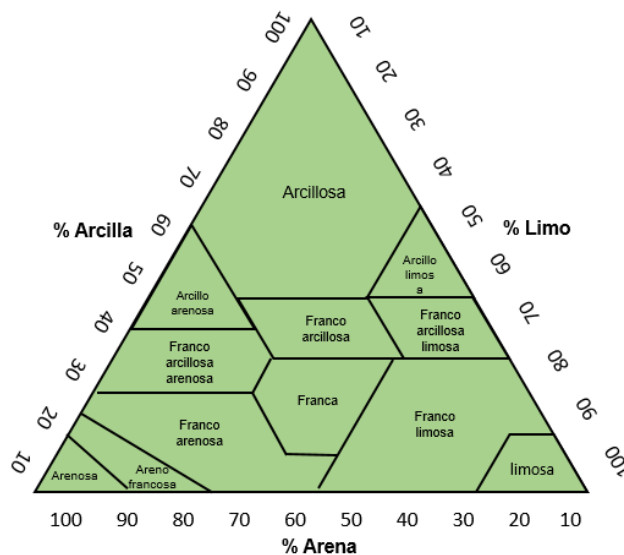


Figura 10. Triángulo de textura de suelos.

4. Determinación de la magnitud de la revalorización lograda

La determinación de la revalorización de los residuos restauranteros, se llevó a cabo a partir de las características proximales bromatológicas de la harina de larva obtenida de la biotransformación de estos comparada con las características de larva cultivada en una dieta estándar (Gainesville), y las características físico-químicas del frass comparadas con el frass obtenido de la misma dieta estándar y humus de lombriz.

Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar para cada residuo de restaurante y sus tratamientos sobre las características de la larva y el frass. Todas las determinaciones antes mencionadas se realizaron por triplicado, y posteriormente se evaluaron mediante un análisis de varianza (ADEVA), donde los datos fueron normales. Cuando el ADEVA mostró un efecto por parte de los factores de variación, se realizó una prueba de Tukey, con un 95 % de confianza, para evidenciar la diferencia entre los tratamientos.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. Obtención de residuos restauranteros y su caracterización bromatológica

Obtención de los residuos

Los residuos restauranteros obtenidos que se utilizaron para esta investigación fueron de fonda, desayunería, marisquería y cafetería. La descripción del contenido de los residuos, así como la frecuencia de recolección se presentan en la tabla 2.

Tabla 2. Descripción de los restaurantes y frecuencia de recolección.

Tipo de restaurante	Descripción de los residuos	Residuos generados al día	Núm. de recolecciones
Fonda	Porción de carbohidratos (arroz, espagueti, tortillas), porción de proteína (carne, pollo, huevo), porción de vegetales y frutas (lechuga, zanahoria, Jamaica, tomate)	9-12 kg	20
Desayunería	Porción de carbohidratos (arroz, espagueti, tortillas), porción de proteína (carne, pollo, huevo), mayor porción de vegetales y frutas (zanahoria, naranja, betabel, lechuga, jitomate)	0.5-1.2 kg	35
Marisquería	Porción de carbohidratos (tostadas), porción de proteína (pescado, pulpo, ostión, camarón, carne), porción de frutas y vegetales (mango, cebolla, jitomate, naranja, cilantro).	2-3.5 kg	20

Cafetería	Porción de carbohidratos (hot cakes, pan, crepas, waffles, galletas), porción de proteína (huevo, pollo), porción de frutas y vegetales (fresas, plátano, lechuga) Productos lácteos (leche, queso) y granos de café.	0.5-2 kg	31
-----------	--	----------	----

En la figura 11 se puede apreciar el contenido de los residuos restauranteros



Figura 11. Residuos restauranteros obtenidos

Caracterización físico-química de los residuos

El contenido de humedad de los residuos restauranteros usados como sustratos varió entre el 68% y 85%, siendo el de Marisquería el más alto y el de Cafetería el más bajo. En general, la composición nutrimental varió entre los sustratos. La cantidad de proteína, los azúcares totales, así como la grasa cruda y cenizas se pueden observar en la tabla 3, donde además se incluye la composición de la dieta balanceada Gainesville (Arabzadeh et al., 2022).

Tabla 3. Composición proximal bromatológica de los residuos restauranteros con n = 3.

Sustrato	Humedad (%)	Cenizas (%)	Azúcares totales (%)	Grasas cruda (%)	Proteína (%)
Fonda	77.94 ± 0.85	11.10 ± 0.52	27.91 ± 1.13	26.56 ± 1.56	17.97 ± 1.20
Desayunería	77.81 ± 0.68	10.08 ± 1.46	37.28 ± 2.51	26.54 ± 1.66	17.22 ± 1.52
Marisquería	85.19 ± 0.15	5.36 ± 0.51	29.08 ± 1.59	26.67 ± 1.63	14.66 ± 1.18
Cafetería	68.78 ± 0.48	9.04 ± 1.46	17.04 ± 1.53	26.49 ± 1.63	13.31 ± 0.85
Gainesville	70.06 ± 0.31 ^a	4.98 ± 0.05 ^a	30.08 ± 0.16 ^a	3.29 ± 1.21 ^a	12.46 ± 0.08 ^a

^aArabzadeh et al. (2022)

Condiciones ambientales

La temperatura del espacio seleccionado donde se llevó a cabo la biotransformación se mantuvo en el rango de 25.5 – 27.5 ° C y la HR varió entre el 65 y 80 %. Estos se encuentran dentro de las condiciones ambientales adecuadas para el correcto desarrollo de la larva (Diener et al., 2009; Tomberlin et al., 2009; Holmes et al., 2010) La malla antiáfidos colocada a la entrada del espacio evitó la contaminación del experimento principalmente de la mosca doméstica.

2. Evaluación de la eficiencia de degradación de los residuos usando de larva de mosca soldado negro

Determinación del tiempo de degradación de los residuos

El tiempo de degradación de los residuos se mantuvo igual para la mayoría de los sustratos (8 – 10 días), exceptuando el sustrato de cafetería que tuvo una duración de 8 – 9 días, esto es comparable con lo reportado usando la dieta Gainesville, que tiene una media de 7 – 10 días (Gligorestcu et al., 2018). Sin embargo, la duración del experimento hasta la primera prepupa es menor que lo reportado en otros residuos orgánicos (Nyakeri et al. 2019; Ermolaev et al., 2019), pero similar a residuos de comida utilizados (Gligorestcu et al., 2020). Dado que en la mayoría de las investigaciones el alimento suministrado se reporta como gramo por larva por día (g/l/d), en la Tabla 4, donde se muestra la duración del experimento, se puede observar esta relación.

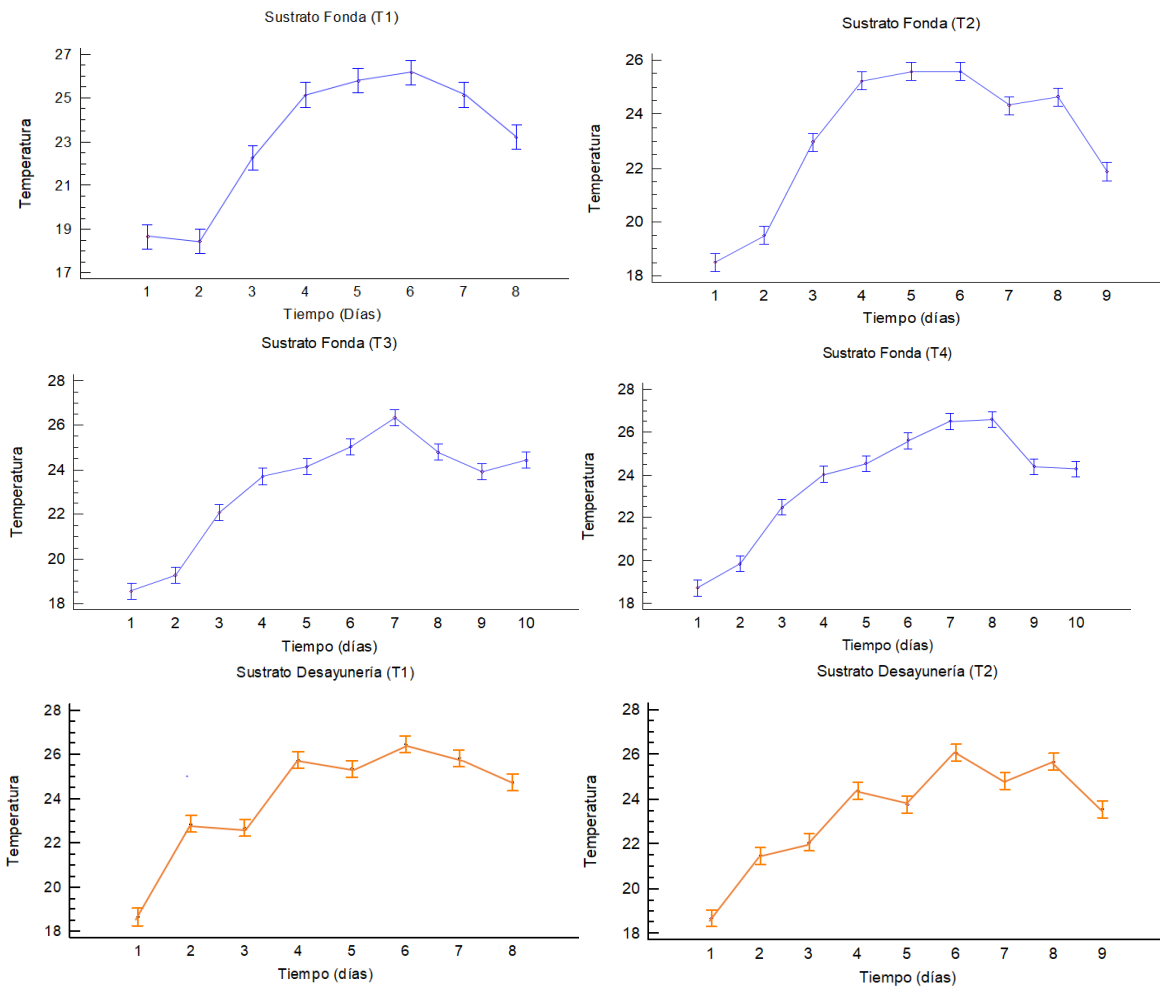
Tabla 4. Duración del experimento hasta el inicio de la fase de prepupa con n = 3.

