



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Residuos sólidos, ¿Aprovechamiento o erradicación mediante larvas de mosca doméstica?



Reynaldo Salas Sucaticona  
Yuly Mercedes Apaza Gómez  
Ebed David Paredes Rodríguez





Residuos sólidos

¿Aprovechamiento o erradicación  
mediante larvas de mosca  
doméstica?



---

# Residuos sólidos ¿Aprovechamiento o erradicación mediante larvas de mosca doméstica?

---

Reynaldo Salas Sucaticona  
Yuly Mercedes Apaza Gómez  
Ebed David Paredes Rodríguez

UNL



Universidad  
Nacional  
de Loja

Nikolay Aguirre, Ph.D

**Rector UNL**

Elvia Zhapa Amay, Ph.D

**Vicerrectora Académica**

Max Encalada, Ph.D

**Director de Investigación**

---

## **Residuos sólidos ¿Aprovechamiento o erradicación mediante larvas de mosca doméstica?**

### **Autores:**

Reynaldo Salas Sucaticona

Yuly Mercedes Apaza Gómez

Ebed David Paredes Rodríguez

### **Revisión Par Académico:**

Nathalie Chacón Hurtado, Ph.D

**ISBN: 978-9942-671-07-3**

---

### **Editorial Universitaria**

Contacto: [comision.editorial@unl.edu.ec](mailto:comision.editorial@unl.edu.ec)

Universidad Nacional de Loja

Tel: +59372593550

Ciudad Universitaria Guillermo Falconí - Loja - Ecuador

**[www.unl.edu.ec](http://www.unl.edu.ec)**

Noviembre, 2024

Loja, Ecuador



# Índice General

|                                                                                 |           |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| Prólogo.....                                                                    | xi        |
| Prefacio .....                                                                  | xiii      |
| Introducción .....                                                              | 15        |
| <b>Capítulo 1.....</b>                                                          | <b>19</b> |
| 1. Residuos Sólidos.....                                                        | 19        |
| 1,1. ¿Qué son los residuos sólidos? .....                                       | 20        |
| 1,2. Clasificación de los residuos sólidos .....                                | 22        |
| 1,3. Características de los residuos sólidos orgánicos .....                    | 24        |
| 1,4. Clasificación de residuos sólidos orgánicos .....                          | 24        |
| 1,4,1. Manejo de los residuos sólidos.....                                      | 25        |
| 1,5. Impacto de los residuos sólidos en las municipalidades.....                | 25        |
| 1,6. En torno a la gestión de residuos sólidos.....                             | 27        |
| 1,6,1. Tratamientos de los residuos orgánicos.....                              | 28        |
| 1,6,1,1. Tratamientos físicos .....                                             | 29        |
| 1,6,1,2. Tratamientos térmicos .....                                            | 30        |
| 1,6,1,3. Tratamientos biológicos .....                                          | 30        |
| <b>Capítulo 2 .....</b>                                                         | <b>33</b> |
| 2. La mosca doméstica, definición, taxonomía e importancia .....                | 33        |
| 2,1. La mosca doméstica (Musca domestica L.) .....                              | 34        |
| 2,1,1. Taxonomía .....                                                          | 36        |
| 2,2. Descripción biológica .....                                                | 36        |
| 2,3. Ciclo vital de la mosca doméstica .....                                    | 37        |
| 2,3,1. Huevo, larva, pupa y adulto .....                                        | 37        |
| 2,3,1,1. Huevo .....                                                            | 38        |
| 2,3,1,2. Larva .....                                                            | 38        |
| 2,3,1,3. Pupa.....                                                              | 39        |
| 2,3,1,4. Adulto.....                                                            | 40        |
| 2,4. Biología y comportamiento de la Musca Domestica.....                       | 42        |
| 2,4,1. Estimación proteica y nutricional.....                                   | 42        |
| 2,4,2. Efectividad y composición como sustituto<br>proteico y nutricional ..... | 43        |
| 2,5. Las moscas domésticas y la introducción de otras especies ....             | 43        |
| <b>Capítulo 3 .....</b>                                                         | <b>45</b> |

