



Universidad Autónoma de Querétaro
Facultad de Ingeniería
Maestría en Ciencias en Ingeniería en Biosistemas

*“Desarrollo de un sistema de biotransformación de residuos agroindustriales mediante el uso de larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*)”*

Opción de titulación

Tesis

Que como parte de los requisitos para obtener el Grado de
Maestría en Ciencias

Presenta:

Ruth Chávez Jaime

Dirigido por:

Dr. Juan Fernando García Trejo

Dr. Juan Fernando García Trejo
Presidente

Dra. Ana Angélica Feregrino Pérez
Secretario

Dra. Claudia Gutiérrez Antonio
Vocal

Dra. Rosario Guzmán Cruz
Suplente

MDI. Sergio Alonso Martínez Ramos
Suplente

Centro Universitario, Querétaro, Qro.
Agosto, 2019.
México

RESUMEN

Con el constante incremento de la población también se incrementa la generación de residuos principalmente derivados del procesamiento de alimentos. El problema al que se enfrentan estos, es que no existe un correcto manejo o disposición, además de que falta capacidad tecnológica y recursos económicos para darles un destino final adecuado. Una gran cantidad de estos residuos están compuestos principalmente de materia orgánica lo cual provoca que sean una fuente de contaminación ambiental. Por ello, surge la necesidad de la biotransformación de estos residuos en un producto útil y de valor agregado, que además de solucionar un problema, genere ingresos económicos adicionales. He aquí la importancia del estudio de alternativas tecnológicas para el aprovechamiento de los residuos agroindustriales. Con base en esto, el presente trabajo utilizó larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*) como organismo biotransformador de residuos agroindustriales. Como residuos se utilizaron cáscaras de naranja, cebada del procesamiento de cerveza, cerdaza, residuos de cultivo de jitomate y como control se utilizó la dieta gainesville. Se inocularon 2g de larva en 2kg de residuo y se monitoreó su crecimiento cada tercer día hasta que la mitad de la población de larvas se convirtió en prepupas. El experimento se llevó a cabo bajo una temperatura de 27°C y humedad de 70%. Al final del experimento se midieron las siguientes variables de respuesta: tasa de consumo relativo, tasa de crecimiento relativo, eficiencia de conversión de alimento ingerido y digerido, índice de conversión de alimento, tasa de reducción de residuo, índice de reducción de residuo, mortalidad y se determinó la cantidad de humedad, cenizas, carbohidratos, grasas, proteína y calorías tanto en larvas como en los sustratos antes y después del proceso de biotransformación. Al término del experimento se observó que la mayor tasa de reducción se obtuvo en el residuo de cebada en cuanto a la obtención de larvas con mayor contenido de grasas y proteína fueron las crecidas en cebada y naranja respectivamente, pero en cuanto a la obtención de biomasa las larvas crecidas en cerdaza obtuvieron los mejores resultados. En conclusión las larvas de mosca soldado tienen la capacidad de biotransformar residuos agroindustriales en moléculas de interés comercial, no obstante se puede mejorar su tasa de biotransformación, tasa de reducción de residuo y reducir el tiempo de este proceso mediante la mezcla de diferentes residuos.

(Palabras clave: Biotransformación, residuos, larvas de mosca soldado)

SUMMARY

With the constant increase of the population also increases the generation of waste mainly derived from food processing and the problem they face, is that there is no proper management or disposal, in addition to the lack of technological capacity and economic resources to give them an appropriate final destination. A large amount of these wastes are mainly composed of organic matter which causes them to be a source of environmental pollution. For this reason, the need arises for the biotransformation of these wastes into a useful and value-added product that, in addition to solving a problem, generates additional economic income. Here is the importance of the study of technological alternatives for the use of agroindustrial waste. Based on this in the present work, the soldier fly larva (*Hermetia illucens*) was used as a biotransformer organism for agroindustrial waste. Orange peels, beer processing barley, sow, tomato crop residues were used as residues and the Gainesville diet was used as control. 2g of larvae were inoculated into 2kg of waste and their growth was monitored every third day until half of the larvae population became prepupae. The experiment was carried out under a temperature of 27°C and humidity of 70%. At the end of the experiment, the following response variables were measured: relative consumption rate, relative growth rate, conversion efficiency of ingested and digested food, food conversion rate, residue reduction rate, residue reduction index, mortality and the amount of moisture, ashes, carbohydrates, fats, protein and calories in both larvae and substrates was determined before and after the biotransformation process. At the end of the experiment, it was observed that the highest reduction rate was obtained in the barley residue in terms of obtaining larvae with higher fat and protein content were those grown in barley and orange respectively, but in terms of obtaining biomass the larvae grown in sow obtained the best results. In conclusion, soldier fly larvae have the ability to biotransform agroindustrial waste into molecules of commercial interest, however, their biotransformation rate, waste reduction rate and time can be reduced by reducing the time of this process by mixing different residues.

(Key words: Biotransformation, wastes, soldier fly larvae)

A mi familia que siempre me ha apoyado en todos los aspectos de mi vida, especialmente a mis papás Elizabeth Jaime Sandoval y Atanacio Chávez Garay que siempre han sabido guiarme y a mis hermanas Raquel, Rosario y Lizbeth por ayudarme siempre que lo necesito.

AGRADECIMIENTOS

A mi director de tesis Dr. Juan Fernando García Trejo quien me brindó la confianza y el apoyo para realizar el presente trabajo.

A cada uno de los sinodales que revisó este trabajo y que en su momento dieron valiosas aportaciones.

A los integrantes del laboratorio de Bioingeniería y a los trabajadores del Campus Amazcala así como también a mis compañeros de la maestría que contribuyeron en la realización de las actividades relacionadas a este trabajo.

Al CONACYT que con su apoyo logré dedicarme de forma adecuada al desarrollo de la presente investigación.

TABLA DE CONTENIDOS

| | |
|---|-----------|
| 1. INTRODUCCIÓN | 12 |
| 2. ANTECEDENTES | 14 |
| 2.1 RESIDUOS | 14 |
| 2.1.1 <i>Residuos agroindustriales</i> | 17 |
| 2.2 DISPOSICIÓN Y VALORIZACIÓN DE RESIDUOS | 19 |
| 2.2.1 <i>Relleno sanitario o vertedero controlado</i> | 19 |
| 2.2.2 <i>Incineración</i> | 19 |
| 2.2.3 <i>Valorización de residuos agroindustriales</i> | 20 |
| 2.2.3.1 Fermentación anaerobia | 21 |
| 2.2.3.2 Fermentación aerobia (compostaje) | 21 |
| 2.2.3.3 Vermicompostaje | 21 |
| 2.2.3.4 Biotransformación | 22 |
| 2.3 MOSCA SOLDADO | 22 |
| 2.3.1 <i>Adulto</i> | 23 |
| 2.3.2 <i>Reproducción</i> | 24 |
| 2.3.3 <i>Huevo</i> | 25 |
| 2.3.4 <i>Larva</i> | 25 |
| 2.3.4.1 Residuos utilizados como alimento de larva de mosca soldado | 26 |
| 2.3.4.2 Reducción de residuos orgánicos usando larvas de mosca soldado | 27 |
| 2.3.4.2 Larvas de mosca soldado como alimento para animales | 28 |
| 2.3.4.3 Larvas de mosca soldado para la extracción de proteína, lípidos y quitina | 28 |
| 2.3.4.4 Larva de mosca soldado para la obtención de biocombustibles | 29 |
| 2.3.5 <i>Prepupa/pupa</i> | 29 |
| 3. HIPÓTESIS | 31 |
| 4. OBJETIVOS | 32 |
| 4.1 OBJETIVO GENERAL | 32 |
| 4.2 OBJETIVOS PARTICULARES | 32 |
| 5. METODOLOGÍA | 33 |
| 5.1 ESTABLECIMIENTO DE LAS CONDICIONES DE CULTIVO DE LA LARVA DE MOSCA SOLDADO | 33 |
| 5.1.1 <i>Condiciones del cultivo</i> | 33 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.2 | DETERMINACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE RESIDUOS AGROINDUSTRIALES ORGÁNICOS..... | 34 |
| 5.2.1 | <i>Determinación de humedad</i> | 34 |
| 5.2.2 | <i>Determinación de cenizas</i> | 35 |
| 5.2.3 | <i>Determinación de carbohidratos</i> | 35 |
| 5.2.4 | <i>Determinación de grasa total</i> | 36 |
| 5.2.5 | <i>Determinación de calorías</i> | 38 |
| 5.3 | ESTABLECIMIENTO DE LA EFICIENCIA DE BIOTRANSFORMACIÓN ENTRE LARVA DE MOSCA SOLDADO Y EL RESIDUO 38 | |
| 5.3.1 | <i>Tasa de consumo relativo</i> | 38 |
| 5.3.2 | <i>Tasa de crecimiento relativo</i> | 39 |
| 5.3.3 | <i>Eficiencia de conversión del alimento ingerido (ECI)</i> | 39 |
| 5.3.4 | <i>Eficiencia en la conversión de alimento digerido</i> | 39 |
| 5.3.5 | <i>Índice de conversión de alimento</i> | 40 |
| 5.3.6 | <i>Tasa de reducción de residuo</i> | 40 |
| 5.3.7 | <i>Índice de reducción del residuo</i> | 41 |
| 5.3.8 | <i>Mortalidad</i> | 41 |
| 5.3.9 | <i>Análisis estadístico</i> | 41 |
| 6. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 42 |
| 6.1 | CÁSCARAS DE NARANJA..... | 42 |
| 6.2 | RESIDUOS DE CEBADA..... | 48 |
| 6.3 | CERDAZA..... | 54 |
| 6.4 | RESIDUOS DE CULTIVO DE JITOMATE | 61 |
| 7. | CONCLUSIONES | 72 |
| 8. | BIBLIOGRAFÍA | 72 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|--|----|
| Tabla 1. Residuos de interés para su valorización..... | 17 |
| Tabla 2. Análisis bromatológicos de las cáscaras de naranja..... | 42 |
| Tabla 3. Parámetros de biotransformación en residuos de cáscaras de naranja. . | 46 |
| Tabla 4. Tabla de análisis bromatológico de las larvas antes y después del proceso de biotransformación en cáscaras de naranja. | 47 |
| Tabla 5. Tabla de sustratos antes y después del proceso de biotransformación en cáscaras de naranja. | 48 |
| Tabla 6. Análisis bromatológicos del residuo de cebada. | 49 |
| Tabla 7. Parámetros de biotransformación en residuos de cebada..... | 53 |
| Tabla 8. Tabla de análisis bromatológico de las larvas antes y después del proceso de biotransformación residuos de cebada. | 53 |
| Tabla 9. Tabla de sustratos antes y después del proceso de biotransformación en residuos de cebada. | 54 |
| Tabla 10. Análisis bromatológicos de cerdaza..... | 55 |
| Tabla 11. Parámetros de biotransformación en residuos de cerdaza..... | 59 |
| Tabla 12. Tabla de análisis bromatológico de las larvas antes y después del proceso de biotransformación cerdaza. | 60 |
| Tabla 13. Tabla de sustratos antes y después del proceso de biotransformación en cerdaza..... | 60 |
| Tabla 14. Análisis bromatológicos del residuo de residuos de cultivo de jitomate. | 61 |
| Tabla 15. Parámetros de biotransformación en residuos de residuos de cultivo de jitomate..... | 66 |

Tabla 16. Tabla de análisis bromatológico de las larvas antes y después del proceso de biotransformación de residuos de cultivo de jitomate. 66

Tabla 17. Tabla de sustratos antes y después del proceso de biotransformación en jitomate..... 67

Dirección General de Bibliotecas UAQ

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1. Clasificación de residuos. | 16 |
| Figura 2. Crecimiento de larvas de mosca en residuos de cáscaras de naranja... 44 | |
| Figura 3. Ganancia de biomasa de larvas de mosca soldado crecidas en cáscaras de naranja. | 45 |
| Figura 4. Comparación de ganancia de biomasa de larvas crecidas en la dieta control (gainesville) contra las crecidas en cáscaras de naranja. | 45 |
| Figura 5. Crecimiento de larvas de mosca en residuos de cebada. | 51 |
| Figura 6. Ganancia de biomasa de larvas de mosca soldado crecidas en residuos de cebada..... | 51 |
| Figura 7. Comparación de ganancia de biomasa de larvas crecidas en la dieta control (gainesville) contra las crecidas en residuos de cebada. | 52 |
| Figura 8. Crecimiento de larvas de mosca en cerdaza. | 57 |
| Figura 9. Ganancia de biomasa de larvas de mosca soldado crecidas en cerdaza. | 58 |
| Figura 10. Comparación de ganancia de biomasa de larvas crecidas en la dieta control (gainesville) contra las crecidas en cerdaza..... | 58 |
| Figura 11. Crecimiento de larvas de mosca en residuos de cultivo de jitomate. ... | 64 |
| Figura 12. Ganancia de biomasa de larvas de mosca soldado crecidas en residuos de cultivo de jitomate..... | 65 |
| Figura 13. Comparación de ganancia de biomasa de larvas crecidas en la dieta control (gainesville) contra las crecidas en residuos de cultivo de jitomate. | 65 |
| Figura 14. Compración de reducción de residuos..... | 67 |

ÍNDICE DE IMÁGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1. Ciclo de vida de la mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>)..... | 23 |
| Imagen 2. Mosca soldado adulto (<i>Hermetia illucens</i>). | 24 |
| Imagen 3. Cópula de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>)..... | 24 |
| Imagen 4. Huevos maduros de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>)..... | 25 |
| Imagen 5. Larvas de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>). | 26 |
| Imagen 6. Pupa de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>)..... | 30 |
| Imagen 7. Cáscaras de naranja recolectadas de la cafetería de la facultad de ingeniería, campus Amazcala (izquierda), cáscaras de naranja picada en cuadros (derecha)..... | 42 |
| Imagen 8. Seguimiento de biotransformación de cáscaras de naranja usando larvas de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>). | 43 |
| Imagen 9. Residuo de cebada (izquierda), residuo de cebada después de disminuir el tamaño de partícula (derecha). | 49 |
| Imagen 10. Seguimiento de biotransformación de residuos de cebada usando larvas de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>). | 50 |
| Imagen 11. Recolección de cerdaza. | 54 |
| Imagen 12. Seguimiento de biotransformación de cerdaza usando larvas de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>). | 56 |
| Imagen 13. Residuos de cultivo de jitomate..... | 61 |
| Imagen 14. Seguimiento de biotransformación de residuos de cultivo de jitomate usando larvas de mosca soldado (<i>Hermetia illucens</i>). | 62 |

1. INTRODUCCIÓN

El desarrollo de la industrialización trae consigo ventajas indiscutibles como el aumento en la calidad de vida de las poblaciones pero a la vez la convierte en una sociedad de consumo. En este sentido las industrias deben de ofrecer nuevos productos haciendo más complejos sus procesos, generando cada vez mayor cantidad de residuos (Hanssen, 2000).

Los residuos agroindustriales constituyen un serio problema a nivel mundial, impactando directamente en el cambio climático, ya que su disposición se realiza principalmente en tiraderos a cielo abierto o en cuerpos de agua. En México, se producen 103,000 toneladas de basura diariamente, de las cuales el 60% se envía a rellenos sanitarios, 10% se deposita en rellenos de tierra controlados y 30% restante se arroja en sitios no controlados como en tiraderos a cielo abierto (INEGI, 2008).

Si bien a lo largo de los años se ha gestionado de manera inadecuada los residuos agroindustriales hoy en día se buscan alternativas para el aprovechamiento de estos y que a su vez puedan generar productos de valor agregado reduciendo así el impacto ambiental que genera su mal manejo. En este sentido entre las opciones que se han encontrado para la gestión de estos residuos se encuentra el uso de insectos para la bioconversión de residuos y como beneficio obtenemos moléculas de interés. Se sabe que los insectos pueden funcionar como pequeñas máquinas transformadoras de material por tener la capacidad de degradar la materia orgánica y utilizarla como alimento (González, 2015).

La larva de mosca soldado es una alternativa prometedora ya que la biología de estos insectos nos permite tener un cultivo en poco espacio y además tiene la capacidad de degradar residuos orgánicos y como producto de este proceso se puede obtener proteína y ácidos grasos, que son productos de gran importancia como alimento para animales.

Se han hecho estudios del desarrollo de larva de mosca soldado (*Hermetia Illucens*) en sustratos como verduras y frutas en donde se estudió la densidad de larva por cm², la tasa de alimentación por día con lo que se logró obtener las variables óptimas para la producción de biomasa a partir de este tipo de residuos (Parra et al., 2015). En otros estudios se demostró que utilizando carne de puerco como sustrato a una temperatura de 32.2 °C, la etapa larval se prolongó, en cambio las larvas crecidas en carne de res tuvieron un desarrollo rápido (Harnden y Tomberlin, 2016). También se ha probado como sustrato, estiércol de vaca para la generación de biodiesel, en donde obtuvieron 15.8 g de biodiesel a partir de 70,8 g de BSFL (Black Soldier Fly Larvae) en peso seco (Qing Li et al., 2011).