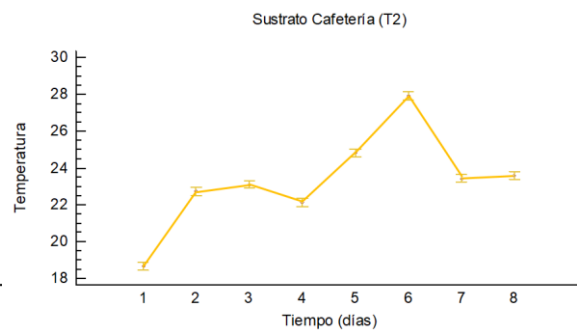
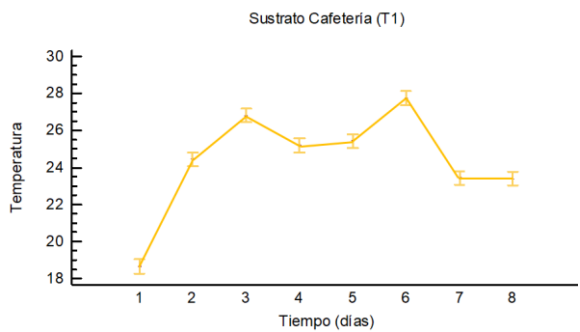
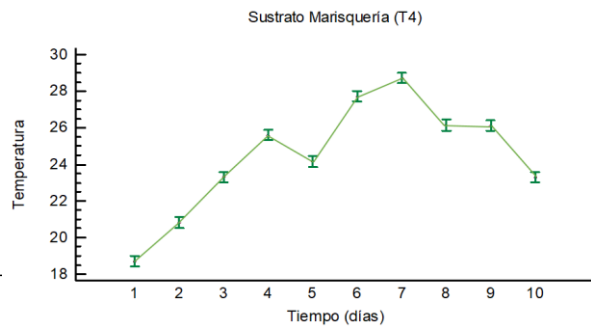
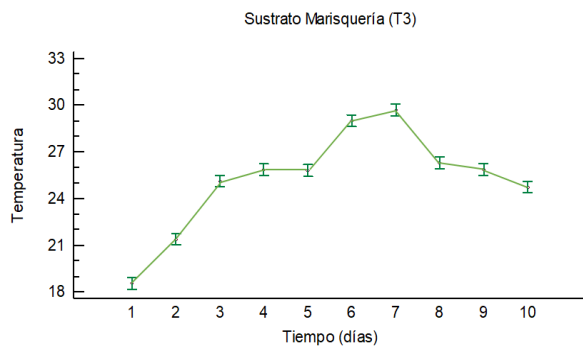
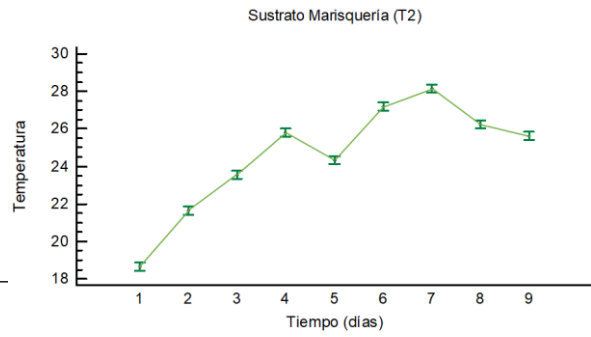
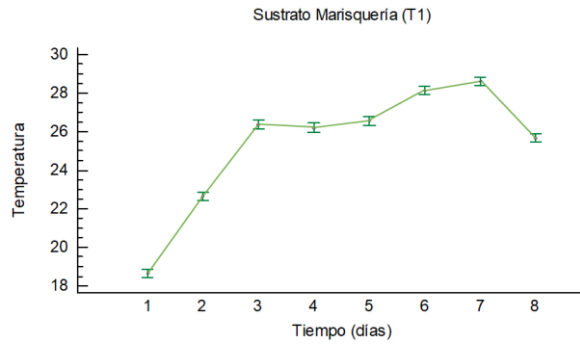
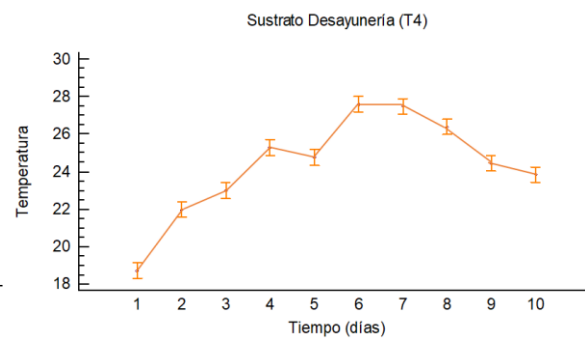
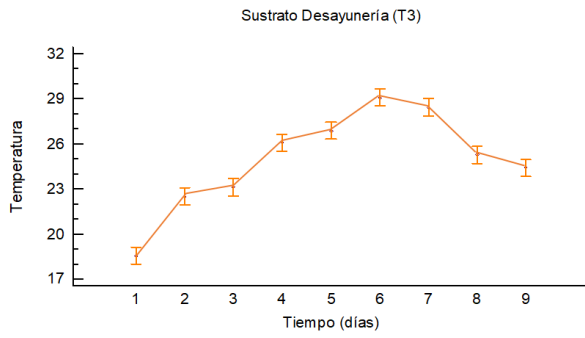
Sustrato		Alimento total suministrado (g)	Tipo de alimentación	Días hasta la aparición de prepupa	(g / l* / día)
Fonda	T1	1500	Única	8	187.5
	T2	1500	Dosificada	9	166
	T3	2000	Única	9	222.22
	T4	2000	Dosificada	10	200
Desayunería	T1	1500	Única	8	187.5
	T2	1500	Dosificada	9	166
	T3	2000	Única	9	222.22
	T4	2000	Dosificada	10	200
Marisquería	T1	1500	Única	8	187.5
	T2	1500	Dosificada	9	166
	T3	2000	Única	9	222.22
	T4	2000	Dosificada	10	200
Cafetería	T1	1500	Única	8	187.5

T2	1500	Dosificada	8	187.5
T3	2000	Única	8	187.5
T4	2000	Dosificada	9	222.22

El alimento suministrado en peso húmedo, *larva.

En cuanto a la temperatura medida dentro del sustrato, esta mostró una tendencia similar en cada uno de los tratamientos de cada residuo, en donde esta empezó a subir en el día dos del experimento y continuó con esa tendencia los siguientes días. La caída de la temperatura coincidió con la aparición de la prepupa como se puede apreciar en la figura 12.





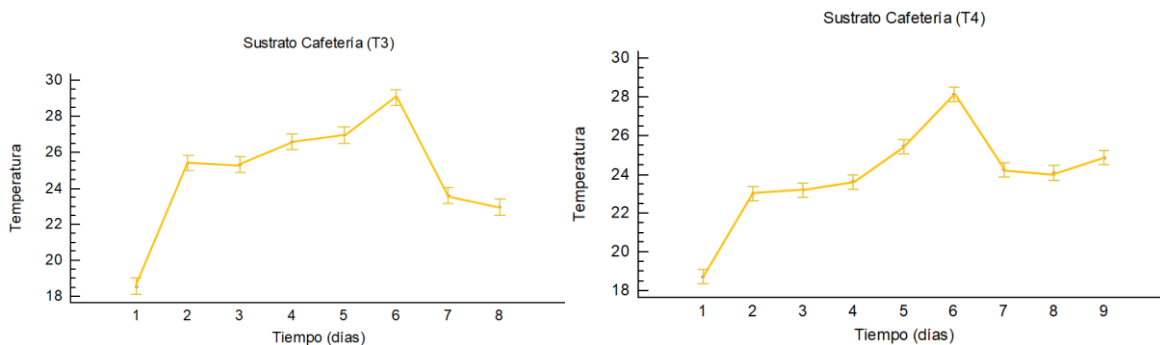


Figura 12. Temperaturas internas de cada uno de los sustratos en cada tratamiento. T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis, T3: 2.0 kg sustrato suministrado en una dosis, T4: 2.0 kg sustrato administrado en 4 dosis, n = 9. La temperatura se encuentra expresada en ° C.

Como se puede observar en la figura la temperatura dentro de los larvarios se mantuvo con un máximo de 30 ° C y un mínimo de 20 ° C (a partir de día 2), en todos los tratamientos de cada residuo, esto junto con la temperatura HR exterior permitió que la larva se desarrollara de manera adecuada.

3. Caracterización física y química de los subproductos generados después de la biotransformación

Características de la larva

La composición proximal bromatológica de la larva de cada residuo con su respectivo tratamiento se puede observar en la tabla 5.

Tabla 5. Composición proximal de LMSN cultivada en diferentes residuos restauranteros, medido en peso seco, con n = 3.

Sustrato	Humedad (%)	Cenizas (%)	Azúcares totales (%)	Grasa cruda (%)	Proteína (%)	
Fonda	T1	67.88 ± 0.54	16.69 ± 0.70	3.01 ± 0.95	10.75 ± 0.03	-
	T2	65.65 ± 3.03	15.60 ± 1.65	2.77 ± 0.83	16.64 ± 4.34	-
	T3	63.78 ± 1.96	19.33 ± 4.85	2.66 ± 0.45	12.12 ± 6.34	-
	T4	62.02 ± 1.41	15.42 ± 0.52	2.54 ± 0.25	10.49 ± 2.84	35.05 ± 0.28
Desyu naria	T1	64.16 ± 1.15	11.64 ± 0.31	3.13 ± 0.13	12.48 ± 0.44	-
	T2	62.80 ± 3.39	12.82 ± 0.71	3.70 ± 0.30	-	-

	T3	67.32 ± 0.46	11.31 ± 0.33	2.38 ± 0.52	12.16 ± 0.35	-
	T4	68.18 ± 1.21	12.03 ± 0.00	2.61 ± 0.25	11.36 ± 0.65	38.78 ± 0.52
Marisquería	T1	77.05 ± 0.12	13.36 ± 0.08	3.74 ± 0.36	6.62 ± 0.20	-
	T2	76.95 ± 0.46	11.76 ± 0.68	2.39 ± 0.19	6.21 ± 0.14	-
	T3	75.30 ± 2.36	11.69 ± 0.10	2.02 ± 0.31	7.30 ± 0.64	-
	T4	74.43 ± 0.27	11.70 ± 0.53	1.90 ± 0.47	-	41.79 ± 0.46
Cafetería	T1	74.74 ± 0.30	18.83 ± 1.88	4.79 ± 1.12	27.63 ± 0.13	-
	T2	69.37 ± 0.28	21.04 ± 2.80	5.40 ± 0.90	27.65 ± 0.19	-
	T3	73.00 ± 0.57	18.35 ± 0.18	2.83 ± 0.39	2.57 ± 1.93	-
	T4	71.53 ± 0.28	20.65 ± 0.78	7.36 ± 2.23	27.86 ± 0.52	34.59 ± 0.64
G	74.83 ± 0.69	9.60 ± 0.09	-	17.26 ± 1.81	38.60 ± 0.18	

T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis, T3: 2.0 kg sustrato suministrado en una dosis, T4: 2.0 kg sustrato administrado en 4 dosis. Las diferencias significativas entre los tratamientos se muestran en la tabla 6.

Determinación de variables productivas

El peso ganado de la larva varió según la dosis de sustrato administrada, así como la dosificación del sustrato. EL peso ganado de la larva por tratamiento por cada residuo se puede observar en las figuras 13 - 20 donde el peso inicial de la larva fue de 9.1 ± 0.01 mg (peso húmedo) para cada uno los tratamientos.

Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Fonda

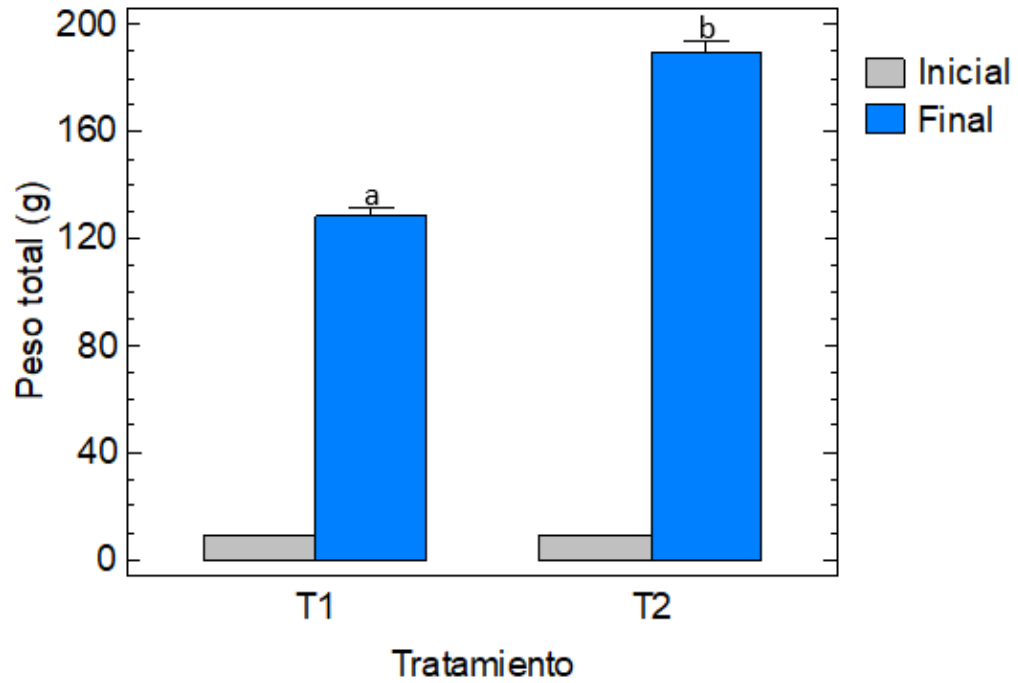


Figura 13. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Fonda (1.5) donde T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis. El peso ganado de la larva se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Fonda