|                                                                                                                                                                                |           |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3. El uso de las larvas de la mosca doméstica en la eliminación de los residuos orgánicos: estudios e investigaciones previas .....                                            | 45        |
| 3,1. Estudios e Investigaciones previas .....                                                                                                                                  | 47        |
| 3,2. ¿Qué residuos se degradan más rápido? .....                                                                                                                               | 52        |
| 3,3. Otros usos de los residuos.....                                                                                                                                           | 53        |
| <b>Capítulo 4 .....</b>                                                                                                                                                        | <b>55</b> |
| 4. Estudio del tratamiento biológico de residuos orgánicos como fuente proteica empleando larvas de <i>Musca Domestica</i> en la Juliaca, Perú, una revisión metodológica..... | 55        |
| 4,1. En cuanto a las hipótesis, estas se describen a continuación ...                                                                                                          | 58        |
| 4,1,1. Específicas .....                                                                                                                                                       | 58        |
| 4,2. Contexto.....                                                                                                                                                             | 58        |
| 4,3. En relación a los equipos y materiales estos fueron los siguientes .....                                                                                                  | 60        |
| 4,3,1. Reactivos .....                                                                                                                                                         | 60        |
| 4,4. Población .....                                                                                                                                                           | 60        |
| Muestreo de residuos sólidos: .....                                                                                                                                            | 63        |
| Clasificación y homogenización de residuos orgánicos .....                                                                                                                     | 63        |
| Reducción de población de (RO) residuos orgánicos.....                                                                                                                         | 64        |
| Acondicionamiento .....                                                                                                                                                        | 65        |
| Atracción de larvas.....                                                                                                                                                       | 66        |
| Generación de larvas .....                                                                                                                                                     | 66        |
| Inoculación de larvas de mosca doméstica.....                                                                                                                                  | 67        |
| Estimación del índice de reducción de residuos sólidos .....                                                                                                                   | 67        |
| Evaluación de peso y talla .....                                                                                                                                               | 70        |
| Determinación de tasas de crecimiento .....                                                                                                                                    | 70        |
| 4,5. Cálculo del contenido proteico de las larvas de mosca doméstica. ....                                                                                                     | 73        |
| Obtención de larvas .....                                                                                                                                                      | 73        |
| Secado y lavado de larvas.....                                                                                                                                                 | 74        |
| Rebaja de tamaño y homogenización.....                                                                                                                                         | 74        |
| Estudios de nutrientes.....                                                                                                                                                    | 74        |
| 4,6. Estudio estadístico .....                                                                                                                                                 | 76        |
| 4,6,1. Modelo estadístico relacionado al diseño de estudio .....                                                                                                               | 76        |
| 4,6,2. Variación angular .....                                                                                                                                                 | 76        |
| 4,7. Variables de la investigación .....                                                                                                                                       | 77        |
| 4,7,1. Variable independiente .....                                                                                                                                            | 77        |

|                                                                                    |            |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------|
| 4,7,2. Variable dependiente .....                                                  | 77         |
| 4,8. Parámetros de las variables.....                                              | 77         |
| 4,9. Resultados y discusión.....                                                   | 77         |
| 4,9,1. Degradación de residuos sólidos .....                                       | 77         |
| 4,9,2. Índice de reducción de residuos sólidos orgánicos .....                     | 80         |
| 4,9,3. Eficiencia de conversión de los alimentos<br>ingeridos (ECI) .....          | 83         |
| 4,9,4. Tasas de crecimiento de larvas de mosca doméstica ...                       | 85         |
| 4,9,5. Contenido nutricional de larvas de mosca doméstica..                        | 95         |
| 4,9,6. Análisis de supuestos.....                                                  | 103        |
| <b>Capítulo 5.....</b>                                                             | <b>116</b> |
| 5. Estudio del tratamiento biológico de residuos orgánicos en Ecuador.             | 116        |
| 5,1. Estudios e Investigaciones previas en Ecuador .....                           | 118        |
| <b>Capítulo 6.....</b>                                                             | <b>121</b> |
| 6. Residuos orgánicos y su erradicación mediante larvas de<br>Musca Domestica..... | 121        |
| <b>Bibliografía .....</b>                                                          | <b>124</b> |



# Prólogo

Qué duda cabe que el manejo inadecuado de residuos sólidos ha provocado serios impactos ambientales y de salud en nuestro país, el cual se ha ido agudizando tanto por una limitada disponibilidad de infraestructuras de disposición final, así como de escasos programas de aprovechamiento de residuos sólidos, en especial para los residuos sólidos orgánicos, siendo este tipo de residuo en particular, el que más efecto causa sobre el ambiente y la salud de la población, cuando no se le gestiona adecuadamente, provocando un incremento innecesario de uso de recursos económicos, del cual no disponen los operadores de los sistemas de manejo de residuos, en especial los gobiernos locales.