Sin embargo poco se sabe sobre el pretratamiento y la cantidad de residuos necesarios para lograr una eficiente biotransformación de estos mediante el uso de la larva de mosca soldado. Es por eso que en el presente trabajo se utilizaron diferentes residuos agroindustriales de origen orgánico de distinta fuente (animal y vegetal) para poder desarrollar un sistema de biotransformación mediante el uso de larva de mosca soldado.

2. ANTECEDENTES

2.1 Residuos

El término residuos, se refiere a todo aquello generado después de su utilización en una cadena de producción como materia prima, estos pueden tener o no un valor comercial, ya que se generan en bajas cantidades, sin embargo, sus características le pueden conferir algún interés para su utilización (Saval, 2012 y Rosas, 2016).

Los residuos pueden clasificarse de diferentes maneras; de acuerdo a su composición, estado, origen y tipo de manejo (Figura 1).

De acuerdo a su composición se clasifican en dos grupos, residuos orgánicos e inorgánicos.

- Residuos orgánicos: Aquellos cuyo componente principal es el carbono, proveniente de materia viva tanto vegetal como animal y están constituidos principalmente por residuos; alimenticios, de parques y jardines, rastros y mercados, industrias de alimentos, de prácticas agrícolas, etc.
- Residuos inorgánicos: Es la materia inerte proveniente de material no vivo que incluye la mayoría de los residuos reciclables como metales, plásticos, cierto tipo de telas, vidrio etc. (Esquer, 2009).

Clasificación según el estado: De acuerdo al estado físico en el que se encuentran y se dividen en tres categorías: sólido, líquido y gaseoso.

Clasificación según el origen: De acuerdo a la fuente proveniente que tengan los residuos. En esta clasificación se tienen siete categorías: urbanos, industriales, inertes, radioactivos, tóxicos y peligrosos, mineros y hospitalarios.

Clasificación según su tipo de manejo: Son residuos que requieren un manejo especial debido a su grado de toxicidad o peligrosidad para la salud humana y se clasifican en peligrosos e inertes (Echeverry & Muñoz, 2012).

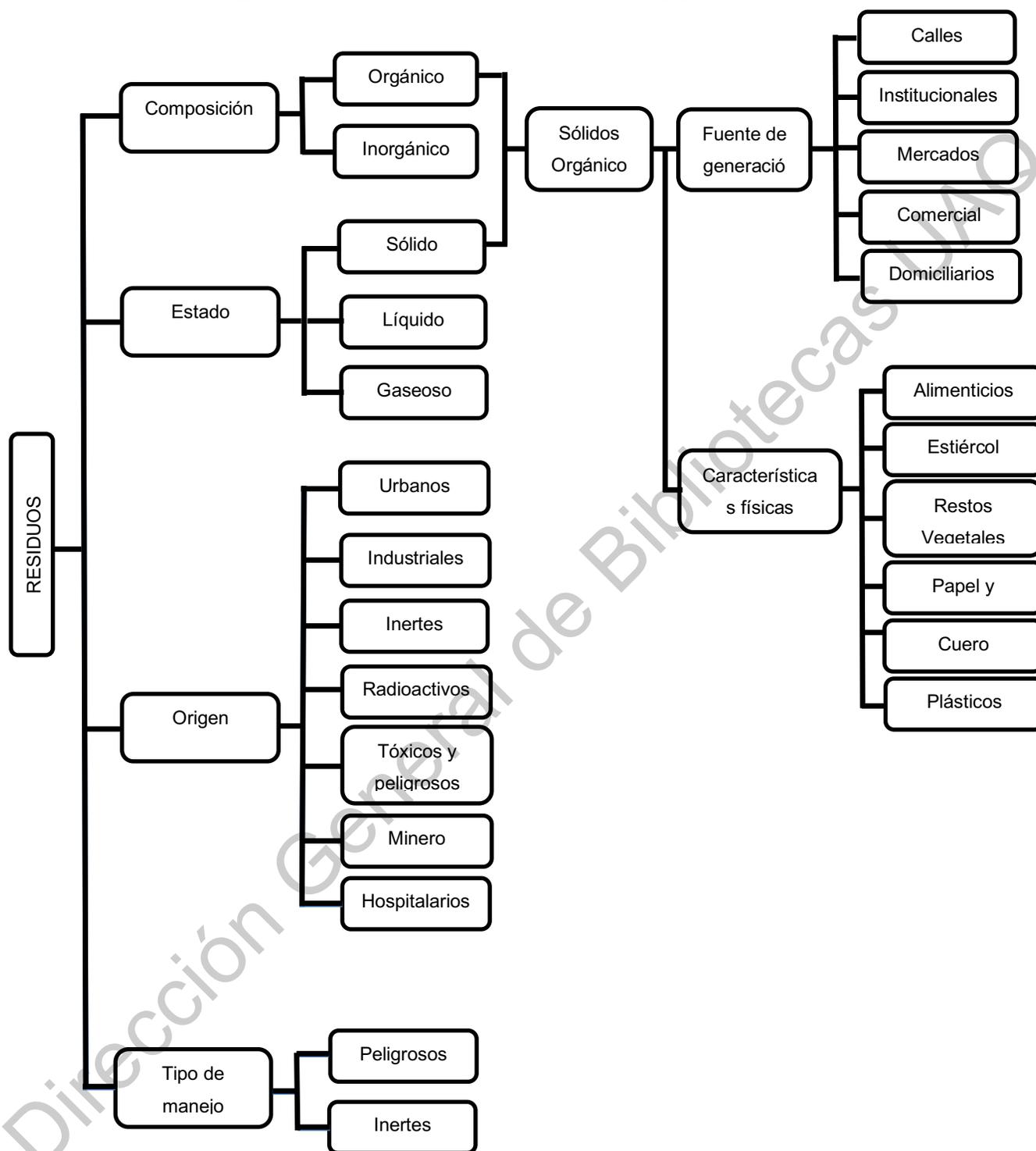
De acuerdo a la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos (LGPGIR) los residuos se clasifican en tres categorías: residuos sólidos urbano (RSU), residuo de manejo especial (RME) y residuos peligrosos (RP).

Los RSU son los que se producen en casa habitación como consecuencia de su utilización en actividades domésticas (residuos de productos de consumo como envases, embalajes, empaques, residuos orgánicos); los resultantes también de cualquier otra actividad que se realiza en establecimientos o en vía pública, con características domiciliarias y los resultantes de lugares públicos que no se clasifiquen como residuos de otra índole.

Los RME se generan en los procesos productivos y son aquellos que no tienen las características suficientes para ser considerados como peligrosos o como residuos sólidos urbanos, o que son producidos por grandes generaciones de residuos sólidos urbanos.

Los RP son aquellos que posean alguna de las características de corrosividad, reactividad, explosividad, toxicidad, inflamabilidad, o que contengan agentes infecciosos que les confieran peligrosidad, así como envases, recipientes, embalajes y suelos que hayan sido contaminados cuando se transfieran a otro sitio, de conformidad con lo que se establece a la ley (DOF, 2003).

Figura 1. Clasificación de residuos (Echeverry y Muñoz, 2012).



2.1.1 Residuos agroindustriales

Estos residuos son resultado de la transformación de los productos provenientes de la agricultura, ganadería, la pesca y el sector forestal (FAO, 1997). Los residuos agroindustriales son aquellos que al perder su utilidad para el proceso que los generó, pueden ser revalorizados para generar otro producto con valor económico y de interés comercial y/o social.

La producción de residuos agroindustriales se pueden dividir de acuerdo al origen de la materia prima y del proceso de transformación (tabla 1); sin embargo, todos tienen en común un alto contenido de materia orgánica (Saval, 2012).

Tabla 1. Residuos de interés para su valorización (INEGI, Sistema de Cuentas Nacionales de Mexico y SIREM,2014).

| FUENTE | TIPO DE RESIDUO |
|---|--|
| Elaboración de alimentos para animales. | Pastas proteicas, estiércol (explotaciones ganaderas y lodos. |
| Elaboración de productos lácteos. | Suero y lodos de aguas residuales. |
| Molienda de granos, semillas y obtención de aceites y grasas. | Pastas sólidas proteicas y residuos líquidos con alto contenido de grasa. |
| Elaboración de azúcares, chocolates, dulces y similares. | Caña de azúcar (bagazo, malezas, cachaza, cenizas, líquidos residuales, paja y cogollo). |
| Conservación de frutas, verduras y alimentos preparados. | Residuos de material verde (tallos y hojas) y residuos líquidos de proceso de lavado. |

| | |
|--|--|
| Matanza, empacado y procesamiento de carne de ganado, aves y otros animales comestibles. | Sangre y contenido rumial. |
| Elaboración de productos de panadería y tortillas. | Salvado. |
| Otras industrias alimentarias. | Destilerías (mostos residuales, vinaza). |
| Industria de las bebidas y del tabaco. | Residuos líquidos del proceso de lavado y residuos de material verde (cáscaras, hojas, tallos y bagazo de frutas). |

Los residuos agroindustriales pueden ser de origen animal o vegetal, y se pueden dividir en siete grupos:

- Cereales
- Raíces y tubérculos
- Plantas oleaginosas
- Frutas y verduras
- Productos cárnicos
- Pescados y mariscos
- Productos lácteos

La mayoría de estos residuos se utilizan para la extracción y recuperación de compuestos bioactivos, producción de enzimas, antibióticos, hongos comestibles, ácidos orgánicos, biocombustibles, alimento para animales y para la producción de composta (Godoy et al., 2014).

2.2 Disposición y valorización de residuos

La disposición y valoración de residuos es el conjunto de operaciones destinadas a su eliminación o al aprovechamiento de los recursos contenidos en ellos (Szantó, 1996).

Se han desarrollado diversos tratamientos para la valorización de estos residuos sin embargo se está buscando la manera de hacerlo más eficiente y que además se obtenga un producto de valor agregado y que al mismo tiempo no se genere un residuo del proceso (Gobby, 2012).

2.2.1 Relleno sanitario o vertedero controlado

Consiste en la colocación de los residuos sobre un terreno extendiéndolos en capas de poco espesor y compactándolos para disminuir su volumen. Así mismo, se realiza una cobertura diaria con material especial para minimizar los riesgos de contaminación ambiental y para favorecer la transformación biológica de los materiales fermentables (Szantó, 1996).

2.2.2 Incineración

La incineración es el procesamiento térmico de los residuos sólidos mediante oxidación química con cantidades estequiométricas o en exceso de oxígeno. Este método exige que los residuos tengan un poder calorífico superior a 1,200 Kcal/Kg (Esquer, 2009). Las plantas incineradoras incluyen los sistemas de recuperación de energía en forma de vapor y electricidad. Este método reduce el volumen de residuos hasta un 85% pero genera gases contaminantes, además de ser muy costoso (Szantó, 1996).

2.2.3 Valorización de residuos agroindustriales

La ley general para la prevención y gestión integral de los residuos 2003 define a la valorización como un conjunto de acciones cuyo objetivo es la recuperación del valor remanente o el poder calorífico de los materiales que componen los residuos, mediante su reincorporación en procesos productivos, bajo criterios de responsabilidad compartida, manejo integral y eficiencia ambiental, tecnológica y económica.

Es necesario saber la composición de los residuos para poder elegir el proceso o sector adecuado donde pueden ser aprovechados tratando de minimizar el uso de altas tecnologías para su transformación y con ello obtener productos de valor agregado (Mejías et al., 2016).

Los criterios generales de selección para la valorización de residuos más comúnmente utilizados son los siguientes:

- Disponibilidad espacial del residuo.
- Estabilidad (tiempo de descomposición).
- Pretratamiento (preferiblemente que no se necesite y de ser necesario que sea mínimo y económico).
- Que su generación en cuanto a cantidad permita la planificación del proceso en el cual se utilizará para la fabricación de un nuevo producto.
- No poseer aplicaciones o usos que compitan con el proceso que se pretende promover.
- Que el principal componente del residuo pueda ser recuperado y tenga un mercado demandante (Saval, 2012).

2.2.3.1 *Fermentación anaerobia*

Gracias a esta estrategia se puede aprovechar la energía de los residuos que resulta de la oxidación completa de estos hasta la formación de biogás (principalmente metano y dióxido de carbono), además de la obtención de un lodo con propiedades bio-fertilizantes (Verstraete, et al., 2005; Ward, et al., 2008). El complejo grupo de bacterias y archaeas que se utilizan para esta biotransformación de residuos es muy sensible a los cambios ambientales (Nettmann, et al., 2011). La eficiencia de este proceso depende, por tanto, de la estabilidad de la población mixta de bacterias y archaeas anaerobias cuyo desbalance puede causar un rápido incremento en la concentración de intermediarios metabólicos (como los ácidos grasos volátiles), con la consecuente disminución en las actividades hidrolíticas acidogénicas y metanogénicas (Flotats, 2001).

2.2.3.2 *Fermentación aerobia (compostaje)*

El compostaje es una tecnología ecológica, cuyo objetivo es la reutilización y biotransformación de materiales orgánicos así como su posterior aplicación en suelos (Escobar et al., 2013).

El compostaje es un proceso exotérmico de degradación y estabilización biológica del material orgánico en presencia de oxígeno, mediante la acción combinada de una serie de poblaciones de microorganismos asociados a una sucesión de factores ambientales, obteniendo como principales productos del metabolismo biológico: dióxido de carbono, agua y calor (Zurcan, 2010).

2.2.3.3 *Vermicompostaje*

El vermicompostaje es un proceso biotecnológico en el cual se degradan y se estabilizan los residuos orgánicos en condiciones aerobias y mesófilas mediante la acción de determinadas especies de lombrices de tierra capaces de alimentarse del residuo a la vez que aceleran su degradación microbiana. En este proceso se aprovecha la capacidad detritívora de las lombrices, quienes ingieren, trituran y digieren residuo orgánico, descomponiéndolo mediante la acción de enzimas digestivas y de la microflora aeróbica y anaeróbica presente en el interior de su intestino (Gómez, 2011).

La digestión del residuo orgánico por la lombriz conlleva una alteración física ya que es fragmentado, reduciéndose su volumen hasta aproximadamente el 50% (Sinha et al., 2010).

2.2.3.4 *Biotransformación*

Biotransformación es el proceso, donde un organismo vivo modifica una sustancia química transformándola en una diferente. Consiste en la utilización del poder catalítico de las enzimas, que intervienen en el metabolismo celular de los organismos vivos. Las reacciones metabólicas implicadas son: oxidación, hidroxilación, desaquilación, desaminación e hidrólisis, todas ellas están catalizadas por enzimas específicas (Jiménez & Kuhn, 2009).

La biotransformación se considera un método más eficiente por reducir costos, procedimientos y ser amigable con el medio ambiente (Jeager & Eggert, 2004).

2.3 Mosca soldado

La mosca soldado fue reportada por primera vez en 1930 en empresas azucareras de Hawai (Duponte y Larish, 2003). Científicamente conocida como *Hermetia illucens*, pertenece al filo Arthropoda, clase insecta, orden díptera y familia Stratiomyidae.

La duración de cada etapa del ciclo de vida de *H. illucens* depende diversos factores abióticos y bióticos, que pueden alterar de forma significativa el desarrollo de las etapas de esta especie (Tomberlin y Sheppard, 2012).

Imagen 1. Etapas del ciclo de vida *Hermetia illucens* (Linnaeus, 1758).



2.3.1 Adulto

Los adultos emergen aproximadamente después de dos semanas después de la formación de la prepupa (Tomberlin et al., 2002). Las moscas adultas miden entre 13 - 22 mm (Tomberlin & Sheppard 2001). Su apariencia es similar a la de una

avispa, con alas largas. Los adultos no necesitan alimentarse gracias a las reservas acumuladas durante la fase larvaria (Newton et al., 2005).

Imagen 2. Mosca soldado adulto (*Hermetia illucens*).



2.3.2 Reproducción

La reproducción de esta mosca se realiza durante el vuelo, donde el macho intercepta a la hembra en el aire para luego descender en copula (Tomberlin y Sheppard, 2001). Después de la cópula las hembras depositan los huevos en grupos uno tras otro en hileras superpuestas (Gobbi, 2012).

Imagen 3. Cópula de mosca soldado (*Hermetia illucens*).