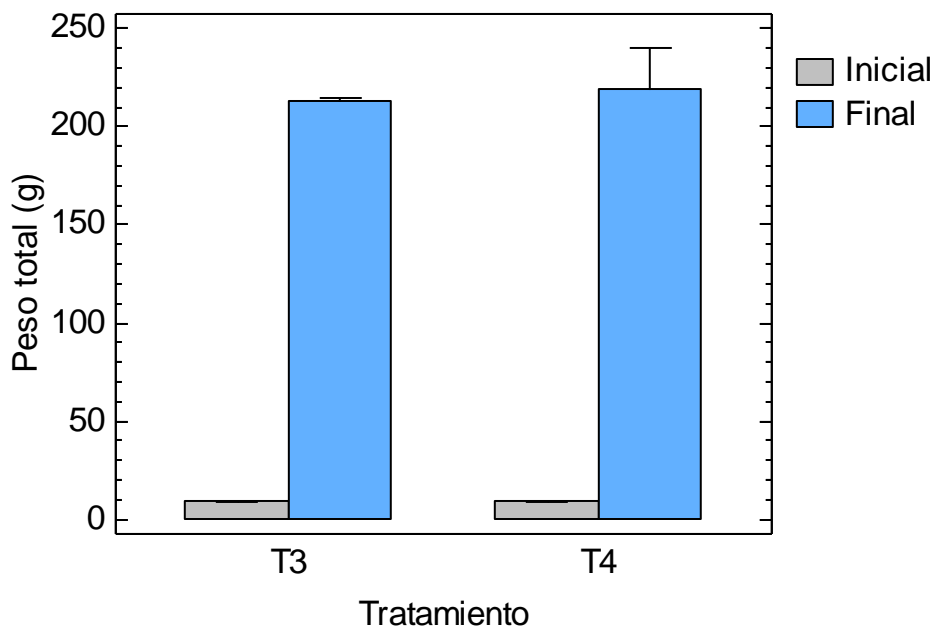


Figura 14. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Fonda (2)

T3: 2 kg sustrato suministrado a una dosis, T4: kg sustrato administrado en 4 dosis. El peso ganado de la larva se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Peso ganado de la larva crecida en sustrato Desayunería

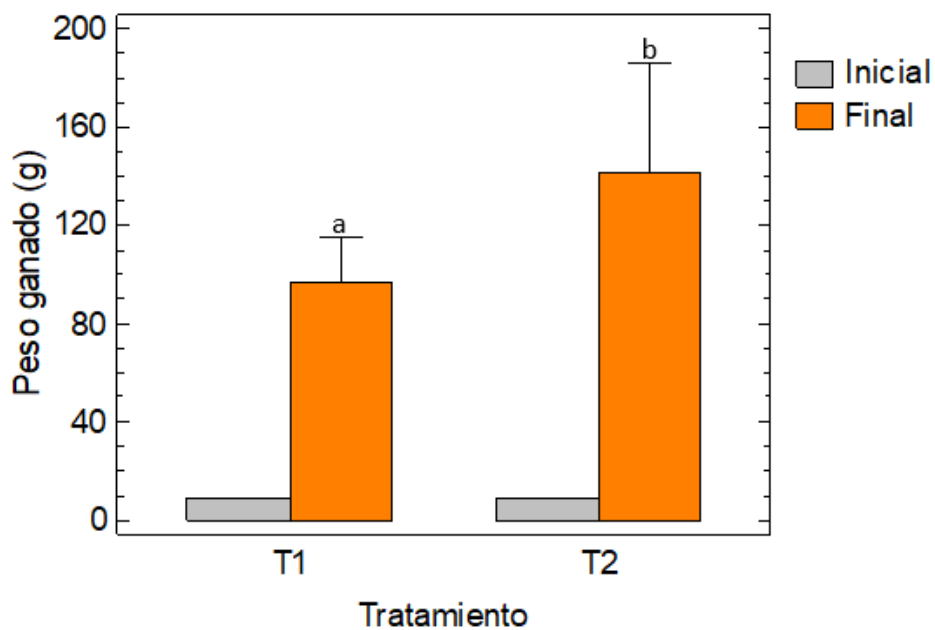


Figura 15. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Desayunería (1.5)
T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis. El peso ganado de la larva se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

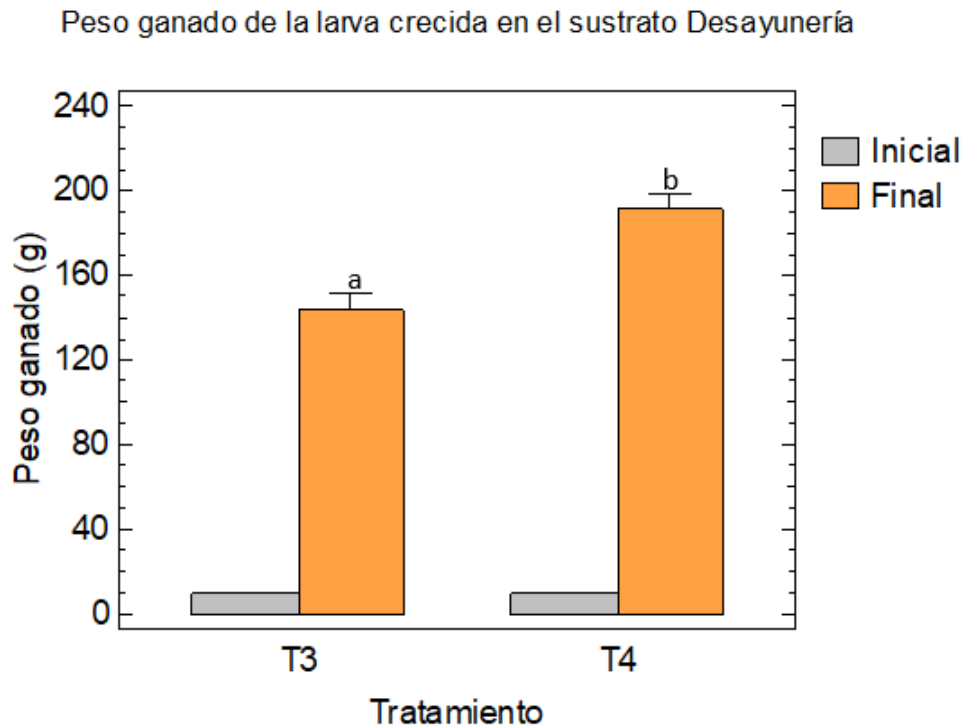


Figura 16. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Desayunería (2)
T3: 2 kg sustrato suministrado a una dosis, T4: kg sustrato administrado en 4 dosis. El peso ganado de la larva se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Marisquería

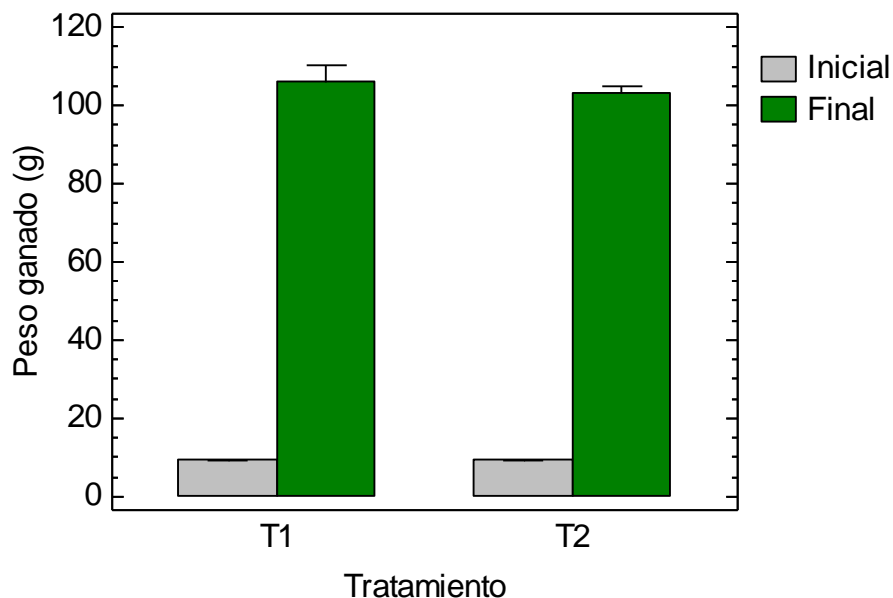


Figura 17. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Marisquería (1.5)
T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis. El peso ganado de la larva se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Marisquería

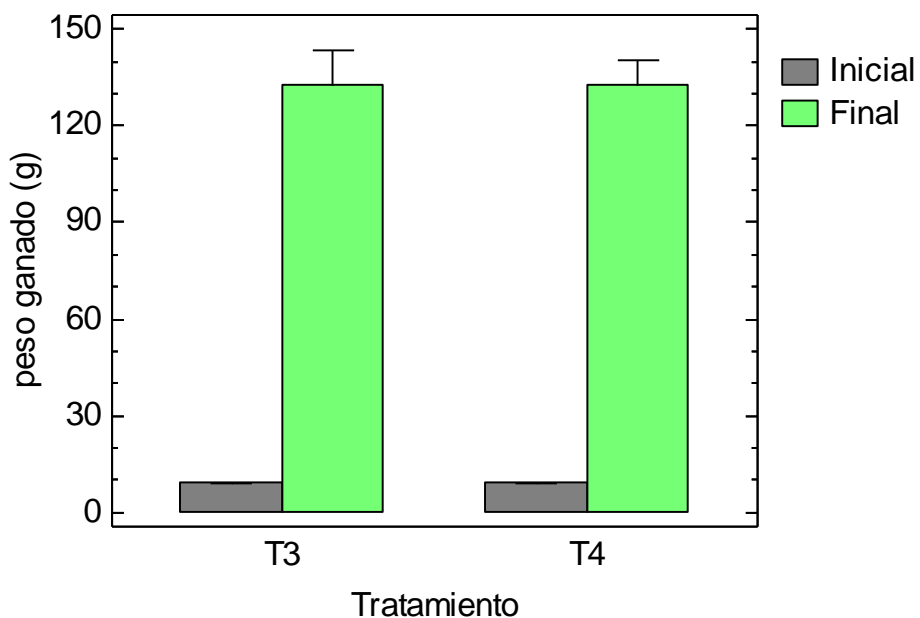


Figura 18. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Marisquería (2)
T3: 2 kg sustrato suministrado a una dosis, T4: kg sustrato administrado en 4 dosis. El peso ganado de la larva se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias

significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Cafetería

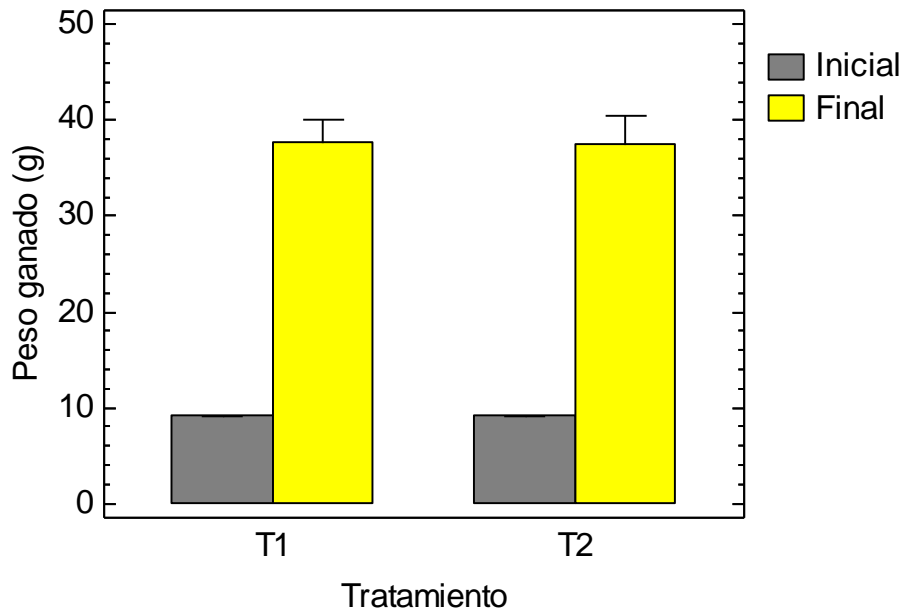


Figura 19. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Cafetería (1.5)