Aun así, el aprovechamiento de los residuos orgánicos, es el que menos prioridad ha tenido hasta este momento, de acuerdo a lo que indica el Ministerio del Ambiente menos del 2 % de los residuos se aprovecha en el país, sin embargo, este tipo de residuos representa más del 50 % de lo que actualmente se genera, por lo tanto, cualquier iniciativa para su aprovechamiento coadyuvará en el cumplimiento de meta establecida en nuestro Plan Nacional de Acción Ambiental.

Esta publicación que nos presentan los autores, nos brinda una alternativa sumamente valiosa para el aprovechamiento de los residuos orgánicos, no solo porque enfrenta la problemática de los residuos orgánicos mediante su aprovechamiento como producto alimenticio, sino porque a su vez, nos plantea una solución al problema de los vectores, específicamente a la presencia de moscas, considerada como un problema sanitario por la transmisión de diversas enfermedades infectocontagiosas, en ese sentido, esta opción conjunta e integrada se vuelve una propuesta ambiental y socialmente rentable, fines que se persigue en los objetivos de desarrollo sostenible.

La demostración a la cual concluyen los autores, en donde establece que el producto generado, es decir las larvas de moscas alimentadas con residuos orgánicos convertidas en harina, tiene una serie de beneficios como producto alimenticio, ya que tiene un valor proteico importante, que puede ser usado como sustituto nutricional, esto se enmarca de manera directa dentro del principio de circularidad, acción que tanto se busca promover en los instrumentos de planificación del sistema de manejo de residuos.

Existen muchos acuerdos internacionales entre ellos por ejemplo, la coalición de voluntaria de gobiernos y organismos pertinentes para el cierre progresivo de basurales por el impacto que estos causan, además de otro tipo de acciones que vienen promoviendo organismo internacionales para desarrollar en los países una disposición cero de residuos, en donde nos dejan entrever que una de las causas de los grandes problemas de contaminación, es por la presencia de los residuos orgánicos que se han mezclado con otros tipos de residuos peligrosos y que han provocado lixiviación, además de la generación de gases, en ese sentido, esta propuesta, resulta una alternativa adicional a otras que se vienen forjando, para reducir esa fracción orgánica que tanto problema viene generando, al manejar o gestionar la misma de una manera conjunta con otros tipos de residuos.

Finalmente, deseo felicitar a los autores de esta publicación, por su valiosa contribución con esta esta investigación, la cual nos da luces y una gran posibilidad de conocimiento que coadyuva a enfrentar la problemática de residuos en nuestro país.

Leandro Sandoval Alvarado

Consultor internacional en manejo de residuos sólidos

# Prefacio

La gestión de residuos sólidos orgánicos es uno de los graves y drásticos problemas que en la actualidad enfrenta el mundo, constituyen la mayor parte de los Residuos Sólidos Municipales en América Latina y el Caribe. Aunado a su potencial patogénico, generación de lixiviados, la generación de gases de efecto invernadero y acrecentado por la ineficiencia de su manejo, incluida la generación y la falta de tecnología para su tratamiento ha hecho que los residuos orgánicos se constituyan como un elemento riesgo para el medio ambiente y la salud de la población.

Los residuos orgánicos presentan un elevado potencial para ser transformado en fuente importante de proteínas, procedimientos como la bioconversión cuyos beneficios pueden ser empleados como alternativas para el tratamiento de residuos orgánicos a través de larvas de insectos capaces de digerir residuos orgánicos reduciendo su volumen y utilizarse como sustituto nutritivo en la alimentación convencional animal.