2.3.3 Huevo

Los huevos son cilíndricos con extremidades redondeadas, de un milímetro de largo, recién ovipositados son de color blanco casi transparente y varía a color crema casi amarillo al madurar el feto. Después de aproximadamente cuatro días el huevo eclosiona dando lugar a larvas de primer estadio (Copello, 1926; Booth y Sheppard, 1984).

Imagen 4. Huevos maduros de mosca soldado (*Hermetia illucens*).



2.3.4 Larva

El crecimiento de las larvas se ve afectado por factores bióticos y abióticos y se caracterizan por seis estadios larvales (L1, L2, L3, L4, L5 y prepupa). Las larvas nacen de cuatro a seis días después de su eclosión, llegan a medir por lo menos un milímetro de largo, son de color beige, su cuerpo se caracteriza por poseer diez anillos y en cada uno contiene pelos.

Las larvas se alimentan de una gran variedad de materia orgánica en descomposición, desde residuos vegetales hasta excremento y tejidos animales

(Newton et al., 2005; Hem et al., 2008; Myers et al., 2008). Debido a su versatilidad puede ser utilizada tanto para la transformación de residuos orgánicos en biomasa útil para la alimentación animal o la obtención de biomoléculas (Barroso et al., 2014; Kroeckel et al., 2013; Bondari y Sheppard, 1987).

Imagen 5. Larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*).



2.3.4.1 Residuos utilizados como alimento de larva de mosca soldado

De acuerdo con un estudio realizado por Liu et al. (2008) la cantidad de alimento diario que requieren las larvas para un correcto desarrollo depende del contenido nutricional del mismo y puede ser muy variable, por lo que al considerar esta especie como agente de tratamiento de un desecho específico se debe desarrollar investigación previa con el fin de determinar un régimen alimenticio adecuado acorde con el desecho a procesar.

Estudios con residuos como broza de café, gallinaza, cerdaza, palma aceitera y residuos del procesamiento de pescado han demostrado la gran versatilidad de este organismo para adaptarse a estos medios con excelentes resultados (Newton et al., 2005; St-Hilaire et al., 2007; Hem et al., 2008). Esto se debe a las propiedades bioquímicas de las enzimas liberadas de las glándulas salivales y del intestino de la larva de mosca soldado, esto explica la capacidad de estas larvas para digerir los desechos de comida y los materiales orgánicos de manera más eficiente que cualquier otra especie conocida de mosca (Jeon et al., 2011). Los extractos enzimáticos intestinales de las larvas de la mosca soldado

tienen altas actividades amilasa, lipasa y proteasa. Además, se observó una fuerte actividad de proteasa similar a tripsina en los extractos intestinales de estas larvas (Kim et al., 2011).

Una investigación en Ghana demostró que la larva de mosca soldado es capaz de crecer en una mezcla de residuos de comida y fecales (50/50) obteniendo una reducción de estos residuos de 67.72% (Joly, 2018).

2.3.4.2 Reducción de residuos orgánicos usando larvas de mosca soldado

La reducción de residuos orgánicos comúnmente se hace mediante el compostaje tradicional en vertederos desafortunadamente una gran desventaja de esto es que su descomposición tarda años, sin embargo como segunda opción se tiene la vermicultura la cual reduce el tiempo de descomposición a tres meses; mientras que las larvas de mosca soldado pueden descomponer y valorizar los residuos orgánicos en una semana, reduciendo así el tiempo total del proceso significativamente (Gujarathi & Pejaver, 2013). Por estas razones se ha visto a la larva de mosca soldado (*Hermetia Illucens*) como una especie de interés ya que tiene una gran capacidad para alimentarse de una multitud de restos orgánicos de diverso origen así como también su biología nos permite criarla a escala masiva en poco espacio y en un tiempo corto a bajo costo (Gobby, 2012).

Se han realizado diversos estudios a nivel mundial de la utilización de larva de mosca soldado para el tratamiento de residuos orgánicos gracias a su capacidad de reducir en más de un 50% del volumen del residuo y además se le atribuye la reducción de la humedad del mismo, lo que contribuye al control de malos olores (De Marco et al., 2015).

Un sistema desarrollado por Sheppard et al. (1994) logró la conversión de gallinaza en biomasa con un contenido del 42% de proteína y 35% de grasa y se obtuvo una tasa de conversión del 8% de materia seca (Newton et al., 2005). Por otra parte, Newton et al. (2005) lograron una reducción de un 56% del residuo

mientras que las concentraciones de la mayoría de los nutrientes se vieron reducidos de un 55 a un 40%.

En un estudio hecho en Malasia se comparó el porcentaje de reducción de residuos de arroz usando larvas de mosca soldado y larvas mosca común, obteniendo resultados favorables la larva de mosca soldado ya que su porcentaje de reducción (79.6%) fue mayor a las larvas de mosca común (72.12%) (Ong et al., 2017).

2.3.4.2 Larvas de mosca soldado como alimento para animales

Se utilizaron larvas de mosca soldado como alimento para reptiles obteniendo buenos resultados sin embargo en este estudio se sugiere complementar la dieta de estos reptiles ya que la larva no provee los nutrientes necesarios como calcio, sodio y algunas vitaminas que son necesarias para el correcto desarrollo de estos reptiles. En cuanto a la cantidad y calidad de la proteína los autores de esta investigación ven viable la utilización de la larva de mosca soldado como una fuente de proteína alterna a la comúnmente utilizada para los reptiles (Boykin, 2019).

Li et al., (2017) demostró que el crecimiento de la carpa Jian no se vio afectado por la inclusión de larvas de mosca soldado como fuente de proteína en su dieta y además ayudo al aumentó del estado antioxidante de la carpa Jian. El estudio demuestra que es adecuado reemplazar hasta el 50% de la proteína convencional alimenticia con proteína proveniente de la larva de mosca soldado.

2.3.4.3 Larvas de mosca soldado para la extracción de proteína, lípidos y quitina

Se obtuvo un 37.1% de lípidos en larvas de mosca soldado crecidas en granos de trigo. El perfil de ácidos grasos BSF de estas larvas dio una gran cantidad

de ácido láurico (46.7 0.6%), seguido por ácido oleico (15.1 0.9%), mirístico (8.3 0.1%), palmítico (8.4 0.2%) y palmitoleico (7.6 0,4%) aunque también se registraron cantidades menores de C10:0 (1.9 0.2%), C14:1 (1.3 0.2%), esteárico (2.5 0.1%) y ácido linoléico (1.8 0.4%) (Caligiani, 2018).

Dentro de las investigaciones del uso de larva de mosca soldado como alimento se ha visto la posibilidad de cambiar las cualidades nutricionales de la larva mediante su dieta, se ha demostrado que una dieta baja en proteína afecta significativamente la acumulación de lípidos y proteínas en la larva así como también interfiere en la expresión de genes responsables de este proceso metabólico (Pimentel et al., 2017).

2.3.4.4 Larva de mosca soldado para la obtención de biocombustibles

Una investigación sugiere que la larva de mosca soldado es un organismo idóneo para la biotransformación de lignocelulosa en lípidos para la obtención de biodiesel. Entre los resultados obtenidos encontraron que la larva puede consumir 97.3% de glucosa y 93.8% de xilosa contenida en su medio con lo cual lograron obtener 34.60% de lípidos y a su vez generaron 10.9g de bioetanol y 4.3 de biodiesel (Li et al., 2015).

Nguyen et al., en 2018 sugirieron que el biodiesel BSFL podría ser un sustituto del petrodiesel y que la transesterificación directa podría ser un método prometedor para la producción de biodiesel a partir de biomasa de BSFL.

2.3.5 Prepupa/pupa

Al finalizar su crecimiento, las larvas abandonan el medio de desarrollo buscando un sitio seco y protegido, a este estadio se le denomina prepupa (sexto

estadio larval). En esta etapa se caracteriza por el endurecimiento y oscurecimiento de la cutícula, así como por su baja movilidad y después de cinco a siete días se transforma en pupa caracterizada por la falta de movimiento (Hall y Gerhardt, 2002).

Imagen 6. Pupa de mosca soldado (*Hermetia illucens*).



Dirección General de Bibliotecas UAQ

3. HIPÓTESIS

El uso de larva de mosca soldado en un sistema de biotransformación le confiere una mayor capacidad de degradación de residuos agroindustriales logrando la reducción de éstos en un tiempo corto debido a su ciclo de vida y generando macromoléculas de interés comercial.

Dirección General de Bibliotecas UAQ

4. OBJETIVOS

4.1 Objetivo general

Desarrollar un sistema de biotransformación de residuos agroindustriales mediante el uso de mosca soldado.

4.2 Objetivos particulares

Establecer las condiciones de cultivo de la larva de mosca soldado.

Determinar y caracterizar los residuos agroindustriales orgánicos que se utilizarán.

Establecer la eficiencia de biotransformación entre larva de mosca soldado y el residuo agroindustrial.

5. METODOLOGÍA

5.1 Establecimiento de las condiciones de cultivo de la larva de mosca soldado

Se obtuvieron larvas de *Hermetia illucens* de seis días de edad de la unidad de reproducción de mosca soldado ubicada en la facultad de ingeniería campus Amazcala de la Universidad Autónoma de Querétaro, las cuáles fueron crecidas en una dieta gainesville la cuál esta constituida a base de maíz, salvado de trigo y alimento para pollo de engorda mezclado con agua. Las larvas se mantuvieron en condiciones de 60% de humedad y temperatura de $27^{\circ} \text{C} \pm 1$.

5.1.1 Condiciones del cultivo

Cada experimento se realizó en cajas de plástico de 29.5 cm x 11 cm x 17 cm, en la tapa de cada caja se corto un recuadro el cuál se tapó con malla mosquitera para permitir el paso del aire al sustrato y evitar que aumento de la temperatura dentro de la caja y la generación de hongos. El experimento se llevo a cabo en una estufa marca Memmert a una temperatura controlada de $27 \pm 1^{\circ} \text{C}$ (Diener et al., 2009), la humedad del sustrato se mantuvo aproximadamente a un 60%. Se crecieron larvas de mosca soldado en cada residuo por triplicado en los cuales se colocaron 2000g de residuo agroindustrial en cada recipiente y se agregaron 2g de larvas que aproximadamente contenian entre 200-300 larvas de mosca soldado con una edad de 6 días. Durante el experimento se registro el peso total de las larvas cada tercer día y se contaban la cantidad de larvas en cada recipiente. El experimento finalizón cuando la mitad de la población de larvas pasaron al estadio de pre-pupa.

5.2 Determinación y caracterización de residuos agroindustriales orgánicos

Para este experimento se utilizaron cuatro tipos de residuos agroindustriales los cuales fueron: cáscaras de naranja, residuos de la industria cervecera (cebada fermentada), estiércol de cerdo y residuos de cultivo de jitomate (fruto de la planta). A cada residuo se le hicieron los siguientes análisis antes y después del proceso de bioconversión: proteína, calorías, humedad, cenizas, grasas y azúcares totales.

5.2.1 Determinación de humedad

Para su determinación se identificó cada charola con un número, una vez listas, se pusieron a peso constante (secando a 100 ± 2.0 °C por intervalos de dos horas). El peso constante se registró y ya registrado el peso constante de la charola, se colocó en la balanza y se pesó en ella alrededor de 2–5 g de la muestra, se registró el peso exacto de la charola más la muestra húmeda después se colocó la muestra en un horno a 100 ± 2 °C de 4 a 12 horas (dependiendo de la naturaleza de la muestra). Pasado el tiempo de secado, se dejó enfriar las charolas en un desecador. Ya frías se pesaron en la balanza analítica previamente tarada después se colocaron nuevamente en la estufa durante intervalos de una hora hasta que alcanzaron el peso constante.

El porcentaje de humedad se calculó usando la siguiente fórmula:

$$(\%) = 100 \times ((P2-P3)/(P2-P1))$$

Donde:

P1 = Peso de recipiente

P2 = Peso de recipiente más muestra húmeda

P3 = Peso de recipiente más muestra seca

% Sólidos totales = 100 - % de humedad

5.2.2 Determinación de cenizas

Se homogenizó bien la muestra antes de pesar. Para las muestras con alto contenido de agua, se colocó el crisol con la muestra ya pesada sobre un plato caliente para eliminar un poco de humedad, después se pusieron a peso constante los crisoles previamente marcados, se registro el peso constante del crisol vacío, se pesaron de 2 a 5 gramos de muestra en el crisol previamente tarado después se colocaron los crisoles con la muestra en la mufla a 500°C por 5 horas. Pasado el tiempo de incineración, se apagó la mufla y se dejó enfriar, con ayuda de la pinza, se sacaron los crisoles, se colocaron en el desecador y se peso cada crisol en balanza analítica previamente tarada.

El cálculo del porcentaje de cenizas se calculó con la siguiente formula:

$$\% \text{ cenizas} = \frac{(P2 - P1) \times 100}{M}$$

Donde:

P2 = Peso del crisol con las cenizas en gramos.

P1 = Peso del crisol vacío en gramos.

M = Peso de la muestra en gramos.

5.2.3 Determinación de carbohidratos

Se pesó 100 mg de cada muestra previamente molida en tubos de ensaye con tapón de rosca (10 x 110) al mismo tiempo se preparó un blanco de reacción. Para la hidrólisis, se le colocó a cada tubo 5 ml de HCl 2.5 N, después se pusieron

a baño maría a ebullición durante 3 horas, transcurrido el tiempo se sacaron del baño maría y se dejaron enfriar a temperatura ambiente. Para neutralizar, a cada tubo se le agregó carbonato de sodio anhidro hasta que la efervescencia cesó después se trasvasó el contenido de cada tubo de ensaye a matraces volumétricos de 100 ml previamente identificados, se arrastró el residuo de cada tubo con agua destilada hacia su correspondiente matraz volumétrico, se aforó cada matraz volumétrico con agua destilada, se tapó y se mezcló ligeramente, después se tomó una alícuota de 15 ml de cada matraz volumétrico y se colocó en un tubo falcon previamente identificado. Se centrifugó a 10000 rpm durante 15 min, se colectó el sobrenadante de cada tubo falcon, se tomó un alícuota de 1 ml y se colocó en un tubo de ensaye con tapón de rosca 10x110 identificado, se colocaron los tubos de ensaye en un baño frío y se agregó lentamente a cada uno 4 ml de la solución antrona y se mezcló cuidadosamente, se sacaron los tubos del baño en frío. Después se colocaron en un baño maría a ebullición durante 8 minutos. Transcurrido el tiempo se sacaron del baño maría y se dejaron enfriar, de cada tubo de ensaye se tomó una alícuota y se colocó en una celda de cuarzo.

Las muestras y la curva de calibración se leyeron a 630 nm en un periodo menor a 1 hora. De la curva de calibración se calculó la ecuación de la regresión lineal. Con la ecuación obtenida de la curva de calibración se calculó el valor de la concentración de azúcares totales en las muestras.

5.2.4 Determinación de grasa total

Se pesó de 2.0 ± 0.001 g de cada muestra en una charola, se colocaron las muestras en los liners cuidando que la muestra no quede adherida en la parte superior de la boca del liner, se añadieron 25 ml de la mezcla de hexano: acetona 1:1 a cada liner, se introdujeron las muestras en el microondas siguiendo la instrucción de operación del equipo, se inició la extracción en el microondas previamente programado para el método GRASAS-BR-004. Se pesaron tubos de vidrio puestos previamente a peso constante. Se registró el peso exacto y el número

de tubo en las columnas correspondientes en la hoja de registro para la determinación de grasa total.

Se conectó el sistema de vacío en la campana y se preparó papel filtro, 100 ml de mezcla de extracción y pipetas de transferencia, una vez terminada la extracción, se sacó el rotor del microondas y se colocó dentro de la campana de extracción, se introdujo un tubo de vidrio en el matraz Erlenmeyer y se colocó el embudo de vidrio y el adaptador de neopreno. Se colocó el papel filtro en el embudo y se encendió el vacío, con ayuda de la pipeta de transferencia, se pasó un poco de solución extractora por el papel filtro para lograr que el sistema alcance el vacío después se vertió en el embudo el contenido del liner correspondiente, cuidando no derramar ni el extracto ni el residuo sólido de la muestra posteriormente se enjuagó el residuo sólido tres veces (con porciones de 1 ml) con la solución extractora.

Se apagó el sistema de vacío y se retiró el embudo de vidrio. Una vez recuperados todos los extractos grasos, se llevaron a evaporación en un termobañó a 55 °C. Una vez evaporada la mayor cantidad de disolvente, se colocaron los tubos con la grasa en la estufa (a 105 °C). Los tubos se mantuvieron en la estufa durante 30 minutos y luego se enfriaron en el desecador. Se enfriaron se pesaron y se registró el peso.