T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis. El peso ganado de la larva se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Cafetería

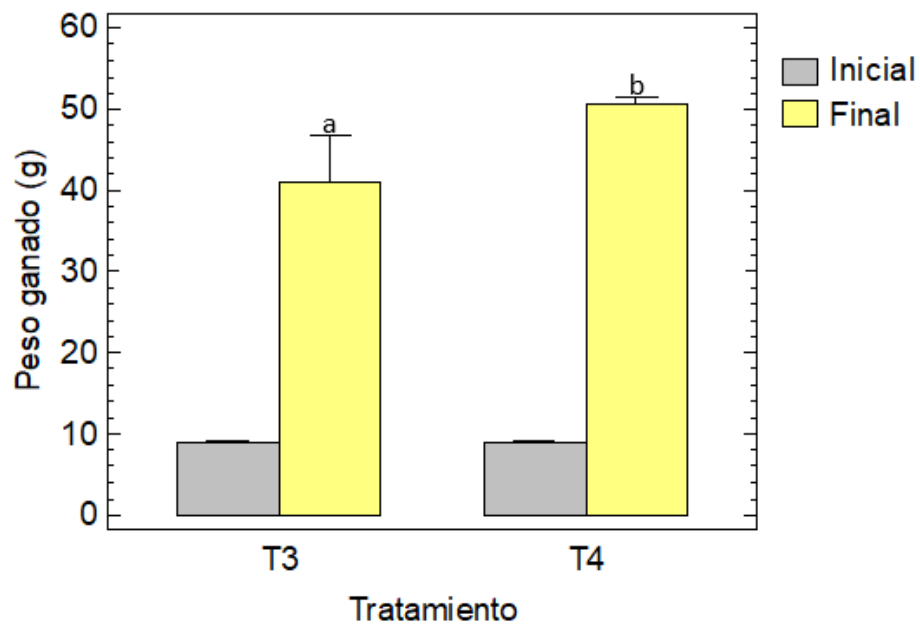


Figura 20. Peso ganado de la larva crecida en el sustrato Cafetería (2)
T3: 2 kg sustrato suministrado a una dosis, T4: kg sustrato administrado en 4 dosis. El peso ganado de la larva se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

. En el caso del sustrato Fonda, se puede observar que suministrando 150 mg/l en 4 dosificaciones aumenta el peso ganado de las larvas, obteniendo una mayor biomasa. Suministrando 200 mg / l se obtiene mayor biomasa respecto a 150 mg / l, sin embargo, no hay diferencias significativas entre el tratamiento con larvas alimentadas en 1 y 4 dosis. Esto puede deberse a que los 200 mg / l se acerca a la máxima cantidad de alimento que puede consumir una larva para el tipo de sustrato (Diener et al, 2009; Parra paz et al., 2015; Nyakeri et al. 2017)

Para el caso sustrato Desayunería, se observa que para ambas suministraciones (1.5 kg y 2 kg) la dosificación del sustrato aumenta el peso de la larva entre los tratamientos de manera significativa, e igual que en el Sustrato Fonda, el peso ganado es mayor con 200 mg /l.

Usando el sustrato Marisquería no hay diferencias significativas entre los tratamientos de alimentación única y dosificada, presentando una misma tendencia al obtener una biomasa mayor suministrando 2g / l.

Por el contrario, para el caso sustrato Cafetería, la biomasa ganada es menor que en los otros sustratos, con diferencias significativas entre alimentación única y dosificada para los tratamientos de 2g / l.

Variables productivas

Las variables productivas de la larva de mosca soldado negro GR tasa de crecimiento, FCR conversión alimenticia, BR bioconversión, ECD Eficiencia de conversión del sustrato digerido, Supervivencia y SR Reducción del sustrato, se muestran en la tabla 7. EL peso ganado (PS) no se muestra en la tabla, sin embargo, este fue utilizado para determinar las variables.

Tabla 6..Variables productivas de LMSN cultivada en diferentes residuos restauraneros, medidas en base seca con $n = 3$.

Sustrato	GR <i>mg/d</i>	FCR	BR (%)	ECD	S (%)	SR (%)	
Fonda	T1	4.69 ± 0.14	8.03 ± 0.21	12.45 ± 0.34	0.30 ± 0.06	99.30 ± 0.10	38.57 ± 7.29
	T2	6.82 ± 0.16	5.08 ± 0.11	19.67 ± 0.45	0.38 ± 0.03	99.43 ± 0.11	48.50 ± 5.05
	T3	8.13 ± 0.07	5.73 ± 0.04	17.42 ± 0.14	0.33 ± 0.05	99.53 ± 0.28	49.80 ± 8.42
	T4	7.95 ± 0.81	5.33 ± 0.49	18.85 ± 1.85	0.34 ± 0.06	99.13 ± 0.37	53.97 ± 11.09
Desyunería	T1	3.87 ± 0.84	9.89 ± 2.19	10.40 ± 2.04	0.25 ± 0.06	99.23 ± 0.20	36.27 ± 3.20
	T2	5.44 ± 1.84	6.87 ± 2.64	15.82 ± 4.98	0.48 ± 0.21	99.33 ± 0.11	31.45 ± 5.42
	T3	4.78 ± 0.30	9.51 ± 0.54	10.53 ± 0.61	0.39 ± 0.11	99.46 ± 0.20	25.87 ± 5.87
	T4	6.73 ± 0.27	6.25 ± 0.23	16.00 ± 0.62	0.32 ± 0.13	99.76 ± 0.05	41.89 ± 10.28
Marisquería	T1	3.41 ± 0.12	7.17 ± 0.23	13.95 ± 0.45	0.22 ± 0.05	99.46 ± 0.05	56.21 ± 14.71
	T2	2.23 ± 0.04	9.35 ± 0.16	10.69 ± 0.19	0.20 ± 0.04	99.33 ± 0.30	46.15 ± 10.17
	T3	3.22 ± 0.31	9.12 ± 0.81	11.01 ± 0.94	0.16 ± 0.03	99.40 ± 0.17	59.53 ± 5.59
	T4	3.09 ± 0.20	8.77 ± 0.52	11.42 ± 0.69	0.18 ± 0.01	99.50 ± 0.10	54.83 ± 4.09
Cafetería	T1	0.83 ± 0.08	49.41 ± 3.19	2.02 ± 0.12	0.04 ± 0.00	99.73 ± 0.05	28.41 ± 0.54
	T2	0.97 ± 0.12	41.15 ± 3.49	2.44 ± 0.20	0.06 ± 0.01	99.23 ± 0.25	26.49 ± 2.05
	T3	0.92 ± 0.19	57.25 ± 8.61	1.77 ± 0.25	0.03 ± 0.01	99.00 ± 0.10	33.09 ± 7.65
	T4	0.81 ± 0.02	57.02 ± 1.08	1.75 ± 0.03	0.03 ± 0.00	99.40 ± 0.10	33.45 ± 2.61
G	-	-	10.05 ± 0.27	0.14 ± 0.00	95.42 ± 1.57	26.52 ± 0.85	

T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis, T3: 2.0 kg sustrato suministrado en una dosis, T4: 2.0 kg sustrato administrado en 4 dosis, G: dieta Gainesville. Diferentes letras (a, b) en la misma columna muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

La tasa de crecimiento en el sustrato Marisquería y Cafetería es significativamente menor que los sustratos de Fonda y Desayunería, que para el caso Marisquería puede deberse a una mayor humedad, quedando poca biomasa para ser consumida. Por el contrario, en el caso Cafetería, la humedad es similar a los otros sustratos, sin embargo, su tasa de crecimiento es menor, lo que se puede adjudicar a los alimentos que componen este sustrato, principalmente conformado por granos

de café, que contienen celulosa y hemicelulosa, estructuras de las cuales la larva no contiene enzimas para su digestión (Gold et al., 2018)

El porcentaje de supervivencia de la larva no mostró diferencias significativas entre tratamientos, con un alto porcentaje, sin embargo, en la dieta estándar (Gainesville) el porcentaje de supervivencia es menor, con diferencia estadística significativa. Según lo reportado por Barragán-Fonseca et al. (2018), el contenido de carbohidratos no fibrosos y de proteína en la dieta de la larva influyen de manera directa sobre el porcentaje de supervivencia, sin embargo, en este caso la cantidad de proteína de todos los sustratos fue similar entre ellas por lo que se podría adjudicar el alto porcentaje de supervivencia a la temperatura del experimento, donde la dieta Gainesville ha reportado temperaturas de hasta 45° C, condiciones no aptas para el desarrollo y supervivencia de LMSN.

LMSN redujo en un alto porcentaje el sustrato en los sustratos Fonda y Desayunería, comparados con la dieta Gainesville. El porcentaje de reducción del sustrato fue mayor en el sustrato Marisquería, sin embargo, la tasa de crecimiento es menor que otros sustratos, por lo que, al estar presentado en peso seco, parte de la reducción del sustrato se le puede atribuir a la cantidad de humedad. Por el contrario, en el sustrato Cafetería, el porcentaje de reducción del sustrato fue muy bajo, lo cual supondría poco consumo del alimento, lo que coincide con el peso ganado y la baja tasa de crecimiento (tabla 7).

La reducción del sustrato en base húmeda se puede observar en las figuras 21 – 28. donde se muestra gráficamente el peso perdido por acción de LMSN.

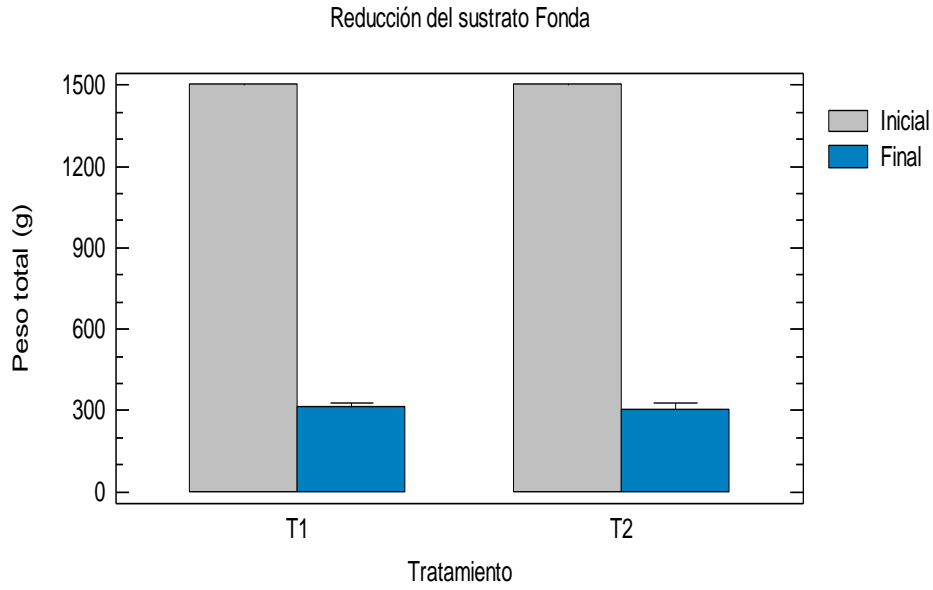


Figura 21. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Fonda (1.5)
 T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis. La reducción del sustrato se muestra en peso húmedo. Los resultados no mostraron diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