# Introducción

Uno de los graves y drásticos problemas que en la actualidad enfrenta el mundo tiene que ver con la gestión de residuos sólidos orgánicos, pues se considera como uno de los problemas ambientales y ecológicos (Vitorino de Souza et al., 2017), entre los factores se encuentran que han provocado y siguen generando residuos se encuentran: el desarrollo industrial, el crecimiento demográfico, la migración a zonas urbanas, el consumo excesivo de los recursos naturales han provocado una enorme crisis (Guerrero et al., 2013; Scheinberg et al., 2015; Modak, 2015)

Cerca de 1,3 mil millones de toneladas de residuos se generan al año mundo, de acuerdo a estudios llevados a cabo por el Banco Mundial, y se estima que dentro de unos años esta cantidad se incrementará a 2,2 mil millones de toneladas por año (Hoornweg & Bhada, 2012). En ese sentido, Perú no es la excepción ante la grave situación ya que actualmente la mayor parte de estos residuos carecen no solo de tratamiento, sino de una adecuada disposición dejando en riesgo, tanto al ambiente, como a la salud de las personas (OEFA, 2015),

En el año 2015 y de acuerdo a cifras ofrecidas por Registro Nacional de Municipalidades, informó que las municipalidades recogieron un promedio diario a nivel nacional de 22 390 toneladas de residuos sólidos, donde el 76,3 % de residuos sólidos recolectados son dispuestos en los botaderos a cielo abierto (INEI, 2016). Un ejemplo de ello, lo tiene la ciudad de Juliaca, puesto que gran parte de sus residuos sólidos son dispuestos en el botadero temporal de Chilla (MPSR, 2015).

Un aspecto que no debe hacerse a un lado es que mayor parte de los residuos representan la mayor fuente de generación de lixiviados, asimismo, de gases de efecto invernadero, (Torretta et al., 2016), la

acumulación de los residuos, sobre todo en áreas urbanas y rurales, requieren por lo pronto, soluciones viables, en parte porque el riesgo ambiental es mucho más grave si los niveles de residuos es mayor, poniendo en riesgo no solo al ambiente y al ecosistema, sino también a la salud de las personas (Khalid et al., 2011; Mertenat et al., 2019).

Buena parte de las vías para erradicar los residuos se han abordado desde diversos flacos, como por ejemplo en (Salomone et al., 2017) donde señalaron que los residuos orgánicos cuentan con un elevado potencial para ser transformado en productos para los animales debido a su alta carga proteica (Lohri et al., 2017), también procedimientos como la bioconversión cuyos beneficios pueden ser empleados como alternativas para el tratamiento de residuos orgánicos a través de larvas de insectos capaces de digerir residuos orgánicos reduciendo su volumen en un 50–80 % (Lohri et al., 2017). Otro estudio señala que usando las larvas estas pueden utilizarse como sustituto nutritivo en la alimentación convencional animal (Henry et al., 2015) asimismo, los residuos pueden compostarse y usarse como enmienda agrícola, tal y como lo señalan (Diener et al., 2009).

Por lo tanto, la presente investigación tiene como objetivo principal: desarrollar nuevas técnicas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos; asimismo, permitir establecer ventajas ambientales y económicas de procesos alternativos que conduzcan a un mejoramiento ambiental en diversas áreas (Smetana et al., 2016). Por tanto, los resultados de tales hallazgos van orientados hacia dos grandes núcleos de trabajo los cuales forman parte del presente estudio. El primero de estos, estriba en un enfoque ambiental, ya que este implica el la disminución en el volumen de los residuos orgánicos generados por las diferentes actividades, dando como resultado preliminar un aprovechamiento de los mismos al ser utilizados como alimento para las larvas (Lohri et

al., 2017); el segundo núcleo, estriba, en el enfoque económico, ya que implica la producción de larvas ricas en nutrientes para su posterior uso como materia prima en la producción de alimento para animales de corral principalmente, aumentando la rentabilidad del sistema (Salomone et al., 2017). Ambos enfoques son tan relevantes y que fueron los centros de atención en el presente estudio, ya que, por un lado, los residuos pueden ser debidamente y de una forma responsable, aprovechados con fines agrícolas, y por el otro, la disminución de agentes que podrían ser drásticamente contaminantes, así como altamente tóxicos afectando en gran medida la salud de las personas. Como política gubernamental, el empleo de los residuos orgánicos puede ser una solución viable para los municipios puesto que, debido a su control y aprovechamiento, los recursos pudieran ser empleados con otros fines, logrando de este modo, un ambiente mucho más acorde con el equilibrio ecológico beneficiando en su conjunto la salud, aunada a las bondades que los residuos pueden aportar a la economía, entre otros aspectos.