Para el cálculo de la grasa total se consideraron las siguientes formulas:

$$\text{Peso de la grasa} = P_2 - P_1$$

Donde:

P_1 es el peso del tubo de vidrio a peso constante

P_2 es el peso del tubo de vidrio + la grasa a peso constante

$$\% \text{ Grasa total} = \left(\frac{\text{Peso de la grasa}}{\text{Peso de la muestra}} \right) 100$$

5.2.5 Determinación de calorías

Se colocó el molde de prensado sobre el soporte y con ayuda de una espátula, se colocó un poco de muestra en el interior del molde (de 0.5g a 1.0g), se puso el molde en la prensa peletizadora y se empujó la manija ejerciendo presión a la muestra, una vez comprimida la muestra, se levantó la manija y se colteó el soporte y el molde que contenía la muestra comprimida para recuperar el pellet del soporte.

Se colocó un crisol para calorimetría en la balanza analítica y se taró el peso. Se colocó el pellet recién formado en el crisol y se registró su peso exacto, después se colocó el crisol con la muestra en la cabeza de la bomba y se siguieron las instrucciones de operación del calorímetro para llevar a cabo la medición del contenido calórico.

5.3 Establecimiento de la eficiencia de biotransformación entre larva de mosca soldado y el residuo

5.3.1 Tasa de consumo relativo

La tasa de consumo relativo (RCR) representa la cantidad de alimento ingerido por miligramo de peso del insecto por día y es expresado en mg/mg/día. Puede ser alterado en función de la cantidad de agua en el alimento o por la composición físico-química de la dieta. Aunque los insectos consumen un gran porcentaje de alimento (más del 75%) en el último instar, en relación con la cantidad total del alimento consumido, el consumo es proporcional a la talla, el cuál es mayor en los primeros instares.

$$\text{RCR} = \frac{\text{I}}{\text{B} \times \text{T}}$$

5.3.2 Tasa de crecimiento relativo

La tasa de crecimiento relativo (RGR) indica la ganancia de biomasa del insecto en relación con su peso y es expresado en mg/mg/día. Depende de la calidad de la dieta, del estado fisiológico del insecto y de los factores medioambientales.

$$\text{RGR} = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{B} \times \mathbf{T}}$$

5.3.3 Eficiencia de conversión del alimento ingerido (ECI)

La eficiencia de conversión de alimento ingerido (ECI) representa el porcentaje de alimento ingerido que es transformado en biomasa. Este índice tiende a incrementar en el último instar. En el último instar hay cambios fisiológicos y gasto extra de energía en la etapa de pre-pupa, lo cuál provoca una disminución en el peso del insecto en este instar.

$$\text{ECI} = \frac{\mathbf{B}}{\mathbf{I}} \times 100$$

5.3.4 Eficiencia en la conversión de alimento digerido

La eficiencia en la conversión de alimento digerido (ECD) es un estimado de la conversión de material asimilado en biomasa por el sistema biológico (representa el porcentaje de alimento ingerido que es convertido en biomasa). La ECD incrementa con el desarrollo del insecto. Pueden ocurrir variaciones con la edad, como la variación de la tasa metabólica relativa, síntesis de lípidos, la tasa de asimilación y la actividad del organismo (Slansky and Scriber 1985). El opuesto de

ECD indica el porcentaje de alimento metabolizado en energía para mantener la vida. Por lo tanto, 100-ECD corresponde al costo metabólico.

$$\text{ECD} = \frac{\text{B}}{\text{I} - \text{F}} \times 100$$

5.3.5 Índice de conversión de alimento

El índice de conversión de alimento (FCR) es un indicador zootécnico de la eficiencia animal para transformar los alimentos en peso corporal.

$$\text{FCR} = \frac{\text{Peso de alimento ingerido}}{\text{Peso obtenido por la biomasa larval}}$$

5.3.6 Tasa de reducción de residuo

La tasa de reducción de residuo (WRR) se refiere a la cantidad de desperdicio reducido.

$$\text{WRR} = \frac{\text{W} - \text{R}}{\text{W}}$$

Donde W es el total de alimento utilizado y R es el residuo del experimento.

5.3.7 Índice de reducción del residuo

El índice de reducción del residuo (WRI) muestra el nivel de desperdicio reducido durante un tiempo específico.

$$\text{WRI} = \frac{\text{WRR}}{\text{T}} \times 100$$

Donde T es la duración en días del experimento.

5.3.8 Mortalidad

Es la cantidad de individuos muertos en un periodo de tiempo.

$$\text{M} = \frac{\text{Total de larvas al inicio del experimento} - \text{Total de larvas al final del experimento}}{\text{Total de larvas al inicio del experimento}} \times 100$$

5.3.9 Análisis estadístico

Se determinaron las diferencias estadísticamente significativas mediante un análisis de varianza ANOVA (95% de confianza) para la demostración del efecto de los diferentes tratamientos aplicados.

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1 Cáscaras de naranja

Se obtuvieron cáscaras de naranja del proceso de elaboración de jugo de naranja de la cafetería ubicada en el campus Amazcala.

Imagen 7. Cáscaras de naranja recolectadas de la cafetería de la facultad de ingeniería, campus Amazcala (izquierda), cáscaras de naranja picada en cuadros (derecha).



Una vez obtenidas las cáscaras de naranja se le realizaron análisis bromatológicos (ver Tabla 2). Este residuo fue el que tuvo la menor cantidad de proteína y grasas sin embargo es un sustrato rico en carbohidratos. Como se puede observar en la tabla 2 el contenido de humedad esta dentro del rango óptimo para el desarrollo de las larvas.

Tabla 2. Análisis bromatológicos de las cáscaras de naranja.

| Cáscaras de naranja | |
|---------------------------------|--------------|
| Materia seca (%) | 21.32 ± 0.13 |
| Proteína (%) | 4.00 ± 0.11 |
| Grasas (g/100g) | 3.16 ± 0.03 |
| Carbohidratos (mg/ 100g) | 22.61 ± 0.37 |

| | |
|--------------------|-----------------|
| Cenizas (%) | 0.81 ± .02 |
| Humedad (%) | 78.29 ±0.68 |
| Calorías | 3853.31 ± 12.53 |

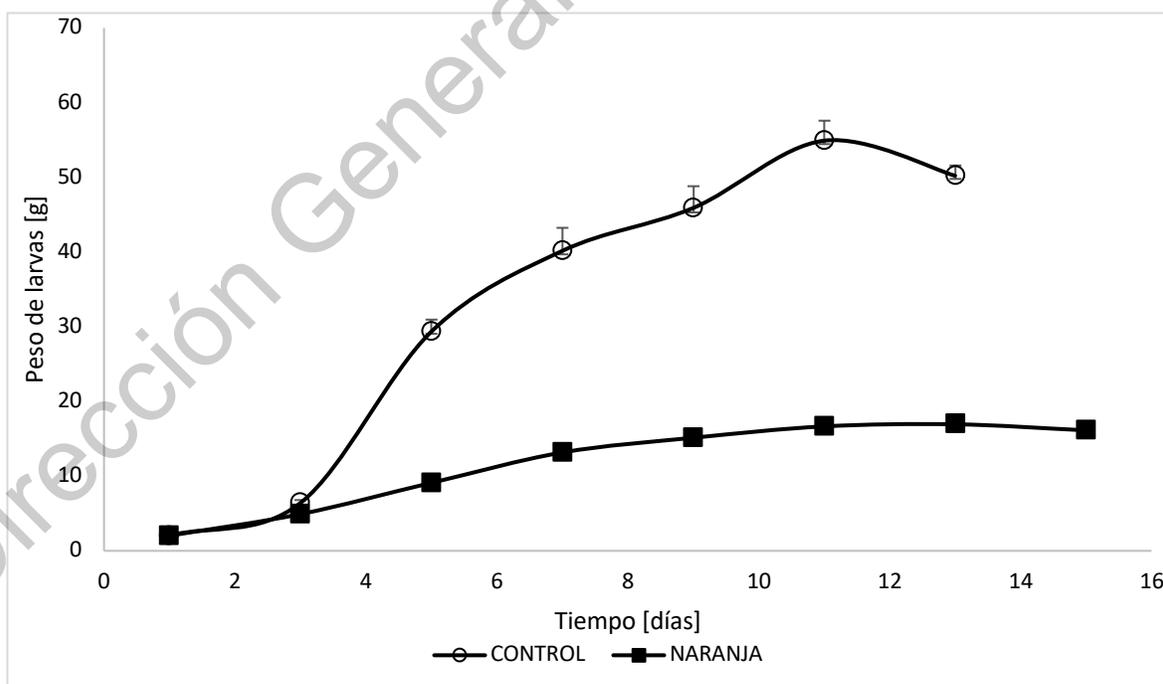
Imagen 8. Seguimiento de biotransformación de cáscaras de naranja usando larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*).





En el proceso de biotransformación de las cáscaras de naranja se puede percibir entre la segunda y tercera observación un cambio de color en el residuo lo cual se debe a la oxidación de este (ver Imagen 8). La biotransformación del residuo se detuvo cuando la mitad de las larvas se convirtieron en prepupa lo cual sucedió en el día 15, dos días después que el control (Figura 2).

Figura 2. Crecimiento de larvas de mosca en residuos de cáscaras de naranja.



Se logró observar el desarrollo larval de mosca soldado en cáscaras de naranja a pesar de que se ha comprobado que el limoneno contenido en este residuo tiene un efecto insecticida (Sheppard, 1984). Sin embargo el crecimiento de la larva fue menor comparado con el control, aun así se logró el desarrollo larval en un tiempo de quince días.

Figura 3. Ganancia de biomasa de larvas de mosca soldado crecidas en cáscaras de naranja.

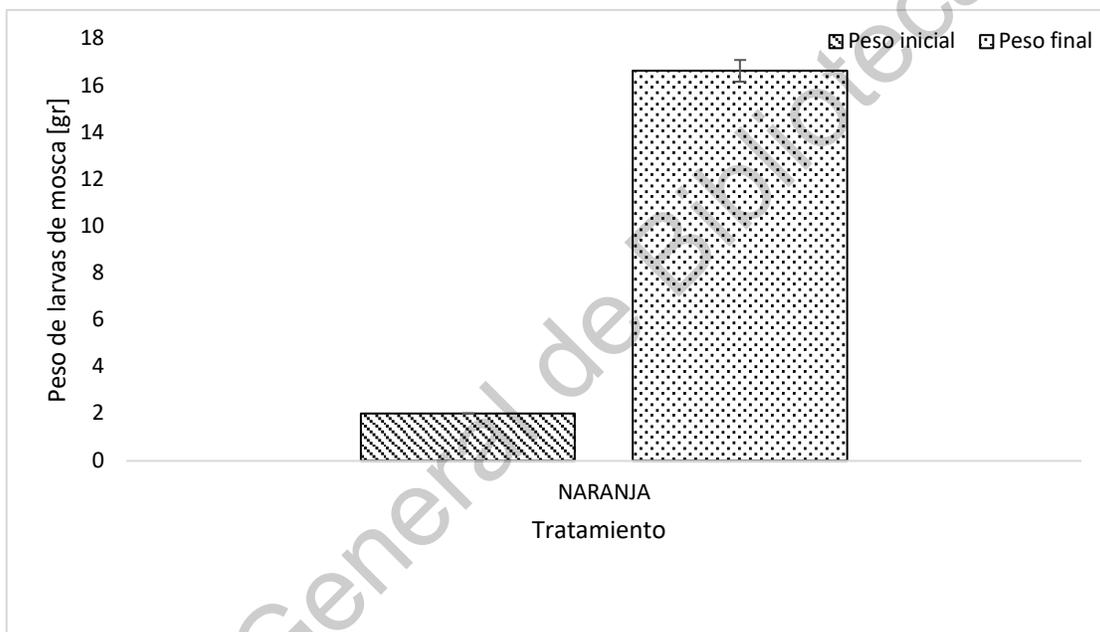


Figura 4. Comparación de ganancia de biomasa de larvas crecidas en la dieta control (gainesville) contra las crecidas en cáscaras de naranja.

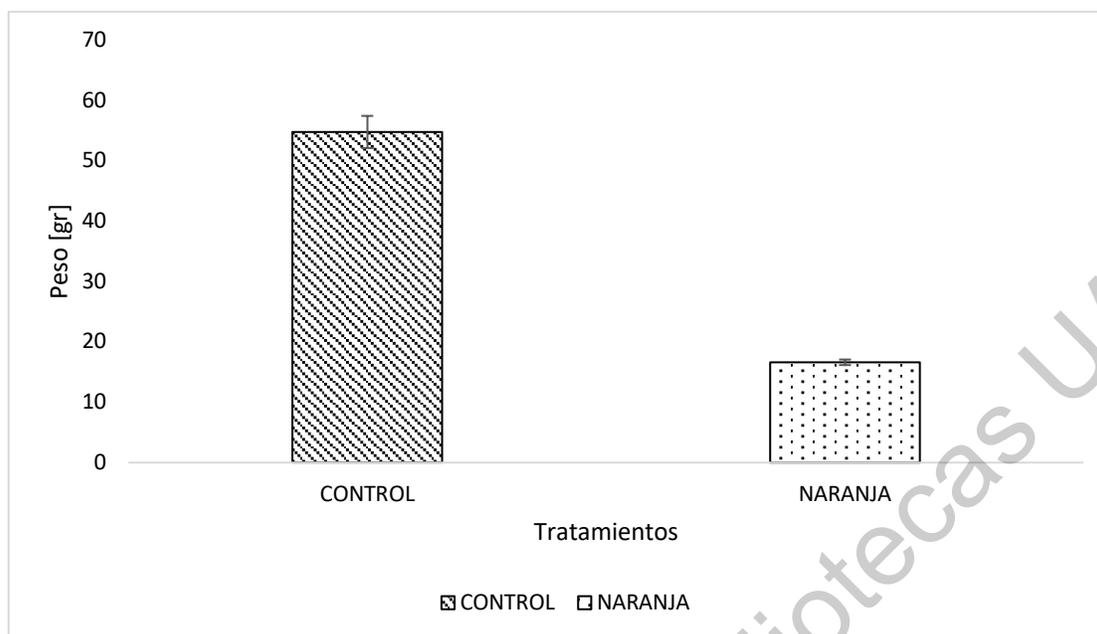


Tabla 3. Parámetros de biotransformación en residuos de cáscaras de naranja.

| | Dieta control (Gainesville) | Cáscaras de naranja |
|------------------------|--------------------------------|---------------------|
| ECD (%) | 5.67 ± 0.65 | 2.31 ± 0.11 |
| WRR (%) | 39.42 ± 3.46 | 49.62 ± 1.40 |
| FCR (%) | 17.78 ± 1.93 | 43.36 ± 2.12 |
| WRI (%) | 3.03 ± 0.27 | 3.31 ± 0.09 |
| RGR (mg/mg/día) | 2.72 ± 0.12 | 0.71 ± 0.03 |
| RCR (mg/mg/día) | 48.15 ± 3.24 | 30.74 ± 0.77 |
| Mortalidad (%) | 8.79 ± 1.69 | 8.13 ± 1.19 |

Las larvas crecidas en cáscaras de naranja tuvieron mayor contenido proteico a pesar de que el residuo de cáscaras de naranja era pobre en cuanto a contenido proteico y grasas. En un estudio realizado con una mezcla de frutas (pera, manzana y naranja) obtuvieron una alta cantidad de grasas aunque este residuo tenía un bajo contenido de proteína lo cual ocasionó que el desarrollo de la larva fuera más lento con un total de 52 días (Jucker et al., 2017) aunque en el presente trabajo los días de desarrollo larval fueron de 15. Las diferencias entre lo reportado y lo obtenido en el este trabajo pueden deberse a que solo se utilizó un sustrato puro y no una mezcla de residuos.

Tabla 4. Tabla de análisis bromatológico de las larvas inicial y final del proceso de biotransformación en cáscaras de naranja.

| | Larva inicial | Larva final |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|
| Materia seca (%) | 33.11 ± 0.08 | 33.43 ± 0.35 |
| Proteína (%) | 36.85 ± 0.39 | 38.94 ± 0.24 |
| Grasas (g/100 g) | 31.68 ± 0.57 | 28.40 ± 0.03 |
| Carbohidratos (mg/ 100 g) | 2.48 ± 0.18 | 1.13 ± 0.06 |
| Cenizas (%) | 3.46 ± 0.03 | 3.30 ± 0.25 |
| Humedad (%) | 66.31 ± 1.02 | 66.58 ± 0.35 |
| Calorías (cal/g) | 5927.45 ± 9.71 | 5766.37 ± 43.80 |

Tabla 5. Tabla de sustratos antes y después del proceso de biotransformación en cáscaras de naranja.

| | Cáscaras de naranja inicial | Cáscaras de naranja final |
|----------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Materia seca (%) | 21.32 ± 0.13 | 35.18 ± 0.75 |
| Proteína (%) | 4.00 ± 0.11 | 12.10 ± 0.37 |
| Grasas (g/100 g) | 3.16 ± 0.03 | 2.74 ± 0.20 |
| Carbohidratos (mg/ 100 g) | 22.61 ± 0.37 | 13.87 ± 0.52 |
| Cenizas (%) | 0.81 ± .02 | 2.29 ± 0.11 |
| Humedad (%) | 78.29 ± 0.68 | 64.82 ± 0.75 |
| Calorías (cal/g) | 3853.31 ± 12.53 | 3764.92 ± 6.62 |

6.2 Residuos de cebada

Se obtuvieron residuos de cebada del proceso de elaboración de cerveza de la empresa llamada "Toro" ubicada en el municipio de Corregidora. Se disminuyó el tamaño de partícula de la cebada con la ayuda de una licuadora y se le eliminó el exceso de agua para lograr un contenido de humedad de 70% aproximadamente y obtener una consistencia pastosa (Imagen 9).