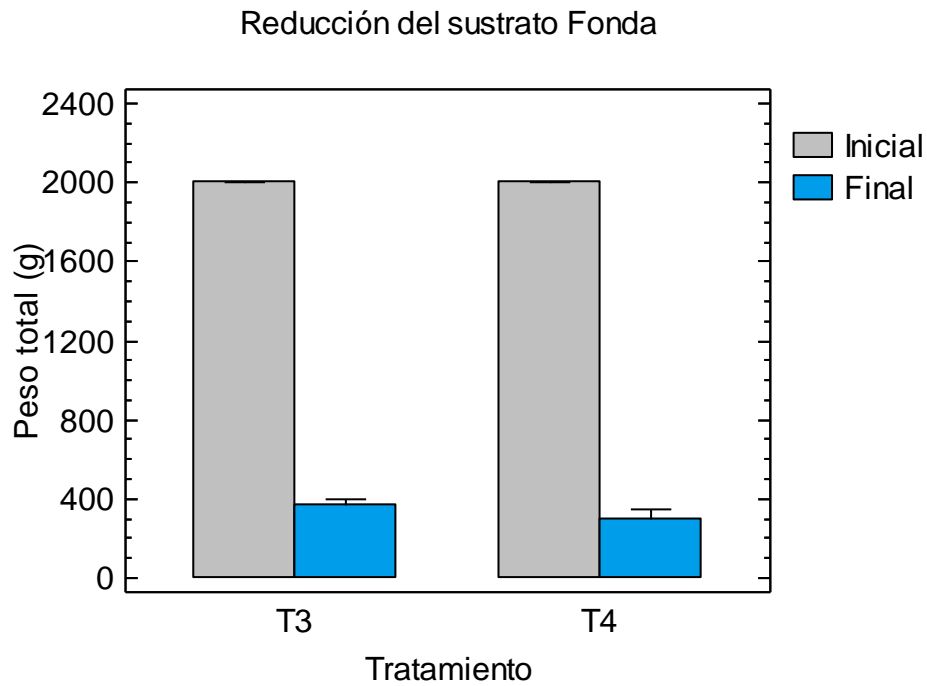


Figura 22. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Fonda (2)
 T3: 2 kg sustrato suministrado a una dosis, T4: kg sustrato administrado en 4 dosis. La reducción del sustrato se muestra en peso húmedo. Los resultados no muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Reducción del sustrato Desayunería

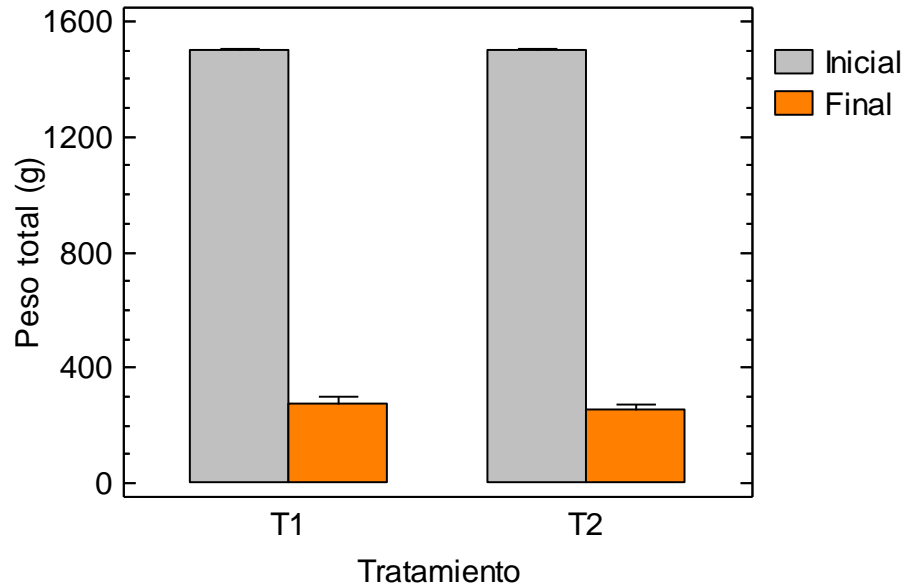


Figura 23. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Desayunería (1.5)

T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis. La reducción del sustrato se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Reducción del Sustrato Desayunería

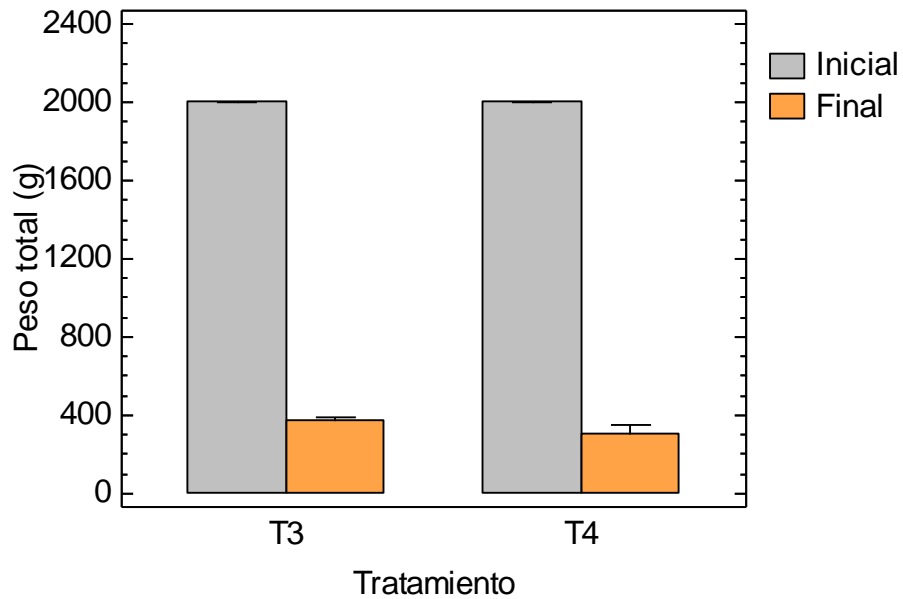


Figura 24. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Desayunería (2)

T3: 2 kg sustrato suministrado a una dosis, T4: kg sustrato administrado en 4 dosis. La reducción del sustrato se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas

entre tratamientos ($p < 0.05$).

Reducción del sustrato Marisquería

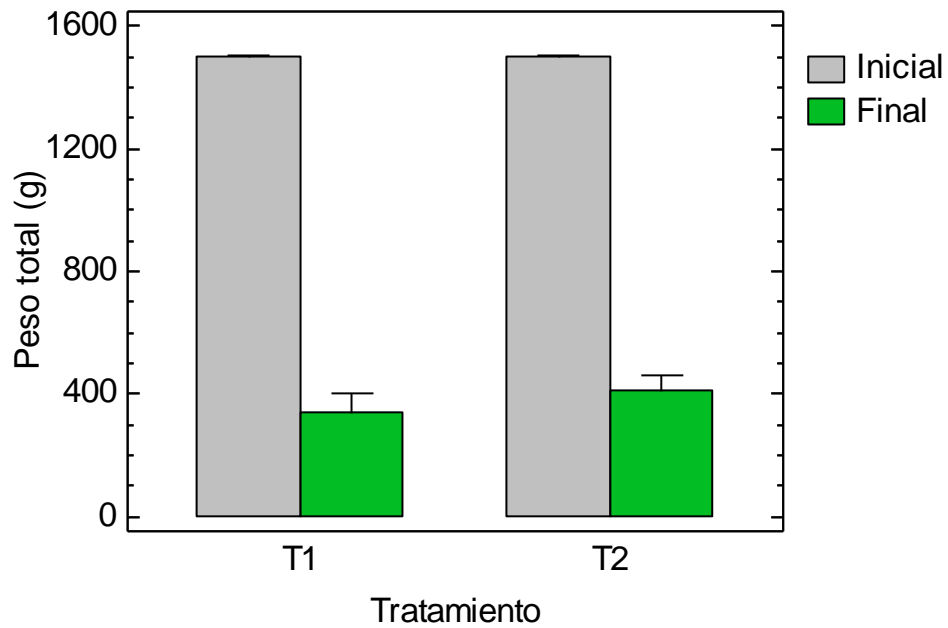


Figura 25. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Marisquería (1.5)

T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis. La reducción del sustrato se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Reducción del sustrato Marisquería

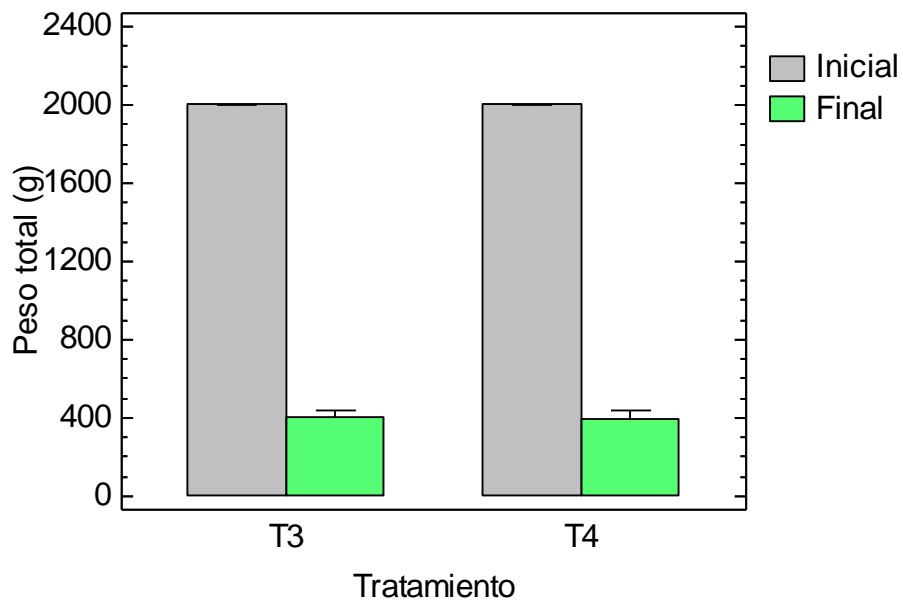


Figura 26.. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Marisquería (2)

T3: 2 kg sustrato suministrado a una dosis, T4: kg sustrato administrado en 4 dosis. La reducción del sustrato se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

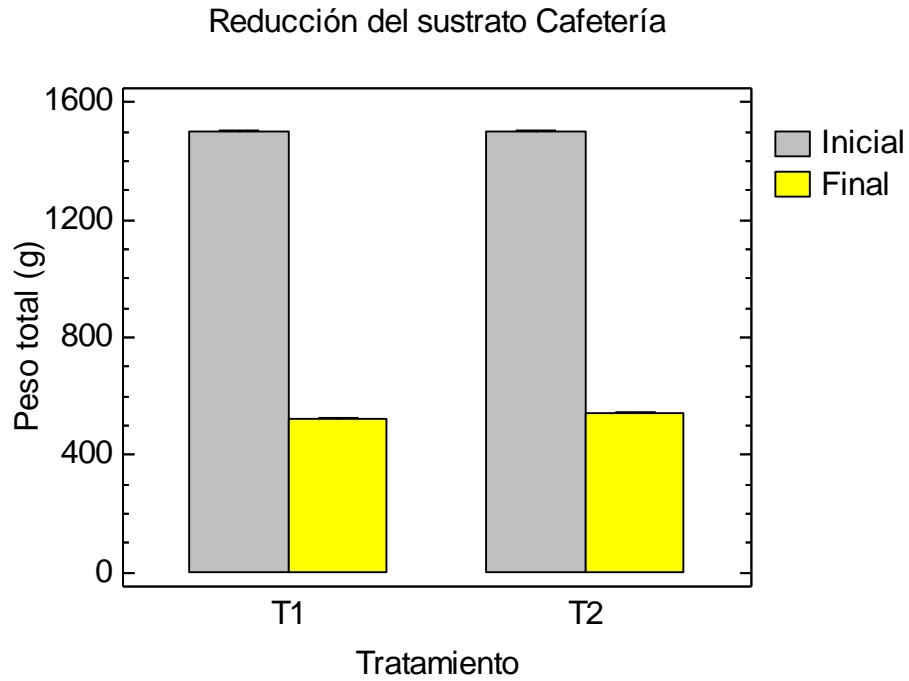


Figura 27. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Cafetería (1.5)

T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis. La reducción del sustrato se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Reducción del sustrato Cafetería