# Capítulo 1

## 1. Residuos Sólidos

El tema de los residuos sólidos no es algo nuevo, puesto que aparece con el surgimiento de las ciudades, asimismo, es consustancial con las actividades humanas, sin embargo, los residuos sólidos adquieren una connotación distinta cuando estos se convierten en una dificultad, sobre todo relacionado con el medio ambiente (Abreus y Bravo, 2021) y la salud. Además, su manejo constituye a escala global uno de los grandes desafíos, sobre todo para aquellas ciudades donde el número de habitantes es descontrolado, asimismo, el desarrollo ineficaz en el sector industrial, los cambios de patrones de consumo han generado enormes cantidades de residuos (Sáez y Urdaneta, 2014).

Cada año, en el mundo, se generan enormes cantidades de residuos sólidos lo que eleva la contaminación ambiental y el daño a los ecosistemas, sumado al uso de energía para su descomposición ya que su manejo no es el más adecuado, generando más problemas y una profunda y desatada crisis en todos los sentidos (Yangali et al., 2021; Medrano et al., 2021)

Todas las sociedades humanas, incluyendo la actual se han visto en la imperiosa necesidad de enfrentar el problema de la generación de residuos sólidos. En las sociedades pretéritas, la disposición de los residuos, así como de otros desechos no significaban un problema como el actual, ya que estas eran poblaciones pequeñas por lo que la asimilación era mucho mayor. Estas sociedades, de acuerdo a la historia, tenían procedimientos o formas para reciclar sus residuos que empleaban con fines agrícolas, y de fertilización en los cultivos. Los

graves problemas aparecen una vez que las ciudades comienzan a ser sobrepobladas generando grandes cantidades de residuos, y con ellos, la proliferación de insectos, roedores y enfermedades como la peste negra que mató a más de la mitad de la población del siglo XIV, años más tarde, el problema se agudiza con la llegada de la Revolución Industrial (Bustamante, 2014).

### **1.1. ¿Qué son los residuos sólidos?**

El origen de los residuos sólidos es tan antiguo tanto como la humanidad misma y son generados por las distintas actividades de los individuos:

A medida que el ser humano se asentó y se concentró en las ciudades, el problema de generación de residuos sólidos se tornando más agudo debido a que su acumulación fue mayor; en consecuencia, las enfermedades y los animales que las propagaban fueron proliferando (Rosas et al., 2021, p. 6).

El D.L. N° 1278 citado por Ruiz (2018) define los (RS) como cualquier objeto, también material o sustancia que es el resultado tanto del consumo como del uso de un bien o también de un servicio. Los residuos sólidos son todos aquellos materiales sobrantes de las actividades humanas. Para Jaramillo y Zapata, citados por Álvarez y Carballo (2021), señalan que los residuos son “todo material en estado sólido, líquido y gaseoso, ya sea aislado o mezclado con otros. Resultante de un proceso de extracción de la Naturaleza, transformación, fabricación o consumo, que su poseedor decide abandonar” (p.43). De acuerdo a Navarro et al., citados por Álvarez y Carballo (2021) “aquellas materias derivadas de actividades de producción y consumo que no han alcanzado valor económico” (p. 43). Para Jaime – Huaman et al., (2021), lo definen

como desperdicios de las actividades humanas. Estos se clasifican en gases, líquidos y sólidos; y de acuerdo a su origen, en orgánicos e inorgánicos (Medina citado por Quispe, 2020).

Los residuos sólidos son fracciones de materiales de desechos que no poseen utilidad, sin embargo, estos pueden ser utilizados, así como para la fabricación y transformación de otros materiales. Para la ley general de residuos sólidos del Perú, N° 27314, los residuos pueden clasificarse de acuerdo a su origen domiciliario, de limpieza, industriales, comerciales, hospitalarios, agropecuarios, y de actividades específicas o especiales (Jaime-Huaman et al., (2021).

De acuerdo a la definición clásica, los residuos conforman una parte inservible, resultado de materiales que han sido procesados previamente. Otra definición relevante es cualquier producto que es generado por las actividades humanas en procesos de extracción, transformación o utilización y, que está destinado a hacer desechado por carecer de valor (Baza y Alvarado, 2016). Por otro lado, los residuos son aquellos que se generan en los centros urbanos, así como de influencia (León et al., 2015). Asimismo, los residuos sólidos, pueden ser generados a partir de las actividades tanto industriales como comerciales y de servicios, tales como oficinas, comedores, sanitarios y mantenimiento, por lo que existe una estrecha relación entre las actividades que se dan en los centros urbanos y los residuos que estos producen (Muñoz y Morales, 2018).