Imagen 9. Residuo de cebada (izquierda), residuo de cebada después de disminuir el tamaño de partícula (derecha).



Tabla 6. Análisis bromatológicos del residuo de cebada.

| Residuos de cebada | |
|---------------------------------|-----------------|
| Materia seca (%) | 21.32 ± 0.13 |
| Proteína (%) | 12.28 ± 0.27 |
| Grasas (g/100g) | 4.20 ± 0.19 |
| Carbohidratos (mg/ 100g) | 48.67 ± 0.65 |
| Cenizas (%) | 1.08 ± 0.05 |
| Humedad (%) | 62.93 ± 0.56 |
| Calorías | 4170.85 ± 12.54 |

Imagen 10. Seguimiento de biotransformación de residuos de cebada usando larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*).



En el proceso de biotransformación del residuo de cebada, después de la segunda observación se vio una pérdida constante de agua en el residuo (Imagen 10). La biotransformación del residuo se detuvo cuando la mitad de las larvas se convirtieron en pupa lo cual sucedió en el día 11, dos días antes que la dieta control (Figura 5).

Figura 5. Crecimiento de larvas de mosca en residuos de cebada.

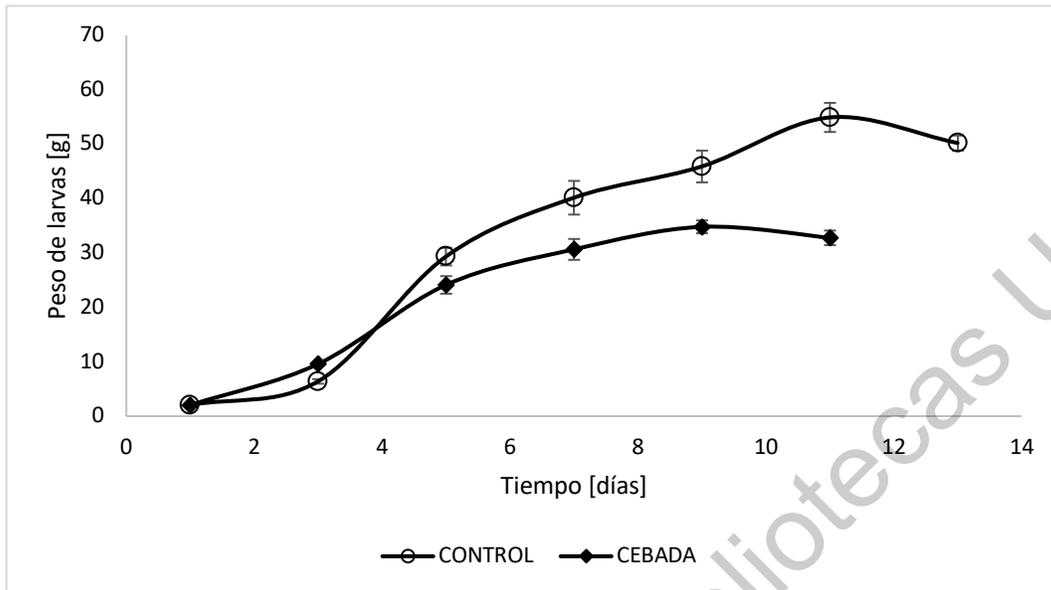


Figura 6. Ganancia de biomasa de larvas de mosca soldado crecidas en residuos de cebada.

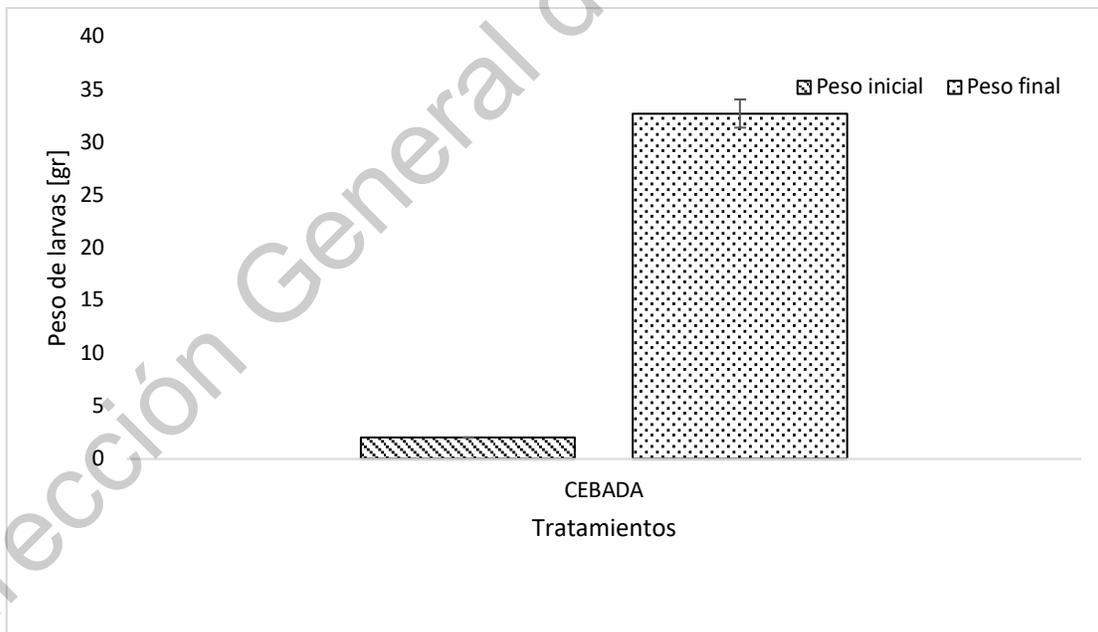
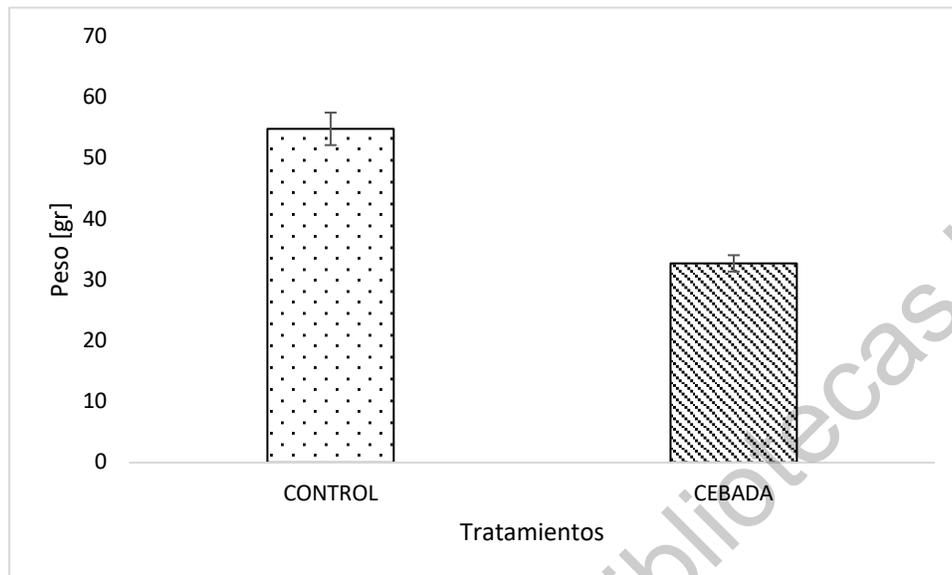


Figura 7. Comparación de ganancia de biomasa de larvas crecidas en la dieta control (gainesville) contra las crecidas en residuos de cebada.



Somroo et al en el 2019 realizaron un estudio en el cuál inoculaban soya con *Lactobacillus buchneri* para alimentar a la larva de mosca y concluyeron que esta acción incrementaba la tasa de biotransformación y la calidad nutricia de la larva obteniendo una tasa de reducción de masa en peso seco de $55.7 \pm 0.9\%$ y su tasa de biotransformación fue de $6.9 \pm 0.3\%$, el contenido de proteína fue de $55.3 \pm 0.6\%$, grasas de $30 \pm 0.6\%$. Comparando estos resultados con los obtenidos en el residuo de cebada la tasa de reducción fue de 66.87 ± 4.02 , la tasa de biotransformación de 2.42 ± 0.05 , el contenido de proteína 37.24 ± 0.31 y grasas de 37.14 ± 0.77 . El residuo de cebada se compara con lo obtenido en este estudio ya que es un residuo que proviene de un proceso de fermentación. Como se puede observar obtuvimos una tasa de reducción mayor sin embargo la tasa de biotransformación fue menor que la obtenida por Somroo et al. y esto puede deberse al tipo de microorganismos presentes en los residuos de cebada.

Tabla 7. Parámetros de biotransformación en residuos de cebada.

| | Dieta control (Gainesville) | Residuos de cebada |
|------------------------|--------------------------------|--------------------|
| ECD (%) | 5.67 ± 0.65 | 2.42 ± 0.05 |
| WRR (%) | 39.42 ± 3.46 | 66.87 ± 4.02 |
| FCR (%) | 17.78 ± 1.93 | 41.40 ± 0.85 |
| WRI (%) | 3.03 ± 0.27 | 6.08 ± 0.37 |
| RGR (mg/mg/día) | 2.72 ± 0.12 | 2.15 ± 0.12 |
| RCR (mg/mg/día) | 48.15 ± 3.24 | 89.16 ± 5.99 |
| Mortalidad (%) | 8.79 ± 1.69 | 2.26 ± 1.46 |

Tabla 8. Tabla de análisis bromatológico de las larvas antes y después del proceso de biotransformación residuos de cebada.

| | Larva inicial | Larva final |
|----------------------------------|----------------|-----------------|
| Materia seca (%) | 33.11 ± 0.08 | 36.84 ± 0.81 |
| Proteína (%) | 36.85 ± 0.39 | 37.24 ± 0.31 |
| Grasas (g/100 g) | 31.68 ± 0.57 | 37.14 ± 0.77 |
| Carbohidratos (mg/ 100 g) | 2.48 ± 0.18 | 3.11 ± 0.14 |
| Cenizas (%) | 3.46 ± 0.03 | 1.74 ± 0.14 |
| Humedad (%) | 66.31 ± 1.02 | 63.83 ± 1.41 |
| Calorías (cal/g) | 5927.45 ± 9.71 | 6233.85 ± 95.33 |

Tabla 9. Tabla de sustratos antes y después del proceso de biotransformación en residuos de cebada.

| | Residuos de cebada inicial | Residuos de cebada final |
|----------------------------------|-----------------------------------|---------------------------------|
| Materia seca (%) | 21.32 ± 0.13 | 35.18 ± 0.75 |
| Proteína (%) | 4.00 ± 0.11 | 12.10 ± 0.37 |
| Grasas (g/100 g) | 3.16 ± 0.03 | 2.74 ± 0.20 |
| Carbohidratos (mg/ 100 g) | 22.61 ± 0.37 | 13.87 ± 0.52 |
| Cenizas (%) | 0.81 ± .02 | 2.29 ± 0.11 |
| Humedad (%) | 78.29 ±0.68 | 64.82 ± 0.75 |
| Calorías (cal/g) | 3853.31 ± 12.53 | 3764.92 ± 6.62 |

6.3 Cerdaza

Se obtuvo estiércol de cerdo de una granja ubicada en Apaseo en el estado de Guanajuato.

Imagen 11. Recolección de cerdaza.



Tabla 10. Análisis bromatológicos de cerdaza.

| Cerdaza | |
|---------------------------------|-----------------|
| Materia seca (%) | 28.35 ± 0.12 |
| Proteína (%) | 11.11 ± 0.02 |
| Grasas (g/100g) | 6.57 ± 0.21 |
| Carbohidratos (mg/ 100g) | 6.28 ± 0.06 |
| Cenizas (%) | 0.02 ± 0.00 |
| Humedad (%) | 71.65 ± 0.12 |
| Calorías | 3590.43 ± 44.81 |

En el proceso de bioconversión de cerdaza, después de la segunda observación se notó una pérdida constante de agua en el residuo (Imagen 12). La bioconversión del residuo se detuvo cuando la mitad de las larvas se convirtieron en prepupa lo cual sucedió en el día 15, cuatro días más que el control control (Figura 8).

Imagen 12. Seguimiento de biotransformación de cerdaza usando larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*).

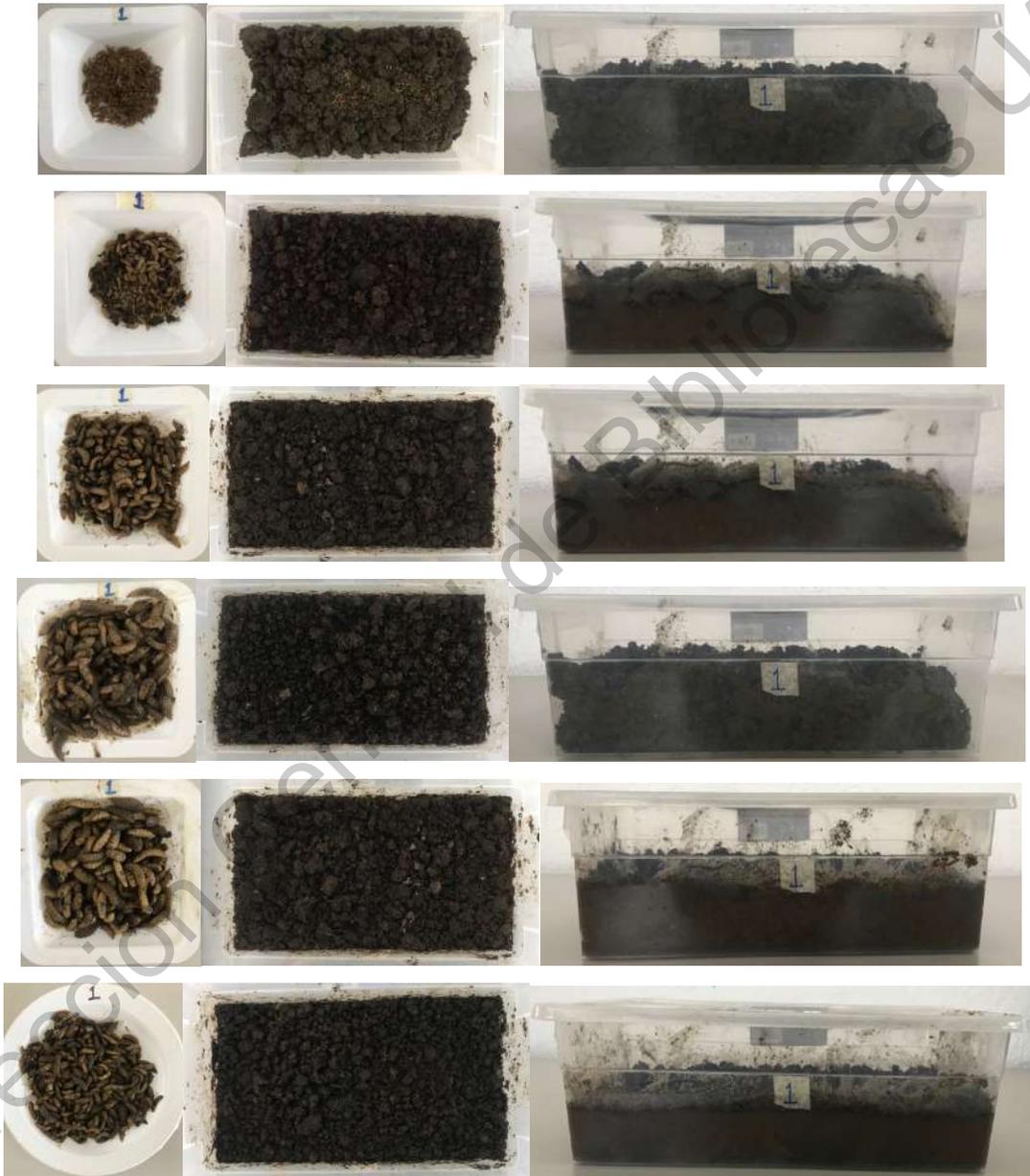




Figura 8. Crecimiento de larvas de mosca en cerdaza.