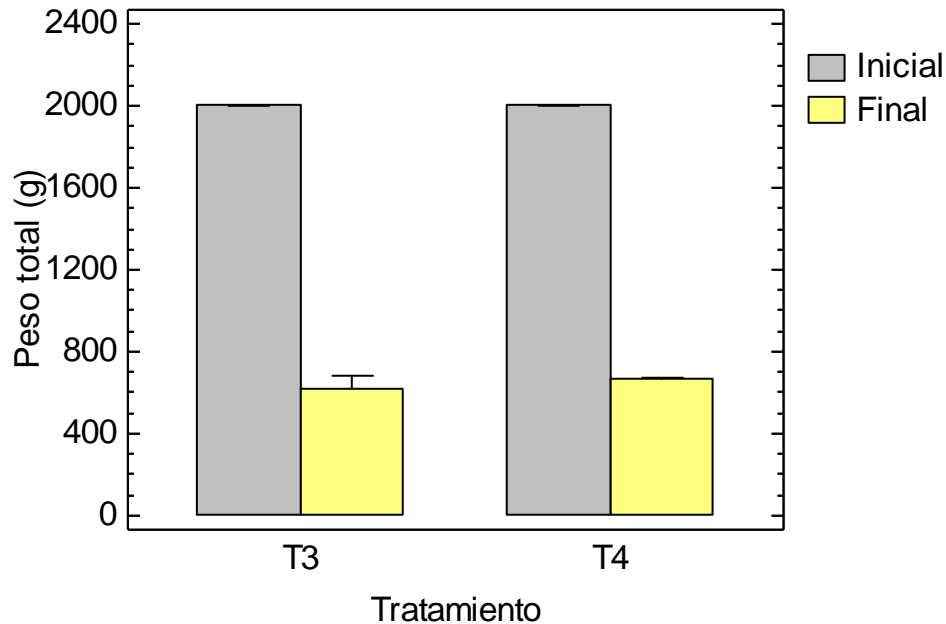


Figura 28. Reducción del Sustrato en peso del Sustrato Cafetería (2)

T3: 2 kg sustrato suministrado a una dosis, T4: kg sustrato administrado en 4 dosis. La reducción del sustrato se muestra en peso húmedo. Diferentes letras (a, b) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

La reducción del Sustrato no mostró diferencias significativas entre los tratamientos a una dosis y a cuatro dosis con 1.5 kg y 2.0 suministrados con el mismo sustrato, por lo que en cuanto a tratamiento de residuos se refiere, ambos tratamientos (una dosis y dosificada) son igualmente útiles.

La tasa de bioconversión, así como la ECD, y FCR son relaciones entre el alimento consumido y el crecimiento de la larva. Donde la tasa de bioconversión y la ECD de todos los sustratos (), exceptuando sustrato Cafetería, fueron mayores que la dieta Gainesville (10) esto debido probablemente a un valor más alto de proteína y/o a carbohidratos no fibrosos (Barragán-Fonseca et al. (2018), aunque debe considerarse la calidad de estos (Oonincx et al., 2015).

El FCR es un indicador de cuanto alimento consumido se convirtió en biomasa larvaria (Gianetto et al. 2020). Por lo que un FCR menor, indica mejor proporción de alimento asimilado. El FCR más bajo reportado utilizando LMSN es de 1.11, sin

embargo, se considera bueno un valor de FCR si el valor se encuentra cercano al de las dietas estándar formuladas (Gainesville y alimento para pollo) que oscila alrededor de 4.96 ± 0.96 (Shahida et al., 2022).

En las siguientes figuras (29 – 32) se muestra el FCR para cada sustrato medido en húmedo

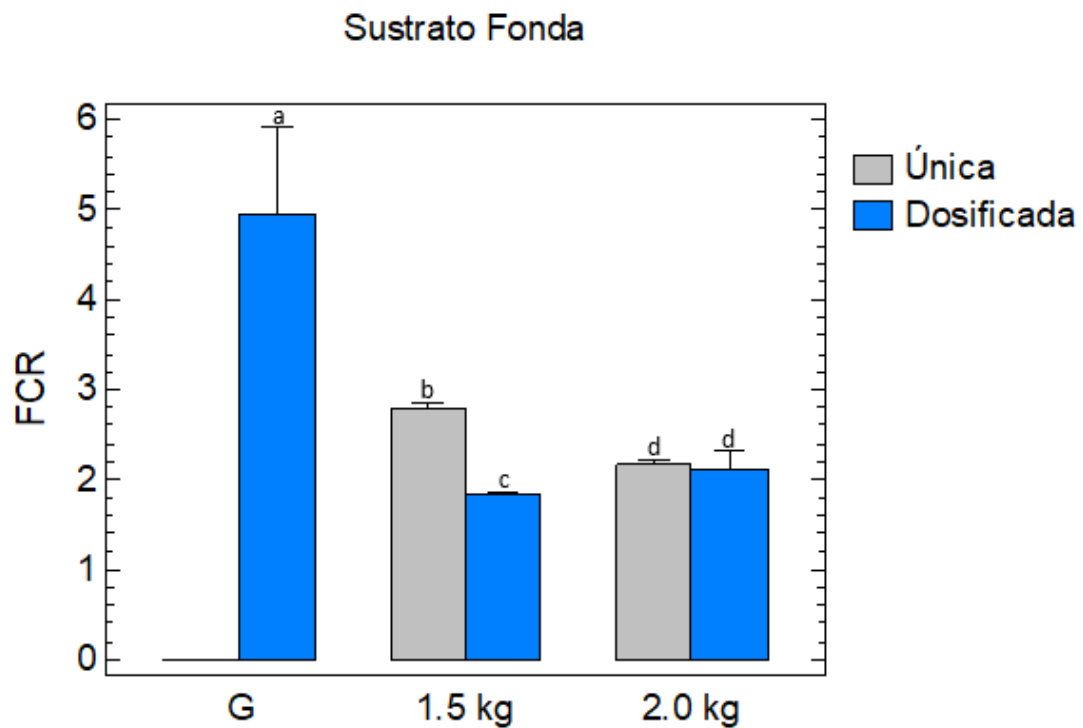


Figura 29.FCR del Sustrato Fonda

T1: G: dieta Gainesville. El FCR se muestra en peso seco/ peso húmedo (Sustrato administrado / biomasa ganada) (Danieli et al., 2019; Broeckx et al., 2021) Diferentes letras (a, b, c, d) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Sustrato Desayunería

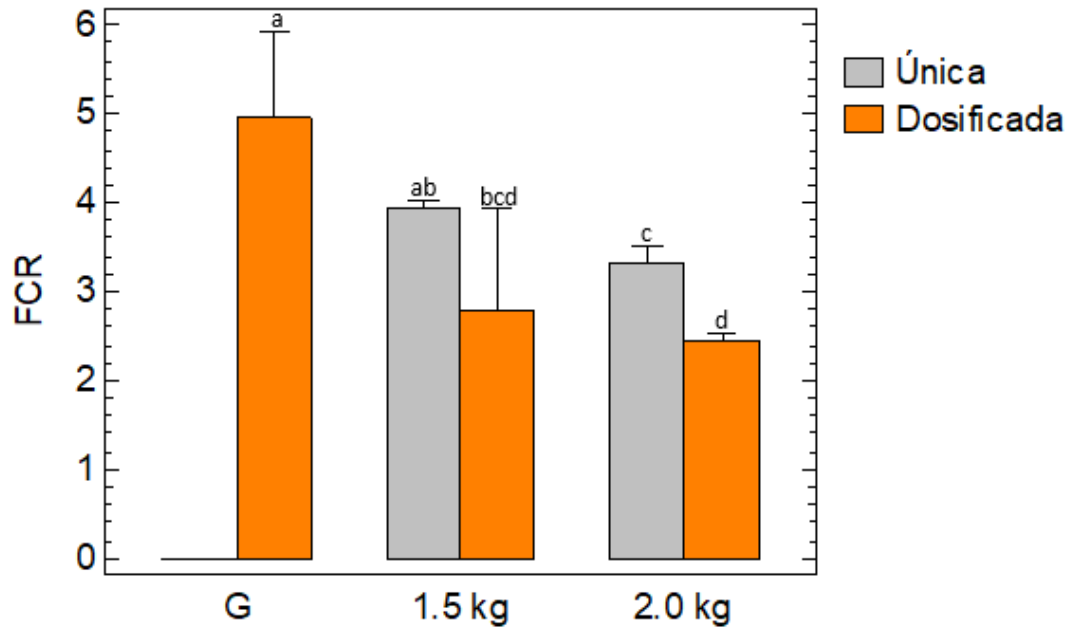


Figura 30.FCR del Sustrato Desayunería
G: dieta Gainesville. El FCR se muestra en peso seco/ peso húmedo (Sustrato administrado / biomasa ganada) (Danieli et al., 2019; Broeckx et al., 2021) Diferentes letras (a, b, c, d) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Sustrato Marisquería

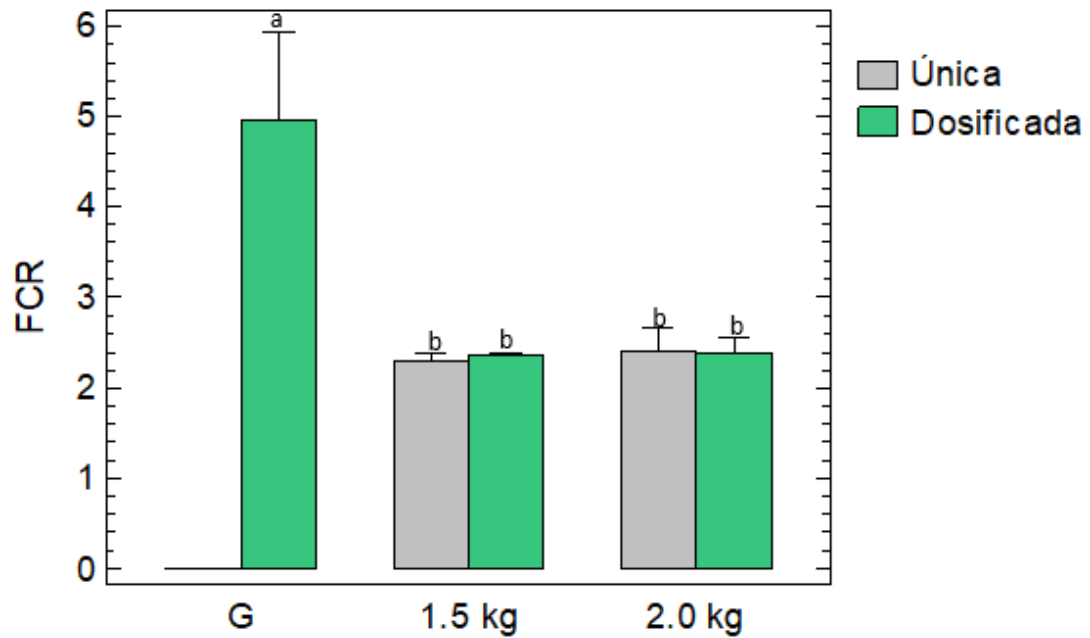


Figura 31.FCR del Sustrato Marisquería
T1: G: dieta Gainesville. El FCR se muestra en peso seco/ peso húmedo (Sustrato administrado / biomasa ganada) (Danieli et al., 2019; Broeckx et al., 2021) Diferentes letras (a, b, c, d) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Sustrato Cafetería

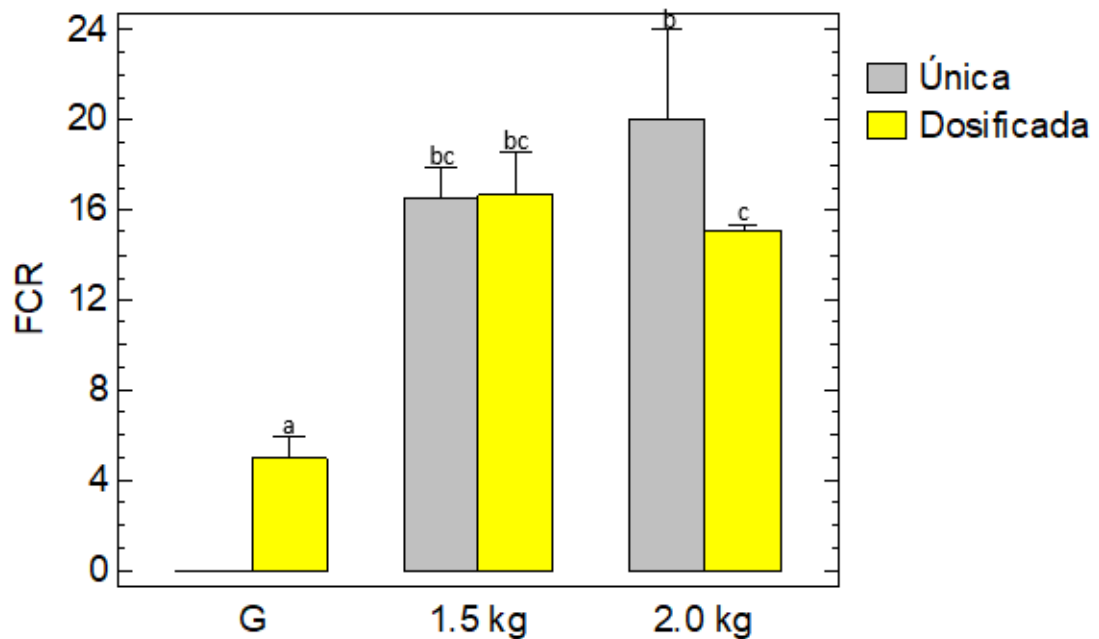


Figura 32.FCR del Sustrato Cafetería

G: dieta Gainesville. El FCR se muestra en peso seco/ peso húmedo (Sustrato administrado / biomasa ganada) (Danieli et al., 2019; Broeckx et al., 2021) Diferentes letras (a, b, c, d) muestran diferencias significativas entre tratamientos ($p < 0.05$).