Un significativo porcentaje (50 %) de los residuos orgánicos son generados en países de América Latina, “y la mayoría de los municipios no cuentan con planes de manejo que permitan minimizar y valorizar los RSU” (Ballesteros et al., 2018, p. 2). El uso adecuado de los

residuos sólidos puede desacelerar al deterioro progresivo del medio ambiente, así como contribuir con el crecimiento no solo en los ámbitos tecnológicos, sino también en el crecimiento económico y tecnológico de la sociedad (Trujillo et al., 2019) lo que, sin duda, sería de mucho beneficio para el planeta.

En Perú, el problema con los residuos sólidos es grave, por una parte, porque existe un mal manejo de estos, lo que hace que el problema sea mucho mayor, y por el otro, la ausencia de políticas cónsonas con el manejo de los residuos orgánicos hace que el panorama se complique y complejice:

De acuerdo a cifras aportadas por el Ministerio del Ambiente (...), ya para el año 2014 se generaron un total de 7,497,482 toneladas de residuos sólidos urbanos municipales. En promedio, se produjeron 13,244t/día de residuos sólidos, lo que representa una generación de 4,834,060 toneladas en el año (Flores, 2021).

Muchas pueden ser las causas de la rápida aparición de residuos sólidos en áreas urbanas, entre las cuales y una de las más destacadas es el acelerado crecimiento de la población sin ningún tipo de planeación (Huamaní et al., 2020; Naranjo et al., 2021).

## **1.2. Clasificación de los residuos sólidos**

Conforme al Decreto Legislativo, la clasificación de residuos sólidos se da en relación al tratamiento, como residuos peligrosos y no peligrosos, y según la autoridad pública competente para su gestión, en residuos del ámbito municipal y no municipal, de ser necesario el reglamento del presente Decreto Legislativo puede establecer nuevas categorías de residuos por su origen u otros criterios.

Los residuos se clasifican de dos formas: de acuerdo a su origen y de acuerdo a su composición (Limas & Blanco, 2017).

Tabla 1. Clasificación de residuos sólidos según su origen

| <b>Fuente</b>          | <b>Definición</b>                                                                                                                          |
|------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Residuos hospitalarios | Por lo general, este tipo de residuos se encuentran en centros hospitalarios, resultados de actividades inherentes a la salud.             |
| Residuos Industriales  | Estos, por lo general, son generados en fábricas, también en actividades textiles, pesqueras y energéticas.                                |
| Residuos domiciliarios | Tal y como su nombre lo indica, estos residuos son generados en los domicilios, residencias, entre otros.                                  |
| Residuos comerciales   | Estos residuos son producidos en ámbitos comerciales y en sectores asociados a actividades del mercado.                                    |
| Residuos urbanos       | Generado por el domicilios, comercios, oficinas y servicios y son catalogados como no peligrosos.                                          |
| Residuos espaciales    | Su origen es generado por aquellas actividades tal como su nombre lo indica y, que estando en órbita terrestre ya han agotado su vida útil |

Nota. Tomado de Limas & Blanco (2017)

Tabla 2. Clasificación de residuos sólidos (origen y tipo)

| <b>Tipo de residuo</b> | <b>Características</b>                                                                                                                                                                         |
|------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Residuos orgánicos     | Estos residuos son fáciles de degradarse, puesto que su origen es biológico, también existen aquellos que provienen de animales, así como de cáscaras de frutas, y restos de comida, etcétera. |
| Residuos inorgánicos   | Son residuos de origen no biológico, derivados de procesos antropogénicos y presentan un ciclo bastante prolongado de degradación, estos residuos son: telas, plásticos, entre otros.          |
| Residuos peligrosos    | Este tipo de residuos suele ser un riesgo para el medio ambiente, además para la salud de las personas, por lo que ameritan un tratamiento especial.                                           |

Nota. Tomado de Limas & Blanco (2017)

### **1.3. Características de los residuos sólidos orgánicos**

Según el Decreto Legislativo 1278, son considerados residuos sujetos a descomposición, su generación se da en el ámbito de gestión municipal y no municipal. Los residuos orgánicos de origen biológico, son residuos que tienden a ser descompuestos por la acción natural de organismos vivos, generando gases (dióxido de carbono, metano, entre otros) lixiviados en los lugares donde se tratan y donde se disponen finalmente, el mismo que por medio de un proceso adecuado puede valorizarse y emplearse en el mejoramiento de suelos, como la producción de abono, compost, vermicompost, entre otros (OEFA, 2015).