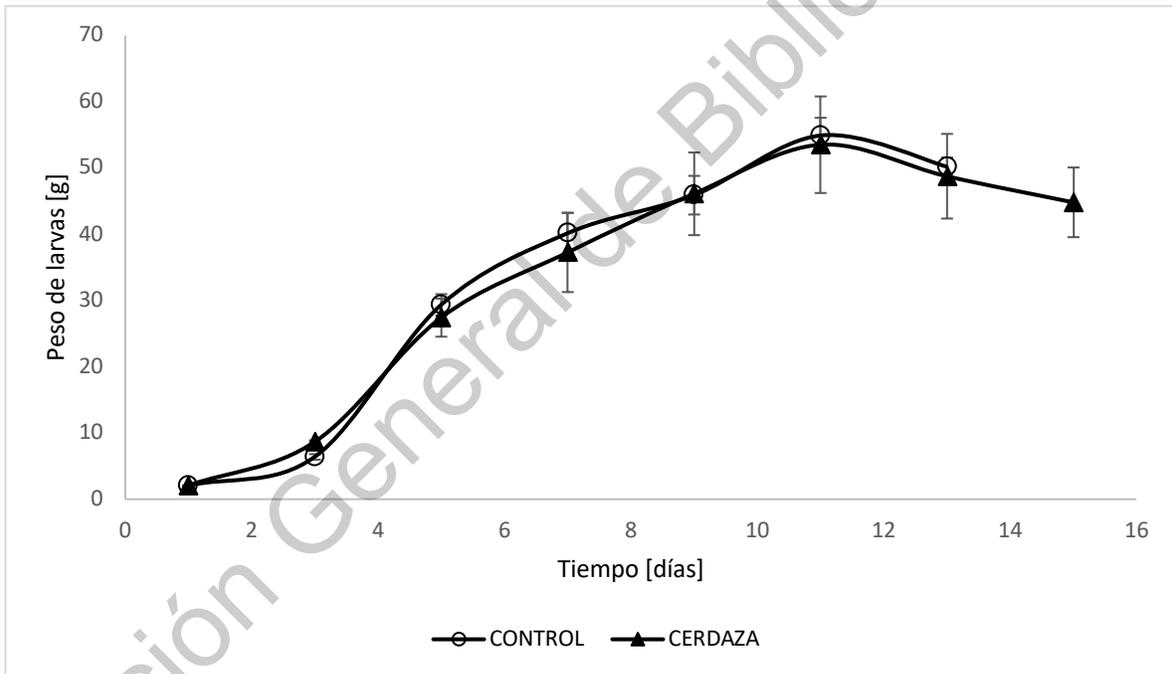


Figura 9. Ganancia de biomasa de larvas de mosca soldado crecidas en cerdaza.

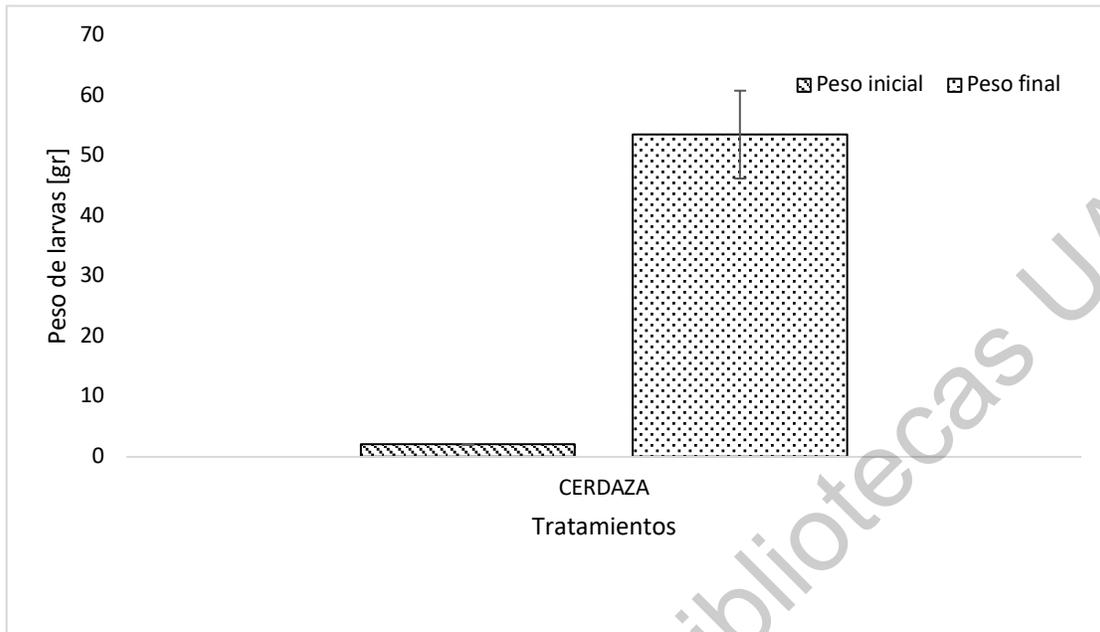
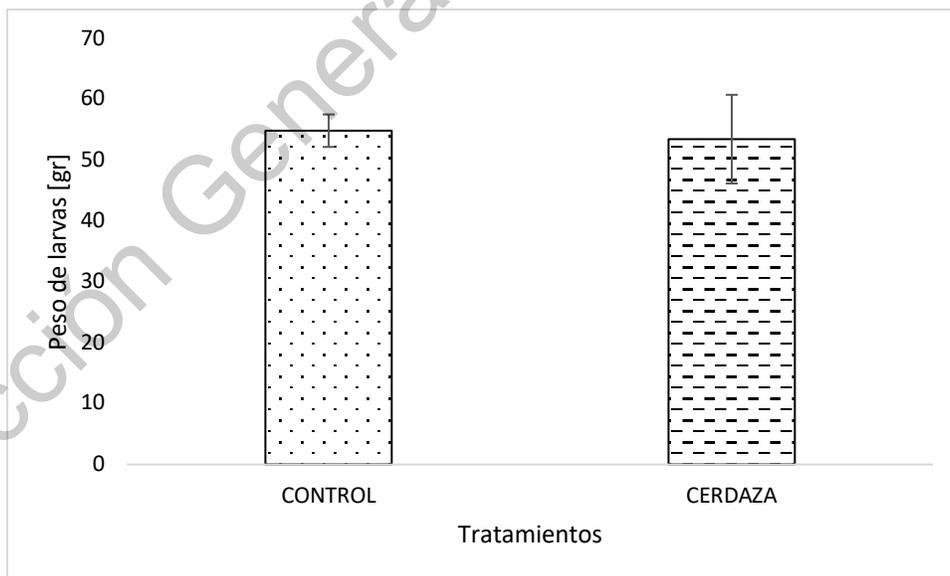


Figura 10. Comparación de ganancia de biomasa de larvas crecidas en la dieta control (gainesville) contra las crecidas en cerdaza.



Un estudio donde se utilizó lodo fecal puro se obtuvo una reducción de 54.7%; lodo fecal más residuos de supermercado 66.6%, residuos de supermercado 59.4% y basura orgánica municipal 68%. (Diener et al., 2011b). En comparación con el residuo de cerdaza utilizado en el presente estudio se logró una tasa de reducción de 74.38%, la cual fue mayor que la obtenida por Diener et al., aunque cabe mencionar que en este estudio se utilizó únicamente estiércol de cerdo sin adicionarle residuos de otro tipo. Como se puede observar los residuos que tienen la mayor tasa de reducción son aquellos que contienen una mayor variedad de componentes lo que lo hace más rico en nutrientes para la larva. Otro estudio en el que utilizaron una mezcla de cuajada de soya con estiércol de vaca obtuvieron una tasa de reducción de 56.6%, biotransformación de 14.6% y un factor de conversión FCR de 4 (Ur Rehman et al., 2017).

Comparando la reducción de estiércol de cerdo obtenida en el presente trabajo con lo obtenido por Newton et al en el 2005, obtuvimos una alta tasa de reducción siendo de 74.38% y la de ellos de 56%.

También se han realizado estudios utilizando gallinaza para el crecimiento de larvas de mosca soldado en el cual obtuvieron una biomasa de 11g en peso seco, una reducción de residuo de 42% y biotransformación de 7.6% comparado con los resultados obtenidos en el presente trabajo en la que tuvimos una ganancia de biomasa de 16 g en peso seco, reducción de residuo de 74% y biotransformación de 3.8% (Cai, M., 2018).

Tabla 11. Parámetros de biotransformación en residuos de cerdaza.

| Dieta control (Gainesville) | Residuos de cerdaza |
|--|----------------------------|
|--|----------------------------|

| | | |
|------------------------|--------------|--------------|
| ECD (%) | 5.67 ± 0.65 | 3.81 ± 0.48 |
| WRR (%) | 39.42 ± 3.46 | 74.38 ± 5.61 |
| FCR (%) | 17.78 ± 1.93 | 26.57 ± 3.55 |
| WRI (%) | 3.03 ± 0.27 | 4.96 ± 0.37 |
| RGR (mg/mg/día) | 2.72 ± 0.12 | 2.31 ± 0.16 |
| RCR (mg/mg/día) | 48.15 ± 3.24 | 61.46 ± 8.84 |
| Mortalidad (%) | 8.79 ± 1.69 | 9.45 ± 7.59 |

Tabla 12. Tabla de análisis bromatológico de las larvas antes y después del proceso de biotransformación cerdaza.

| | Larva inicial | Larva final |
|----------------------------------|----------------------|--------------------|
| Materia seca (%) | 33.11 ± 0.08 | 36.90 ± 0.07 |
| Proteína (%) | 36.85 ± 0.39 | 30.73 ± 0.48 |
| Grasas (g/100 g) | 31.68 ± 0.57 | 33.30 ± 0.62 |
| Carbohidratos (mg/ 100 g) | 2.48 ± 0.18 | 2.03 ± 0.12 |
| Cenizas (%) | 3.46 ± 0.03 | 6.23 ± 0.20 |
| Humedad (%) | 66.31 ± 1.02 | 63.50 ± 0.70 |
| Calorías (cal/g) | 5927.45 ± 9.71 | 5414.56 ± 17.31 |

Tabla 13. Tabla de sustratos antes y después del proceso de biotransformación en cerdaza.

| | Cerdaza inicial | Cerdaza final |
|--|------------------------|----------------------|
|--|------------------------|----------------------|

| | | |
|----------------------------------|-----------------|----------------|
| Materia seca (%) | 28.35 ± 0.12 | 35.18 ± 0.75 |
| Proteína (%) | 11.11 ± 0.02 | 12.10 ± 0.37 |
| Grasas (g/100 g) | 6.57 ± 0.21 | 2.74 ± 0.20 |
| Carbohidratos (mg/ 100 g) | 6.28 ± 0.06 | 13.87 ± 0.52 |
| Cenizas (%) | 0.02 ± 0.00 | 2.29 ± 0.11 |
| Humedad (%) | 71.65 ± 0.12 | 64.82 ± 0.75 |
| Calorías (cal/g) | 3590.43 ± 44.81 | 3764.92 ± 6.62 |

6.4 Residuos de cultivo de Jitomate

Se obtuvieron residuos de cultivo de jitomate (frutos maduros e inmaduros) de un invernadero ubicado en el campus Amazcala. Se redujo el tamaño de partícula de los jitomates molindolos con la ayuda de una licuadora con la finalidad de darle una estructura adecuada al residuo para el buen desarrollo de las larvas.

Imagen 13. Residuos de cultivo de jitomate.



Tabla 14. Análisis bromatológicos de residuos de cultivo de jitomate.

| Residuos de cultivo de Jitomate | |
|---------------------------------|----------------|
| Materia seca (%) | 12.87 ± 0.51 |
| Proteína (%) | 18.90 ± 0.66 |
| Grasas (g/100g) | 7.04 ± 0.14 |
| Carbohidratos (mg/ 100g) | 15.48 ± 0.46 |
| Cenizas (%) | 0.08 ± 0.01 |
| Humedad (%) | 87.13 ± 0.51 |
| Calorías | 4563.37 ± 4.61 |

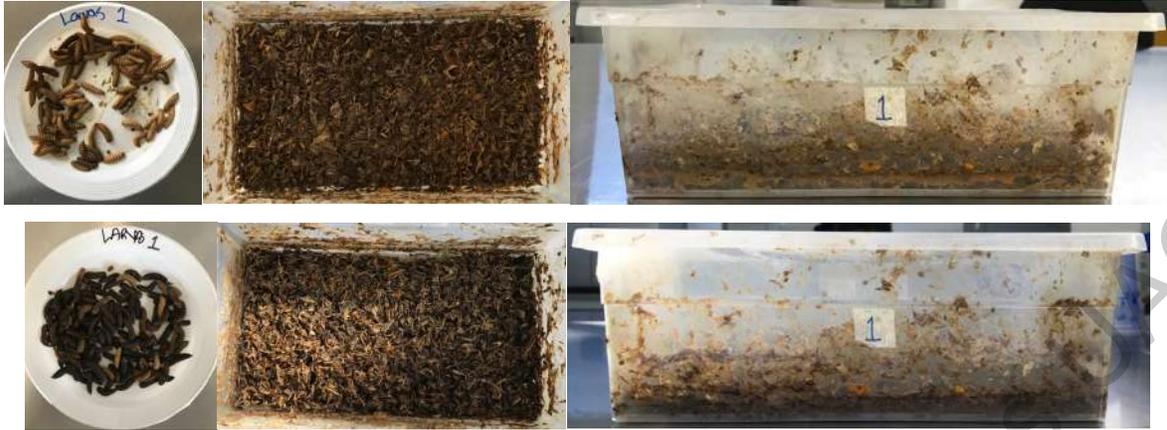
En el proceso de biotransformación del jitomate, después de la segunda observación se puede apreciar una considerable pérdida constante de agua en el residuo (Imagen14). La biotransformación del residuo se detuvo cuando la mitad de las larvas se convirtieron en prepupa lo cual sucedió en el día 19, seis días después que el control (Figura 11).

Imagen 14. Seguimiento de biotransformación de residuos de cultivo de jitomate usando larvas de mosca soldado (*Hermetia illucens*).





Directorio de Bibliotecas UCA



Las larvas crecidas en residuos de jitomate tuvieron el tiempo más largo de desarrollo (19 días) lo cual concuerda con lo reportado por Barry et al., en 2004, donde observan que las larvas crecidas en residuos con alto contenido de grasas tienen un desarrollo lento ya que para ellas es difícil procesarlo.

Figura 11. Crecimiento de larvas de mosca en residuos de cultivo de jitomate.

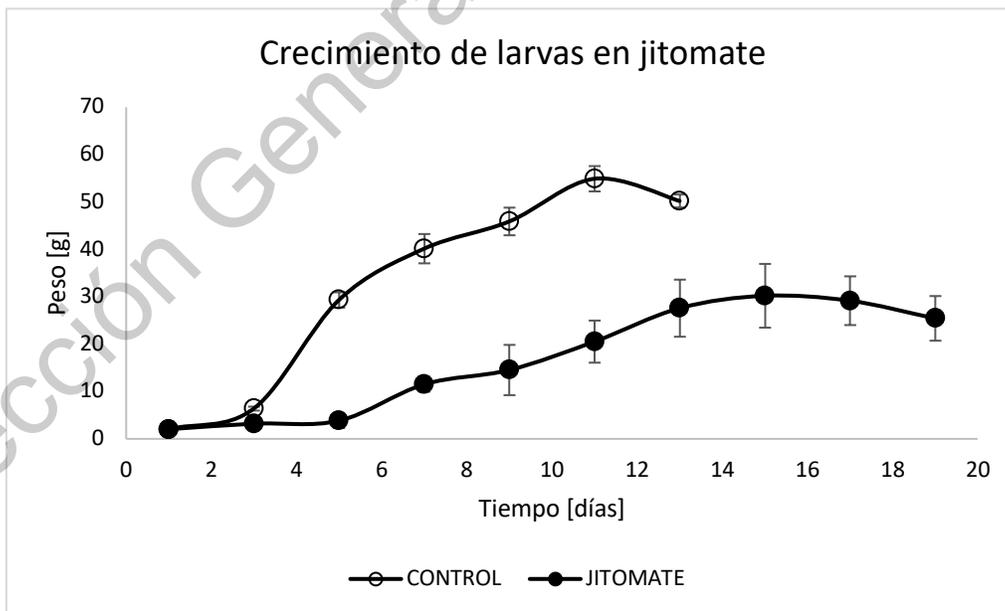


Figura 12. Ganancia de biomasa de larvas de mosca soldado crecidas en residuos de cultivo de jitomate.