Los tres primeros sustratos muestran un FCR menor que la dieta estándar, por el contrario, el sustrato Cafetería muestra un valor más alto que la dieta estándar.

La larva crecida en los residuos restauranteros mostró gran cantidad de biomasa (mg / l) para el residuo de Fonda (116 - 234) y para el residuo de desayuno (65 - 190) además de un bajo FCR, así como alta cantidad de proteína (34 - 42), comparada con la dieta Gainesville. Además, la reducción del sustrato se llevó a cabo en poco tiempo (<10 días) comparado con otras técnicas como la composta tradicional (90 días).

Caracterización proximal bromatológica del frass

Tabla 7.Composición proximal bromatológica de frass derivado de la biotransformación de diferentes residuos restauranteros usando LMSN, medido en base seca con $n = 3$.

Sustrato	Humedad (%)	Cenizas (%)	Azúcares totales (%)	Grasa cruda (%)	
Fonda	T1	35.20 ± 3.94	18.05 ± 0.75	18.03 ± 3.00	10.76 ± 0.12
	T2	43.06 ± 1.38	19.45 ± 2.95	17.11 ± 1.53	13.90 ± 1.45
	T3	39.48 ± 7.09	20.49 ± 1.04	13.35 ± 1.05	9.56 ± 1.88
	T4	32.71 ± 5.10	20.24 ± 1.11	14.80 ± 2.51	8.64 ± 0.00
Desayunería	T1	35.06 ± 6.00	13.67 ± 2.91	22.50 ± 1.94	7.53 ± 0.37
	T2	40.84 ± 0.18	14.12 ± 1.32	26.24 ± 5.94	6.22 ± 0.07
	T3	38.17 ± 0.21	13.89 ± 0.76	22.98 ± 1.53	3.96 ± 0.09
	T4	31.78 ± 1.34	21.06 ± 6.37	10.01 ± 0.59	5.92 ± 3.03
Maris querí	T1	71.35 ± 5.87	12.65 ± 0.88	15.16 ± 2.18	0.72 ± 0.00
	T2	70.86 ± 1.91	10.80 ± 0.60	15.37 ± 2.22	0.70 ± 0.04

Cafetería	T3	70.14 ± 1.69	13.23 ± 4.52	12.39 ± 3.36	0.70 ± 0.15
	T4	65.50 ± 4.16	11.95 ± 1.06	19.85 ± 1.79	0.85 ± 0.03
	T1	35.66 ± 1.03	17.85 ± 0.48	1.57 ± 0.34	2.98 ± 0.00
	T2	36.10 ± 2.26	15.90 ± 0.30	1.74 ± 0.05	3.19 ± 0.13
	T3	32.32 ± 0.84	17.88 ± 1.66	1.84 ± 0.52	2.70 ± 0.01
	T4	37.07 ± 1.02	16.97 ± 1.30	2.50 ± 1.65	2.59 ± 0.13
		22.09 ± 0.62	11.86 ± 0.16		

T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis, T3: 2.0 kg sustrato suministrado en una dosis, T4: 2.0 kg sustrato administrado en 4 dosis

El frass derivado de los residuos restauranteros mostró un aumento en la cantidad de cenizas respecto a la cantidad mostrada en el residuo antes de la biotransformación, lo que puede indicar un alto contenido de minerales que pueden ser aprovechables para el desarrollo de cultivos agrícolas. Por otro lado, muestra una cantidad alta de azúcares y grasas, lo que sugiere que parte del sustrato es materia no digerida por la larva.

Caracterización físico – química del frass

Tabla 8. Composición físico – química de frass derivado de la biotransformación de diferentes residuos restauranteros usando LMSN, medio en base seca, con n = 3

Sustrato	M.O. (%)	COT (%)	pH	CE	R.H. $\left(\frac{g\ agua}{g\ suelo}\right)$	Densidad (m/v)	
Fonda	T1	77.50 ± 5.65	44.95 ± 3.28	7.00 ± 0.00	5.71 ± 0.24	1.13 ± 0.05	0.36 ± 0.01
	T2	71.90 ± 1.45	41.70 ± 0.84	6.91 ± 0.00	6.07 ± 0.35	1.16 ± 0.01	0.35 ± 0.02
	T3	76.00 ± 0.72	44.08 ± 0.42	7.15 ± 0.03	5.57 ± 0.33	1.17 ± 0.11	0.36 ± 0.00
	T4	63.15 ± 3.57	36.63 ± 2.07	7.06 ± 0.00	6.83 ± 0.03	1.10 ± 0.06	0.41 ± 0.01
Desyunería	T1	79.14 ± 1.95	45.90 ± 1.13	6.07 ± 0.09	6.19 ± 0.12	1.41 ± 0.01	0.39 ± 0.00
	T2	75.27 ± 7.07	43.66 ± 4.10	6.20 ± 0.02	7.70 ± 0.05	1.76 ± 0.01	0.36 ± 0.00
	T3	75.03 ± 6.87	43.52 ± 3.98	6.33 ± 0.04	6.99 ± 0.21	1.58 ± 0.07	0.39 ± 0.03

	T4	70.90 ± 0.66	41.12 ± 0.38	6.79 ± 0.06	7.73 ± 0.14	1.69 ± 0.00	0.33 ± 0.01
Marisquería	T1	67.05 ± 2.02	38.89 ± 1.17	7.05 ± 0.00	2.57 ± 0.00	1.86 ± 0.03	0.26 ± 0.00
	T2	81.33 ± 5.19	47.18 ± 3.01	6.70 ± 0.05	2.78 ± 0.20	2.08 ± 0.21	0.26 ± 0.00
	T3	73.91 ± 4.51	42.87 ± 2.62	7.18 ± 0.31	3.11 ± 0.05	1.96 ± 0.02	0.27 ± 0.00
	T4	82.32 ± 0.07	47.75 ± 0.04	6.97 ± 0.07	2.16 ± 0.27	2.13 ± 0.04	0.28 ± 0.00
Cafetería	T1	68.09 ± 3.15	39.50 ± 1.83	7.01 ± 0.04	2.37 ± 0.03	1.66 ± 0.00	0.43 ± 0.02
	T2	62.80 ± 7.21	36.43 ± 4.18	6.57 ± 0.09	1.74 ± 0.10	1.42 ± 0.07	0.41 ± 0.00
	T3	65.65 ± 2.33	38.08 ± 1.35	6.92 ± 0.04	1.35 ± 0.39	1.67 ± 0.00	0.46 ± 0.02
	T4	58.20 ± 5.21	33.75 ± 3.02	6.5 ± 0.03	1.96 ± 0.06	1.58 ± 0.05	0.43 ± 0.01
		87.50 ± 0.18	50.76 ± 0.10		5.35 ± 0.13		

T1: 1.5 kg sustrato suministrado a una dosis, T2: 1.5 kg sustrato administrado en 4 dosis, T3: 2.0 kg sustrato suministrado en una dosis, T4: 2.0 kg sustrato administrado en 4 dosis

La Materia Orgánica y el Carbono orgánico total son dos características muy relacionadas entre sí, donde podemos observar que el frass tiene un alto contenido de M.O., mayor al 70%, derivado de Fonda, Desayunería y Marisquería, y menor de 70% en el frass derivado de Cafetería, y aunque la M.O. es menor en todos los sustratos utilizados que el frass derivado de Gainesville (mayor al 80%), es mayor que lo reportado de la vermicomposta (40 %).

El pH de frass derivado de la biotransformación de los 4 residuos restauranteros utilizados se mantuvo entre 6.33 y 7.18, valores cercanos a valores adecuados de pH para el crecimiento de hortalizas (5.5 – 6.8) (Quintero et al., 2011), aunque este rango puede variar dependiendo del cultivo. Por el contrario, la CE es mucho más alta que la CE adecuada para los sustratos agrícolas (< 3) (Warncke, 1988) incluyendo la dieta Gainesville, aunque la CE del sustrato Marisquería es cercano a este valor, el frass derivado del sustrato Cafetería se ajusta mejor. Por otro lado, la CE de la vermicomposta se encuentra en el rango adecuado (1.86).

En cuanto a la densidad del frass, todos los tratamientos se encuentran entre 0.15 a 0.60 g/cm³, siendo adecuados para un sustrato agrícola (Nappi, 1993; Handreck y Black, 1994), a diferencia de la vermicomposta que se encuentra alrededor del 1.7 g/cm³ (Villegas-Cornelio, 2017).

La composición bromatológica del frass mostró que, después de la biotransformación, contiene una proporción de carbohidratos y lípidos no digeridos por la larva; que bien podría ser utilizado para otras finalidades además de sustrato agrícola.

4. Determinación de la magnitud de la revalorización lograda

Los subproductos derivados de la biotransformación de residuos restauraneros, mediante el uso de LMSN, obtuvieron características de importancia económica. La larva mostró tener alta cantidad de proteína y grasa comparada con la larva derivada de la dieta balanceada Gainesville, características importantes para la alimentación animal; además de generar una mayor biomasa, que se traduce en mayor volumen y reduciendo una mayor cantidad de sustrato, cualidad importante para la eliminación de residuos.

el residuo biotransformado, muestra características físico- químicas, de importancia agronómica.

CAPÍTULO V. CONCLUSIONES

Los resultados de esta investigación muestran que es posible utilizar la larva de mosca soldado negro para revalorizar los residuos de restaurante; sin embargo, el residuo de cafetería es poco revalorizado por este medio, ya que se obtiene poca biomasa para ser utilizada como fuente de alimentación animal. Por el contrario, el frass derivado de este residuo tiene condiciones adecuadas para ser usado como sustrato vegetal.

Alimentar LMSN con 2g por larva en un sistema de alimentación dosificada nos permite obtener una mayor cantidad de biomasa larvaria y mayor reducción del sustrato utilizando residuos restauranteros.

La composición proximal de los residuos restauranteros contiene los macronutrientes (carbohidratos, proteína y grasa) necesarios para obtener una alta eficiencia de conversión de la larva de mosca soldado negro obteniendo un mejor rendimiento que usando dietas balanceadas como la dieta Gainesville.

El frass derivado de la bioconversión con LMSN de los residuos restauranteros tiene características adecuadas para ser explotado como sustrato agrícola, sin embargo, sus macro y micronutrientes, deben ser estudiados en próximas investigaciones. Además de contener carbohidratos y lípidos no digeridos por la larva, por lo que puede tener otro tipo de usos.

El uso de la larva de mosca soldado negro como medio de revalorización de residuos restauranteros es un método que puede producir productos de alto valor en el mercado que se ajustan con el modelo de economía circular.

CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA

1. Abdel-Shafy, H. I., & Mansour, M. S. (2018). Solid waste issue: Sources, composition, disposal, recycling, and valorization. *Egyptian journal of petroleum*, 27(4), 1275-1290.
2. André, F. J., & Cerdá, E. (2006). Gestión de residuos sólidos urbanos: análisis económico y políticas públicas. *Cuadernos económicos de ICE*, (71).
3. AOAC, 2005. *Official Methods of Analysis*, 18th ed. AOAC International, Washington, DC.
4. Arabzadeh, G., Delisle-Houde, M., Tweddell, R. J., Deschamps, M. H., Dorais, M., Lebeuf, Y., ... & Vandenberg, G. (2022). Diet Composition Influences Growth Performance, Bioconversion of Black Soldier Fly Larvae: Agronomic Value and In Vitro Biofungicidal Activity of Derived Frass. *Agronomy*, 12(8), 1765.
5. Arancon, R. A. D., Lin, C. S. K., Chan, K. M., Kwan, T. H., & Luque, R. (2017). Advances on waste valorization: new horizons for a more sustainable society. In *Waste Management and Valorization* (pp. 23-66). Apple Academic Press.
6. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2017). Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed—a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105-120.
7. Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2018). Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia experimentalis et applicata*, 166(9), 761-770.
8. Barragán-Fonseca, K., Pineda-Mejía, J., Dicke, M., & van Loon, J. J. (2018). Performance of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) on vegetable residue-based diets formulated based on protein and carbohydrate contents. *Journal of economic entomology*, 111(6), 2676-2683.
9. Boulter, J. I., Boland, G. J., & Trevors, J. T. (2000). Compost: a study of the development process and end-product potential for suppression of turfgrass disease. *World Journal of Microbiology and Biotechnology*, 16(2), 115-134.
10. Bukkens, S. G. (1997). The nutritional value of edible insects. *Ecology of Food and Nutrition*, 36(2-4), 287-319.

11. Chakraborty, P., Mallik, A., Sarang, N., & Lingam, S. S. (2019). A review on alternative plant protein sources available for future sustainable aqua feed production. *Int. J. Chem. Stud*, 7, 1399-1404.
12. Cogger, C. G. (2005). Potential compost benefits for restoration of soils disturbed by urbandevelopment. *Compost science & utilization*, 13(4), 243-251.
13. Danieli, P. P., Lussiana, C., Gasco, L., Amici, A., & Ronchi, B. (2019). The effects of diet formulation on the yield, proximate composition, and fatty acid profile of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) prepupae intended for animal feed. *Animals*, 9(4), 178.
14. De Marco, M., Martínez, S., Hernandez, F., Madrid, J., Gai, F., Rotolo, L., & Kovitvadhi, A. (2015). Nutritional value of two insect larval meals (*Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*) for broiler chickens: apparent nutrient digestibility, apparent ileal amino acid digestibility and apparent metabolizable energy. *Animal Feed Science and Technology*, 209, 211-218.
15. DE, C. U. O. Y. A. (2003). Ley general para la prevención y gestión integral de los residuos.
16. Dimler, R. J., Schaefer, W. C., Wise, C. S., & Rist, C. E. (1952). Quantitative Paper Chromatography of D-Glucose and Its Oligosaccharides. *Analytical Chemistry*, 24(9), 1411-1415.
17. DOF. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. DOF. México. 2003
18. Ermolaev, E., Lalander, C., & Vinnerås, B. (2019). Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens*. *Waste Management*, 96, 65-74.
19. Ewald, N., Vidakovic, A., Langeland, M., Kiessling, A., Sampels, S., & Lalander, C. (2020). Fatty acid composition of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*)—Possibilities and limitations for modification through diet. *Waste Management*, 102, 40-47.
20. FAO. 2011. Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome

21. Fasolin, L. H., Pereira, R. N., Pinheiro, A. C., Martins, J. T., Andrade, C. C. P., Ramos, O. L., & Vicente, A. A. (2019). Emergent food proteins—Towards sustainability, health and innovation. *Food research international*, 125, 108586.
22. Gold, M., Cassar, C. M., Zurbrügg, C., Kreuzer, M., Boulos, S., Diener, S., & Mathys, A. (2020). Biowaste treatment with black soldier fly larvae: Increasing performance through the formulation of biowastes based on protein and carbohydrates. *Waste Management*, 102, 319-329.
23. Handreck, K.A. y N. Black. 1994. Growing media for ornamental plants and turf. Revised ed. New South Wales University Press. Kensington, Australia.
24. Kiss, K.G. y G. Encarnación. Los productos y los impactos de la descomposición de residuos sólidos urbanos en los sitios de disposición final. *Gaceta Ecológica* 79: 39-51. 2006.
25. Lalander, C., Diener, S., Zurbrügg, C., & Vinnerås, B. (2019). Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Journal of Cleaner Production*, 208, 211-219.
26. MacArthur, E. (2013). Towards the circular economy. *Journal of Industrial Ecology*, 2, 23-44.
27. Mézes, M., & Erdélyi, M. (2020). Food Safety of Edible Insects. In *African Edible Insects As Alternative Source of Food, Oil, Protein and Bioactive Components* (pp. 83-94). Springer, Cham.
28. Mohd-Noor, S. N., Wong, C. Y., Lim, J. W., Uemura, Y., Lam, M. K., Ramli, A., ... & Tham, L. (2017). Optimization of self-fermented period of waste coconut endosperm destined to feed black soldier fly larvae in enhancing the lipid and protein yields. *Renewable Energy*, 111, 646-654.
29. Mora Cervetto, A., & Molina Moreira, N. (2017). Diagnóstico del manejo de residuos sólidos en el parque histórico Guayaquil. *LA GRANJA. Revista de Ciencias de la Vida*, 26(2), 72-83.
30. NAPPI, P and R. BARBERIS 1993: Compost as growing medium: chemical, physical and biological aspects. *Acta Horticulturae* 342, 249–256.
31. Nayaka, A., & Bhushan, B. (2019). An overview of the recent trends on the waste valorization techniques for food waste. *J. Environ. Manag*, 233, 352-370. Luzi, F.,

- Puglia, D., Sarasini, F., Tirillò, J., Maffei, G., Zuurro, A., ... & Torre, L. (2019). Valorization and extraction of cellulose nanocrystals from North African grass: *Ampelodesmos mauritanicus* (Diss). *Carbohydrate polymers*, 209, 328-337.
32. Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2013). Influence of resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larval development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4), 898-906.
33. Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*, 44(2), 406-410.
34. Nguyen, T. T., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2015). Ability of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to recycle food waste. *Environmental entomology*, 44(2), 406-410.
35. NMX-F-066-S-1978. DETERMINACIÓN DE CENIZAS EN ALIMENTOS. FOODSTUFF DETERMINATION OF ASHES. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.
36. NMX-F-068-S-1980. ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE PROTEÍNAS. FOODS. DETERMINATION OF PROTEINS. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.
37. NMX-F-083-1986. ALIMENTOS. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD EN PRODUCTOS ALIMENTICIOS. FOODS. MOISTURE IN FOOD PRODUCTS DETERMINATION. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.
38. NMX-F-090-S-1978. DETERMINACIÓN DE FIBRA CRUDA EN ALIMENTOS. FOODSTUFF DETERMINATION OF CRUDE FIBER. NORMAS MEXICANAS. DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS.
39. Norma Oficial Mexicana NOM-004-SEMARNAT-2002, Protección ambiental.-. Lodos y biosólidos.-Especificaciones y límites máximos permisibles de contaminantes para su aprovechamiento y disposición final.

40. Nyakeri, E. M., Ayieko, M. A., Amimo, F. A., Salum, H., & Ogola, H. J. O. (2019). An optimal feeding strategy for black soldier fly larvae biomass production and faecal sludge reduction. *Journal of Insects as Food and Feed*, 5(3), 201-213.
41. Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Ayieko, M. A., & Amimo, F. A. (2017). Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 193-202.
42. Nyakeri, E. M., Ogola, H. J. O., Ayieko, M. A., & Amimo, F. A. (2017). Valorisation of organic waste material: growth performance of wild black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) reared on different organic wastes. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(3), 193-202.
43. Nyakeri, E. M., Ogola, H. J., Ayieko, M. A., & Amimo, F. A. (2017). An open system for farming black soldier fly larvae as a source of proteins for smallscale poultry and fish production. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(1), 51-56.
44. Oonincx, D. G., Van Broekhoven, S., Van Huis, A., & van Loon, J. J. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PloS one*, 10(12), e0144601.
45. Padmanabha, M., Kobelski, A., Hempel, A. J., & Streif, S. (2020). A comprehensive dynamic growth and development model of *Hermetia illucens* larvae. *Plos one*, 15(9), e0239084.
46. Papargyropoulou, E., Lozano, R., Steinberger, J.K., Wright, N., Bin Ujang, Z., 2014. The food
47. Parra Paz, A. S., Carrejo, N. S., & Gómez Rodríguez, C. H. (2015). Effects of larval density and feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae). *Waste and biomass valorization*, 6, 1059-1065.
48. Principato, L., Secondi, L., & Pratesi, C. A. (2015). Reducing food waste: an investigation on the behaviour of Italian youths. *British Food Journal*.
49. Schulte, EE & BG Hopkins. 1996. Estimation of organic matter by weight loss-on-ignition. *In: FR Magdoff et al. (ed) Soli organic matter: Analysis and interpretation*. SSSA Spec. Publ. 46. SSSA, Madison, WI. P 21-31.

50. SEDESU, (2018) Programa para la Prevención y Gestión Integral de Residuos Sólidos Urbanos y de Manejo Especial del Estado de Querétaro
51. SEMARNAT (Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2002).
52. SEMARNAT, D. (2008). Informe de la situación del medio ambiente en México. Compendio de Estadísticas Ambientales. Edición 2016.
53. Semarnat. Bases para Legislar la Prevención y Gestión Integral de Residuos. Semarnat. México. 2006.
54. Semarnat. Diagnóstico Básico para la Gestión Integral de los Residuos. INECC, Semarnat. México. 2012.
55. Smets, R., Verbinnen, B., Van De Voorde, I., Aerts, G., Claes, J., & Van Der Borght, M. (2020). Sequential Extraction and Characterisation of Lipids, Proteins, and Chitin from Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae, Prepupae, and Pupae. *Waste and Biomass Valorization*, 1-12.
56. Surendra, K. C., Olivier, R., Tomberlin, J. K., Jha, R., & Khanal, S. K. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable energy*, 98, 197-202.
57. Teigiserova, D.A., Hamelin, L., Thomsen, M., 2019. Review of high -value food waste and foodresidues biorefineries with focus on unavoidable wastes from processing. *Resour.*
58. Tuck, C. O., Pérez, E., Horváth, I. T., Sheldon, R. A., & Poliakoff, M. (2012). Valorization of biomass: deriving more value from waste. *Science*, 337(6095), 695-699.
59. United States Environmental Protection Agency (2007) SW-846 Test Method 3546: Microwave Extraction
60. ur Rehman, K., Rehman, A., Cai, M., Zheng, L., Xiao, X., Somroo, A. A., ... & 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.
61. Varotto Boccazzi, I., Ottoboni, M., Martin, E., Comandatore, F., Vallone, L., Spranghers, T., & Epis, S. (2017). A survey of the mycobiota associated with larvae of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) reared for feed production. *PLoS One*, 12(8), e0182533.

62. Villegas-Cornelio, V. M., & Laines Canepa, J. R. (2017). Vermicompostaje: II avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista mexicana de ciencias agrícolas*, 8(2), 407-421.
63. Warncke, D. 1988. Recommended test procedure for greenhouse growth media, p. 34–37. In: W.C. Dahnke (ed.). Recommended chemical soil test procedures for the north central region. North Dakota Agr. Expt. Sta. Bul. 499.
64. waste hierarchy as a framework for the management of food surplus and food waste. *J. Clean.Prod.* 76, 106-115
65. WRAP, 2013. Household Food and Drink Waste in the United Kingdom 2012. Banbury, UK.
- 66.