### **1.4. Clasificación de residuos sólidos orgánicos**

En cuanto a su clasificación, los residuos sólidos orgánicos, estos son todos aquellos que tienen como origen el ámbito municipal. Esto se clasifica de acuerdo a sus características físicas, químicas o biológicas. Los residuos sólidos orgánicos son generados por actividades como la agricultura y la ganadería, industrias procesadoras de alimentos, industrias del cuero, forestales, actividades comerciales, turísticas, domésticas y plazas de mercado.

A fin de contrarrestar los riesgos de contaminación, los residuos orgánicos deben pasar un proceso de gestión, todo ello con el fin de evitar el agotamiento de los recursos naturales para tales procesos, asimismo, minimizar el riesgo para la salud humana y animal, y reducir los efectos contaminantes y la desaparición de los ecosistemas. En el caso de los países industrializados, así como en vías de desarrollo, la contaminación por causa de desechos sólidos se debe en parte a una falta de administración, que a su vez se debe a falencias como deficiencias tanto técnicas como presupuestales, así como a una ausencia de infraestructura pertinente y adecuada para la gestión de los residuos sólidos (Rojas et al., 2020).

### **1.4.1. Manejo de los residuos sólidos**

El manejo de residuos sólidos en América Latina forma parte de los problemas más latentes en la actualidad. Por un lado, el inadecuado procedimiento de recolección, así como la disposición final hacen que la tierra, el agua y el aire lleguen a contaminarse generando drásticas consecuencias, incluso, poniendo en riesgo la salud de las personas (Mamani citado por Quispe et al., 2020).

### **1.5. Impacto de los residuos sólidos en las municipalidades**

(Minera, 2017) Ha señalado que entre los efectos ambientales más destacable es el papel que juegan los gobiernos municipales y el empleo que estos tienen con los residuos, por lo que señala que estas dinámicas contemplan un serio deterioro en lo relacionado con el paisaje, tanto en el ámbito urbano como en el rural, respectivamente, lo cual es generado, principalmente por la disposición de los residuos sólidos que no cuentan con una adecuada , así como oportuna política, siendo preocupante pues debido a ello, estos residuos pueden afectar el equilibrio ambiental.

En la actualidad los residuos sólidos se están convirtiendo en uno de los mayores inconvenientes y, que no solo afecta a una nación en particular, sino a todo el mundo. Buena parte de los problemas con los residuos se debe a un crecimiento desordenado de la población, el cual es uno de los factores que incide de forma directa en la aparición de los desechos.

Según estimaciones del Banco Mundial, el crecimiento de los desechos sólidos crecerá en un 70 % para el año 2050, de allí la necesidad de tomar medidas para mitigar los efectos de los residuos sólidos en el planeta, por lo que los municipios tienen una importante participación ya que estos son los principales generadores de basura, por lo que es necesario que estos comiencen a crear políticas para el control de los

desechos. No obstante, existe una realidad, sobre todo en países en vías de desarrollo donde el asunto de los residuos no se ha canalizado como debería, generando y provocando más problemas, sumados a los que ya existentes (Bartra y Delgado, 2020).

Tabla 3. Características de los residuos orgánicos

| Tipo de residuo        | Caracterización de residuos sólidos                                                                                                                | Residuo predominante | Porcentaje |
|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|------------|
| Residuo de mercado     | Compuesto por restos vegetales y frutas como: Camote, zapallo, zanahoria, api, poro, manzana, durazno, piña, sandía, mandarina, naranja y lechuga. | Lechuga              | 30%        |
|                        |                                                                                                                                                    | Naranja              | 25%        |
| Residuo de restaurante | Compuesto por restos de comida: arroz, aceites, carnes, papa cocida, cebolla, fideo, harinas, entre otros.                                         | Arroz                | 40%        |
|                        |                                                                                                                                                    | papa cocida          | 20%        |
| Residuo domiciliario   | Compuesto por restos de vegetales: cáscaras de cebolla, habas, papa, zanahoria, arveja, tomate.                                                    | Cáscara de papa      | 40%        |