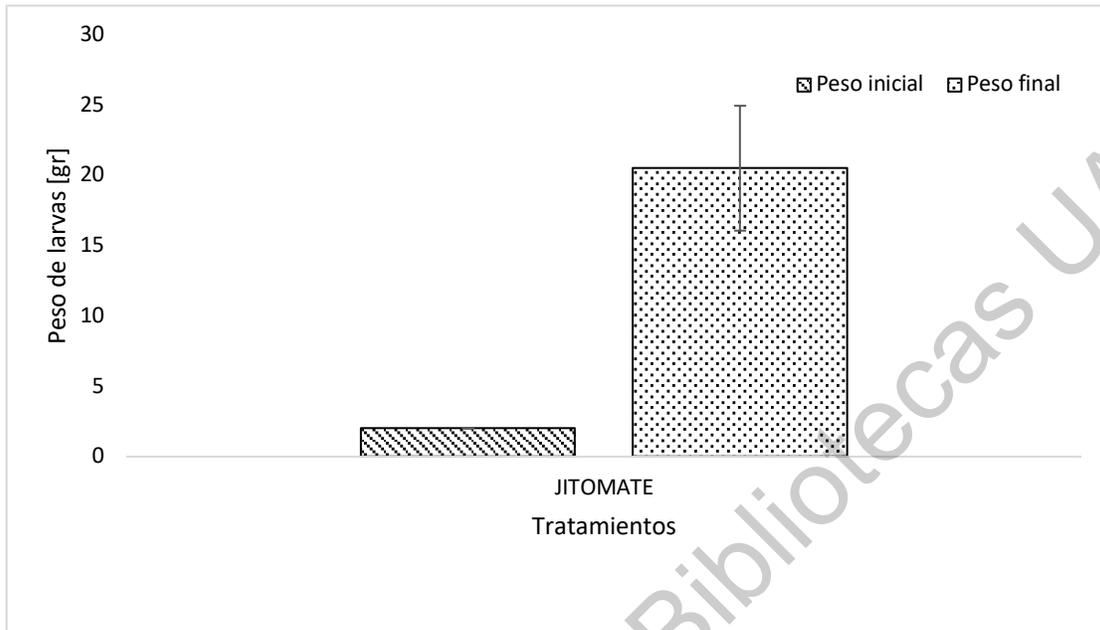


Figura 13. Comparación de ganancia de biomasa de larvas crecidas en la dieta control (gainesville) contra las crecidas en residuos de cultivo de jitomate.

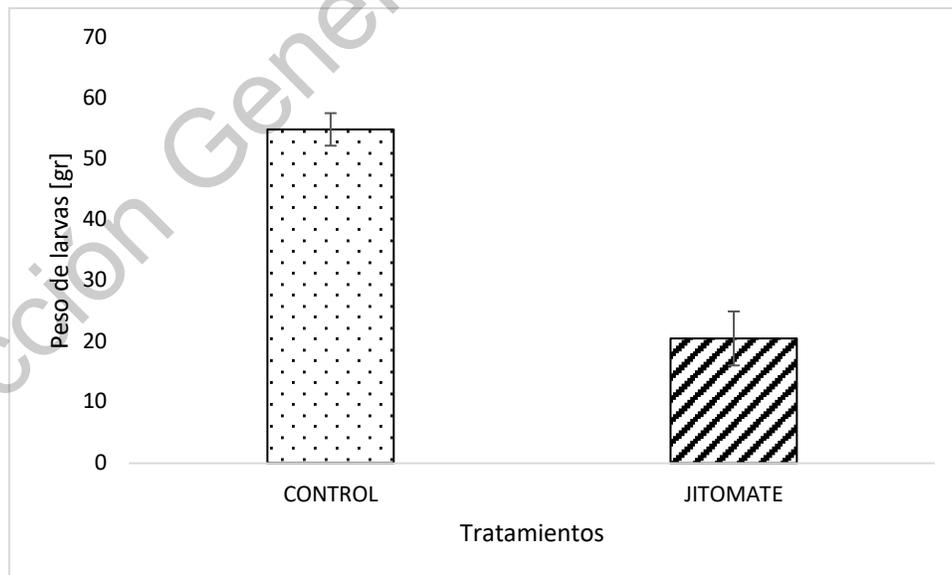


Tabla 15. Parámetros de biotransformación en residuos de residuos de cultivo de jitomate.

| | Dieta control (Gainesville) | Residuos de cultivo de jitomate |
|------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| ECD (%) | 5.67 ± 0.65 | 4.58 ± 1.11 |
| WRR (%) | 39.42 ± 3.46 | 73.38 ± 4.87 |
| FCR (%) | 17.78 ± 1.93 | 22.61 ± 4.80 |
| WRI (%) | 3.03 ± 0.27 | 3.86 ± 0.26 |
| RGR (mg/mg/día) | 2.72 ± 0.12 | 2.16 ± 0.14 |
| RCR (mg/mg/día) | 48.15 ± 3.24 | 48.45 ± 8.08 |
| Mortalidad (%) | 8.79 ± 1.69 | 58.28 ± 5.61 |

Tabla 16. Tabla de análisis bromatológico de las larvas antes y después del proceso de biotransformación de residuos de cultivo de jitomate.

| | Larva inicial | Larva final |
|----------------------------------|----------------|-----------------|
| Materia seca (%) | 33.11 ± 0.08 | 35.77 ± 0.56 |
| Proteína (%) | 36.85 ± 0.39 | 37.36 ± 0.01 |
| Grasas (g/100 g) | 31.68 ± 0.57 | 35.17 ± 0.64 |
| Carbohidratos (mg/ 100 g) | 2.48 ± 0.18 | 2.02 ± 0.08 |
| Cenizas (%) | 3.46 ± 0.03 | 2.26 ± 0.10 |
| Humedad (%) | 66.31 ± 1.02 | 63.32 ± 1.68 |
| Calorías (cal/g) | 5927.45 ± 9.71 | 6114.36 ± 96.34 |

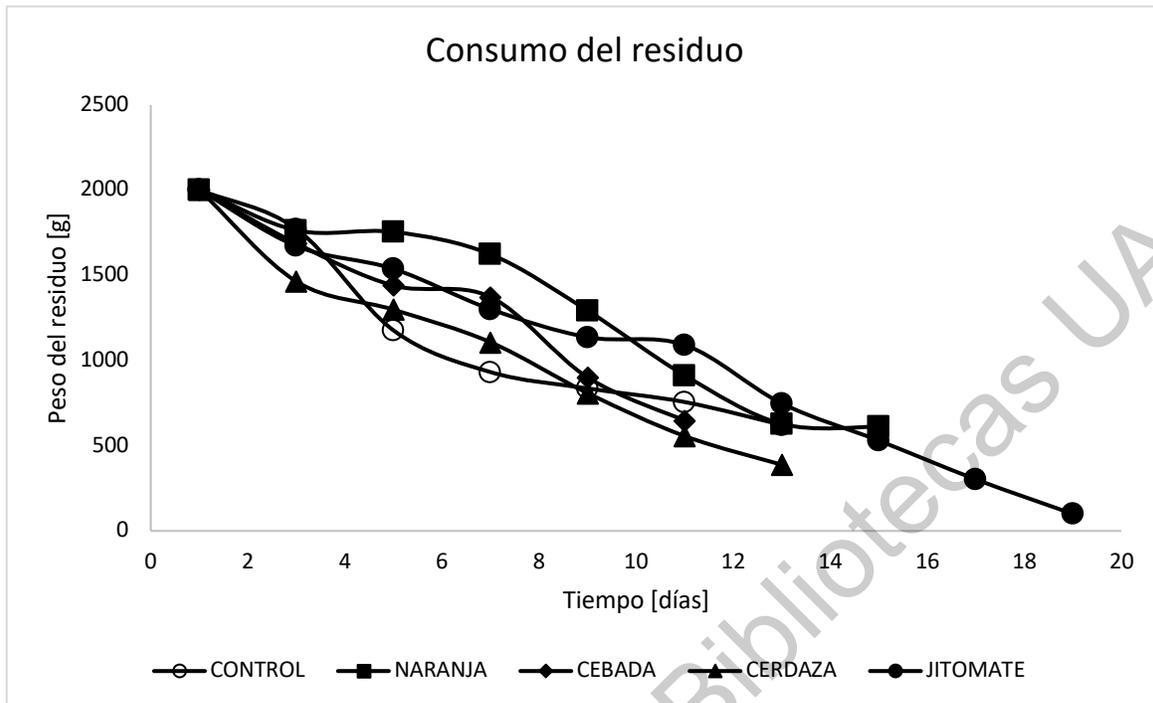
Tabla 17. Tabla de sustratos antes y después del proceso de biotransformación en residuos de cultivo de jitomate.

| | Residuos de cultivo de jitomate | Residuos de cultivo de jitomate |
|----------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|
| Materia seca (%) | 12.87 ± 0.51 | 69.03 ± 0.02 |
| Proteína (%) | 18.90 ± 0.66 | 26.38 ± 0.39 |
| Grasas (g/100 g) | 7.04 ± 0.14 | 8.66 ± 0.02 |
| Carbohidratos (mg/ 100 g) | 15.48 ± 0.46 | 1.36 ± 0.16 |
| Cenizas (%) | 0.08 ± 0.01 | 0.01 ± 0.00 |
| Humedad (%) | 87.13 ± 0.51 | 30.97 ± 0.02 |
| Calorías (cal/g) | 563.37 ± 4.61 | 4302.38 ± 42.91 |

La larva de mosca soldado es un organismos polífago lo cual hace posible que esta larva sea capaz de alimentarse de cualquier tipo de alimento gracias a su aparato bucal y la eficiente actividad enzimática de su sistema digestivo (a sus glándulas del intestino y saliva) enzimas como amilasa, proteasas y lipasas así como otras enzimas como arilamidasa de leucina, α -galactosidasa, β -galactosidasa y α -manosidasa (Caruso, D., 2014).

A la larva de mosca soldado se le atribuye un gran potencial para el manejo de residuos orgánicos no obstante es necesario brindar las condiciones óptimas (temperatura, humedad, pH y densidad de larvas) para la obtención de mejores resultados en cuanto a la reducción de residuos y la ganancia de biomasa (Diener et al., 2011a).

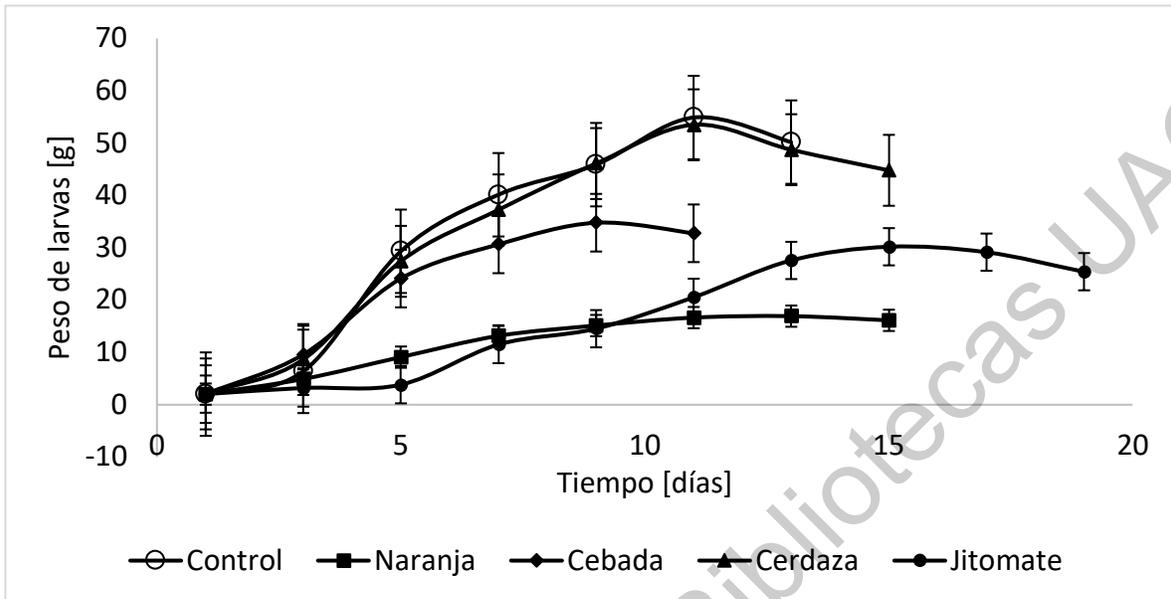
Figura 14. Comparación de reducción de residuos contra el control



De acuerdo con Purkayastha, D. et al 2017, las larvas de mosca soldado encontradas en una composta se desarrollaron en 20 días comparado con el presente estudio el tiempo de desarrollo obtenido fue menor que lo reportado por Purkayastha, D. et al 2017 (ver la figura 15).

Se sabe que para mejorar la reducción de residuos mediante el uso de larva soldado es necesario inocular los residuos con bacterias como *Bacillus subtilis* ya que las larvas necesitan una descomposición previa del residuo para aumentar su rendimiento para el proceso de biotransformación (Yu et al., 2011).

Figura 15. Comparación de tiempo de desarrollo de larva de mosca soldado en los diferentes residuos.



Su gran versatilidad para el desarrollo de estas larvas en una gran variedad de sustratos se debe a la flora intestinal ya que se han encontrado pirosecuencias de comunidades bacterianas los cuales comprenden cuatro filos (bacteroides, firmicutes, protobacterias y gammaproteobacterias) estas comunidades bacterianas varían en proporción según el medio en el que se desarrollen las larvas. Algunas comunidades bacterianas tienen una actividad enzimática muy amplia (proteasa, amilasa, celulasa, lipasa), como por ejemplo *Bacillus amyloliquefaciens*, *B. stratosphericus* and *Proteus mirabilis* (Jeon et al., 2011).

Figura 16. Comparación de ganancia de biomasa de las larvas crecidas en residuos contra la dieta control.

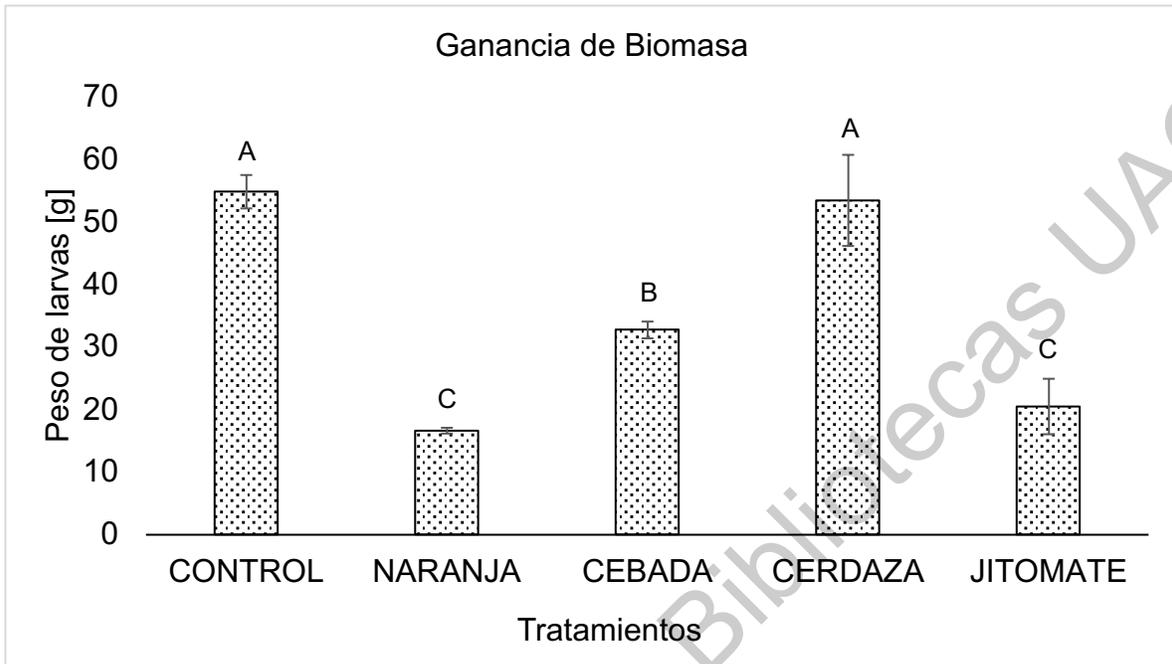


Tabla 18. Matriz multicriterio para la evaluación de los residuos utilizados para su biotransformación.

| | Cáscaras de naranja | Residuos de cebada | Cerdaza | Residuos de cultivo de jitomate |
|-------------------|---------------------|--------------------|---------|---------------------------------|
| WRR | * | ** | **** | *** |
| Tiempo de WRR | ** | **** | *** | * |
| Biotransformación | * | ** | *** | **** |
| Proteína en larva | **** | ** | * | *** |
| Lípidos en larva | * | **** | ** | *** |
| Total | 9 | 14 | 13 | 14 |

En la tabla anterior se califican los residuos utilizados de acuerdo al resultado obtenido durante el experimento en las categorías de mayor interés (WRR, tiempo de WRR, biotransformación, proteína en larva y lípidos en larva).

En la tabla 18 observamos que los residuos que obtuvieron un mejor puntaje en cuanto a aspectos de reducción de residuos y calidad de la composición de la larva fueron la cebada y los residuos de jitomate. Si lo que se busca es una larva con alta cantidad de grasas se recomienda usar el residuo de cebada, pero si lo que se busca es obtener una alta cantidad de proteína se recomienda los residuos de cáscara de naranja. Aunque si lo que se requiere es la reducción de residuo, la larva de mosca soldado es una excelente opción para la reducción de estiércol de cerdo.

7. CONCLUSIONES

Al haber un crecimiento adecuado de la larva de mosca soldado y al obtener un porcentaje mayor de reducción de residuos comparado con la literatura, permite aceptar la hipótesis. En cuanto a la tasa de biotransformación concluimos que los residuos por si solos cubren las necesidades esenciales de la larva para su crecimiento sin embargo, se recomienda la mezcla de los diferentes sustratos para lograr una dieta balanceada que pueda aumentar la tasa de biotransformación y por consiguiente la tasa de reducción de residuos.

El mejor residuo para el desarrollo de la larva de mosca soldado es el de cebada ya que es el que comparte una gran similitud con la dieta control en cuanto a composición nutrimental y además en este residuo se obtuvo un alto porcentaje de reducción en un tiempo de 11 días y las larvas tuvieron un alto porcentaje de grasas, no obstante sería necesario tomar en cuenta la finalidad del uso de la larva. si es para el tratamiento de residuos orgánicos se recomienda hacer mezclas con residuos que contengan una variedad de microorganismos para hacer más eficiente el proceso de biotransformación pero si la finalidad es la obtención de macromoléculas como proteína o grasas para su uso en la industria alimenticia, se recomienda hacer una mezcla de residuos que tengan un porcentaje alto de grasas y proteína ya que la composición nutricional de la larva se verá afectada por la composición del residuo donde se desarrolle.

8. BIBLIOGRAFÍA

- Ayala-Zavala, J.F., et al. 2011. Agro-industrial potential of exotic fruit byproducts as a source of food additives. *Food Research International* [en línea], no. 7, pp. 1866–1874.
- Barroso, F.G., C. Haro, M. Sánchez-Muros, E. Venegas, A. Martínez-Sánchez, and C. Pérez-Bañón. 2014. The potential of various insect species for use as food for fish. *Aquaculture* 422–423: 193–201.
- Barry, T. (2004). Evaluation of the economic, social, and biological feasibility of bioconverting food wastes with the black soldier fly (*Hermetia illucens*). University of North Texas.
- Booth, D. & Sheppard, C. 1984. Oviposition of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Eggs, Masses, Timing, and Site Characteristics. *Environmental Entomology*. 13: 421-423.
- Bondari, K., and D.C. Sheppard. 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture* 24:103-109.
- Bondari, K., and D.C. Sheppard. 1987. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquaculture and Fisheries Management* 18: 209-220.
- Boykin, K. L. (2019). Assessing the Nutritional Value of Black Soldier Fly Larvae (*Hermetia illucens*) Used for Reptile Foods.
- Bulak, P., Polakowski, C., Nowak, K., Waśko, A., Wiącek, D., & Bieganowski, A. (2018). *Hermetia illucens* as a new and promising species for use in entomoremediation. *Science of The Total Environment*, 633, 912-919.
- Cai, M., Hu, R., Zhang, K., Ma, S., Zheng, L., Yu, Z., & Zhang, J. (2018). Resistance of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae to combined heavy metals and potential application in municipal sewage sludge treatment. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(2), 1559-1567.

- Caligiani, A., Marseglia, A., Leni, G., Baldassarre, S., Maistrello, L., Dossena, A., & Sforza, S. (2018). Composition of black soldier fly prepupae and systematic approaches for extraction and fractionation of proteins, lipids and chitin. *Food research international*, 105, 812-820.
- Caruso, D., Devic, E., Subamia, I. W., Talamond, P., & Baras, E. (2014). Technical handbook of domestication and production of Diptera Black Soldier Fly (BSF), *Hermetia illucens*, Stratiomyidae.
- Casas Godoy, L., Fabián, S., & Coral, G. (2014). Enzimas en la valorización de residuos agroindustriales. Tema del mes.
- Chandrasekaran, M. and Bahkali, A.H. Valorization of date palm (*Phoenix dactylifera*) fruit processing by-products and wastes using bioprocess technology - Review. *Saudi journal of biological sciences* [en línea]. 2013, Vol. 20, no. 2, pp. 105–20.
- Copello, A. 1926. *Biología de Hermetia illucens* Latr. *Revista de la S.E.A.* (2): 23-26.
- Cury, K., Aguas, Y., Martinez, A., Olivero, R., & Ch, L. C. (2017). Residuos agroindustriales su impacto, manejo y aprovechamiento. *Revista Colombiana de Ciencia Animal-RECIA*, 9(S), 122-132.
- Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. *Waste Management & Research*, 27(6), 603-610.
- Diener, S., Solano, N. M. S., Gutiérrez, F. R., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2011). Biological treatment of municipal organic waste using black soldier fly larvae. *Waste and Biomass Valorization*, 2(4), 357-363.
- Diener, S., Zurbrügg, C., Gutiérrez, F. R., Nguyen, D. H., Morel, A., Koottatep, T., & Tockner, K. (2011). Black soldier fly larvae for organic waste treatment—prospects and constraints. *Proceedings of the WasteSafe*, 2011, 2nd.

- DOF. Ley General para la Prevención y Gestión Integral de Residuos. México. 2003 (8 de octubre)
- Duponte M.W. and Larish L.B. (2003). Soldier Fly: Livestock Management, Insect Pests. Cooperative Extension Service, College of tropical agriculture and Human Resources. (University of Hawaii, at Manoa) LH 107.
- Echeverry Bermúdez, L. V., & Muñoz Valdivieso, P. A. (2012). Evaluación económica de alternativas de aprovechamiento biológico y químico de residuos agroindustriales en una empresa del sector de alimentos
- Erci, F., Fava, F., Kalogerakis, N. and Mantzavinos, D. “Valorisation of agro-industrial by-products, effluents and waste: concept, opportunities and the case of olive mill wastewaters”. Journal of Chemical Technology & Biotechnology [en línea]. 2009, no. 6, pp. 895–900.
- Escobar N., Mora J., y Romero N., (2013). Respuesta agronómica de Zea mays L. y Phaseolus vulgaris L. a la fertilización con compost. Luna Azul, (37), 18-29.
- Esquer R. (2009).Reciclaje y tratamiento de los residuos sólidos urbanos (Tesis de pregrado).Instituto Politécnico Nacional, México.
- FAO. (2007). El estado mundial de la agricultura y la alimentación 1997. N° 30. (pp. 221-2589). Roma: FAO. ISSN: 0251- 1371.
- Flotats, X., Campos, E., Palatsi, J., & Bonmatí, X. (2001). Digestión anaerobia de purines de cerdo y codigestión con residuos de la industria alimentaria. Porci; Monografías de actualidad, 65, 51-65.
- Galanakis, C.M. “Recovery of high added-value components from food wastes: Conventional, emerging technologies and commercialized applications”. Trends in Food Science & Technology [en línea]. 2012, Vol. 26, no. 2, pp. 68–87.

- Gobbi, F. P. (2012). Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758)(Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa.
- Gómez, M. J. F. (2011). Aplicación de la tecnología del vermicompostaje para la valorización agronómica de residuos y desechos de cultivos de invernadero. Editorial de la Universidad de Granada.
- Gujarathi Gayatri, R. and Pejaver Madhuri, K. (2013). Occurrence of Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) in Biocompost. *Research Journal of Recent Sciences*, 2(4), 65-66.
- Hall, D. C. & Gerhardt, R. R. 2002. Flies (Diptera). In Mullen G, Durden L. (editors). *Medical and Veterinary Entomology*. Academic Press. San Diego, California. 127-161.
- Harnden, L. y Tomberlin, J., (2016). Effects of temperature and diet on black soldier fly, *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae), development, *Forensic Science International* 266 :109–116
- Hassen, H. 2000. Producción Limpia, Gestión Ambiental y Desarrollo Sostenible. *Revista Escuela de administración de negocios*. 3940:56-72.
- Hem, S.; Toure, S.; Sagbla, C. & Legendre, M. 2008. Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: Experiences from the forest region (Republic of Guinea). *African Journal of Biotechnology*. 7(8): 1192-1198.
- Hernández, A., Real, N., Delgado, M., Bautista, L., y Velasco, J., (2016), Residuos agroindustriales con potencial de compostaje, *Agroproductividad* : Núm. 8, pp: 10-17.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Base de datos (1998-2008). Medio ambiente, asentamientos y actividades humanas, residuos, sólidos urbanos, recolección. Página consultada el 19 de marzo de 2010 en <http://inegi.org.mx>

- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). 2012. Sistema de Cuentas Nacionales de Mexico. Cuentas de bienes y servicios.
- Jaeger, K. E., & Eggert, T. (2004). Enantioselective biocatalysis optimized by directed evolution. *Current Opinion in Biotechnology*, 15(4), 305-313.
- Jeon, H., Park, S., Choi, J., Jeong, G., Lee, S. B., Choi, Y., & Lee, S. J. (2011). The intestinal bacterial community in the food waste-reducing larvae of *Hermetia illucens*. *Current microbiology*, 62(5), 1390-1399.
- Jiménez, M. R., & Kuhn, G. R. (2009). *Toxicología fundamental*. Ediciones Díaz de Santos.
- Joly, G. (2018). Valorising Organic Waste using the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*), in Ghana.
- Jucker, C., Erba, D., Leonardi, M. G., Lupi, D., & Savoldelli, S. (2017). Assessment of vegetable and fruit substrates as potential rearing media for *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environmental entomology*, 46(6), 1415-1423.
- Kim, W., Bae, S., Park, K., Lee, S., Choi, Y., Han, S., & Koh, Y. (2011). Biochemical characterization of digestive enzymes in the black soldier fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 14(1), 11-14.
- Kroeckel, S., G.E. Harjes, I. Roth, H. Katz, S. Wuertz, A. Susenbeth, and C. Schulz. 2012. When a turbot catches a fly: Evaluation of a pre-pupae meal of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as fish meal substitute - Growth performance and chitin degradation in juvenile turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture* 364–365:345–352.
- Lardé, G. 1989. Investigation on Some Factors Affecting Larval Growth in a Coffee Pulp Bed. *Biological Wastes*. 30: 11-19.

- Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J., y Yu, Z., (2011). Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) for biodiesel and sugar production, *Waste Management* 31 :1316–1320.
- Li, S., Ji, H., Zhang, B., Zhou, J., & Yu, H. (2017). Defatted black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal in diets for juvenile Jian carp (*Cyprinus carpio* var. Jian): Growth performance, antioxidant enzyme activities, digestive enzyme activities, intestine and hepatopancreas histological structure. *Aquaculture*, 477, 62-70.
- Mejías-Brizuela, N., Orozco-Guillen, E., & Galáan-Hernández, N. (2016). Aprovechamiento de los residuos agroindustriales y su contribución al desarrollo sostenible de México. *Revista de Ciencias Ambientales y Recursos Naturales*, 2(6), 27-41.
- Mirabella, N., Castellani, V., & Sala, S. (2014). Current options for the valorization of food manufacturing waste: a review. *Journal of Cleaner Production*, 65, 28-41.
- Moffitt, C.M., & Cajas-Cano, L.(2014). Blue growth: the 2014 FAO state of world fisheries and aquaculture. *Fisheries*, 39(11), 552-553.
- Musetti, V. M. Z. (2010). Estudio experimental en planta piloto del proceso de co-compostaje de residuos agroalimentarios. *Memoria de Trabajos de Difusión Científica y Técnica*, (4), 91-96.
- Myers, H.; Tomberlin, J.; Lambert, B. & Kattes, D. 2008. Development of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Fed Dairy Manure. *Environ. Entomol.* 37(1): 11-15.
- Nettmann, E., Bergmann, I., Pramschüfer, S., Mundt, K., Plogsties, V., Herrmann, C., & Klocke, M. (2011). Polyphasic Analyses of Methanogenic Archaeal Communities in Agricultural Biogas Plants. *Applied and environmental microbiology*, 77(1), 394-394.

•Newton, G.L.; Sheppard, D.C.; Watson, D.W.; Burtle, G.; Dove, R. (a) 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. Animal and poultry waste management center, North Carolina State University, Raleigh, NC. 17p.

•Nguyen, H. C., Liang, S. H., Li, S. Y., Su, C. H., Chien, C. C., Chen, Y. J., & Huong, D. T. M. (2018). Direct transesterification of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for biodiesel production. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 85, 165-169.

•OMS-BLP. 2010. "Buenas prácticas de la OMS para laboratorios de control de calidad de productos farmacéuticos". Organización Mundial de la Salud. Serie de Informes Técnicos de la OMS, No. 957, 2010.

•Parra, A., Carrejo, N., y Gómez, C., (2015). Effects of larval density feeding rates on the bioconversion of vegetable waste using black soldier fly larvae *Hermetia Illucens* (L.), (Diptera:Stratiomyidae), *Waste Biomass Valor*, 6:1059–1065.

•Pimentel, A. C., Montali, A., Bruno, D., & Tettamanti, G. (2017). Metabolic adjustment of the larval fat body in *Hermetia illucens* to dietary conditions. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 20(4), 1307-1313.

•Purkayastha, D., Sarkar, S., Roy, P., & Kazmi, A. (2017). Isolation and morphological study of ecologically-important insect "*Hermetia illucens*" collected from Roorkee compost plant. *Pollution*, 3(3), 453-459.

•Rosas-Calleja, D., Ortiz-Laurel, H., Herrera-Corredor, J., & Leyva-Ovalle, O. (2016). Revalorización de algunos residuos agroindustriales y su potencial de aplicación a suelos agrícolas. *Agroproductividad*, 9(8), 18-24.

•Saval, S., (2012), Aprovechamiento de residuos agroindustriales: pasado, presente y futuro, *Bio-Tecnología*. 16 (2): 14-46.

•Sinha, R. K., Agarwal, S., Chauhan, K., Chandran, V., & Soni, B. K. (2010). Vermiculture technology: reviving the dreams of Sir Charles Darwin for scientific use

of earthworms in sustainable development programs. *Technology and Investment*, 1(03), 155.

•St-Hilaire, S.; Sheppard, C.; Tomberlin, J.K.; Irving, S.; Newton, L.; McGuire, M.A.; Mosley, E.E.; Hardy, R.W. & Sealey, W. (b) 2007. Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Journal of the world aquaculture society*. 38(1): 59-67.

•Szantó, N. (1996). Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para manejo de residuos sólidos urbanos. In *Guía para la identificación de proyectos y formulación de estudios de prefactibilidad para manejo de residuos sólidos urbanos*. ILPES.

•Tomberlin, J. K., Sheppard, D. C., & Joyce, J. A. (2002). Selected life-history traits of black soldier flies (Diptera: Stratiomyidae) reared on three artificial diets. *Annals of the Entomological Society of America*, 95(3), 379-386.

•Tomberlin, J. K. & D. C. Sheppard, D. C. 2001. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Florida Entomologist*. 84:729– 730.

•Uicab-Brito L.A., Sandoval C.C.A. 2003. Uso del contenido ruminal y algunos residuos de la industria carnica en la elaboracion de composta. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 2(2):45-63.

•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.

•Verstraete, W., Morgan-Sagastume, F., Aiyuk, S., Waweru, M., Rabaey, K., & Lissens, G. (2005). Anaerobic digestion as a core technology in sustainable management of organic matter. *Water Science and Technology*, 52(1-2), 59-66.

•Ward, A. J., Hobbs, P. J., Holliman, P. J., & Jones, D. L. (2008). Optimisation of the anaerobic digestion of agricultural resources. *Bioresource technology*, 99(17), 7928-7.

•Yu, G., Cheng, P., Chen, Y., Li, Y., Yang, Z., Chen, Y., & Tomberlin, J. K. (2011). Inoculating poultry manure with companion bacteria influences growth and development of black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) larvae. *Environmental entomology*, 40(1), 30-35.

Dirección General de Bibliotecas UAQ