Muchas son las consecuencias que en la actualidad está padeciendo la tierra, por un lado, porque no existen políticas que controlen los residuos, y por el otro, el desconocimiento absoluto de los efectos degradantes que estos tienen sobre la tierra. Otro de los aspectos fundamentales, es la ausencia de gestiones en torno a este problema, lo que está produciendo la contaminación de los océanos del mundo, asimismo, obstruyendo los drenajes y provocando inundaciones, provocando una serie de enfermedades causadas todas ellas por la quema, también destruyendo a las demás especies y acelerando el efecto invernadero que trae consigo fenómenos naturales como los acaecidos en los últimos años (Banco Mundial citado por Bartra y Delgado, 2020).

Tabla 4. Factores ambientales impactados por el inapropiado empleo de los residuos sólidos

| Recurso                 | Impacto ambiental                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Contaminación del agua  | Variación de las características físicas, químicas y biológica, producto de la inadecuada disposición y descomposición de los residuos sólidos da origen a la generación de lixiviados, el mismo que provoca la contaminación de aguas superficiales y subterráneas y su ecosistema.    |
| Contaminación del suelo | Alteración de la calidad de suelo debido a una inadecuada disposición de residuos, debido a las descargas de sustancias tóxicas, generando un deterioro paisajístico.                                                                                                                   |
| Contaminación del aire  | Deterioro de la calidad del aire que, ocasionado efectos nocivos que se traducen en infecciones respiratorias e irritaciones nasales y oculares, además de las molestias que dan los olores pestilentes, junto a ello también se da la quema de residuos alterando la calidad del aire. |

Nota. Adaptado de Minera 2017

### 1.6. En torno a la gestión de residuos sólidos

Como primer paso de la gestión es lograr tanto la prevención como la minimización de la generación de residuos sólidos de origen, frente a cualesquiera alternativas (Quispe, 2020). Por otra parte, se insta a recuperar a los residuos sólidos, todo ello con el firme propósito que estos lleguen a ser fuentes de energías alternativas, así como a servir de fuentes para la elaboración de alimentos para animales de corral, asimismo, para ser reutilizados, reciclados para compostaje, entre otras vías, siempre y cuando se cuide la salud y el medio ambiente (Quispe, 2020).

Entre los planes que más efectos ha tenido en cuanto al aprovechamiento de los residuos sólidos está el (PIGARS), el cual es un instrumento de gestión ambiental cuyo objetivo central es establecer las condiciones para una oportuna y acertada administración de los residuos sólidos.

Este plan, además, es uno de los pocos instrumentos que ha emergido de un proceso participativo, así como de planificación, todo ello con el fin de ser en sí una propuesta social y financiera (Quispe, 2020).

### **1.6.1. Tratamientos de los residuos orgánicos**

Los residuos sólidos como se sabe, producen contaminación, así como modifican el entorno natural de muchas especies, dañando en su conjunto, los ecosistemas existentes. Para el tratamiento de los residuos, existen diversos métodos, entre los cuales los más conocidos son los físicos, químicos y los biológicos. Estos tienen como fin reducir los efectos degradantes. Sin embargo, muchas de las técnicas y métodos que se emplean tienen efectos adversos, lo que inciden de forma negativa en los suelos, así como en las aguas y en el aire (Guzmán et al., 2020).

Por otro lado, y a raíz del acelerado crecimiento poblacional, ha aumentado la tasa para erradicar los residuos sólidos, generando que se diera la apertura de diversos métodos, así como vertederos e incineradores. Por lo que es fundamental que los municipios diseñen y planifiquen las políticas en pro de la eliminación de los residuos sólidos (Castañeda-Torres y Rodríguez – Miranda, 2017). Asimismo, el aprovechamiento de los residuos en general, debe orientarse hacia normas y acciones directas o como resultado de procesos de tratamiento, producción de bio-abono, generación de biogás, compostaje, incineración entre otros; cuyo objetivo es mejorar las características físicas de los residuos para su posterior tratamiento específico o eliminación reduciendo de forma significativa su volumen además busca aplicar tratamientos químicos o biológicos afin de eliminar las características de peligrosidad, pueden ser físico, químicos, biológicos o térmicos (Paritosh et al., 2018). No obstante, su tratamiento debe estar acorde con las exigencias de la

colectividad, así como de las demandas que la sociedad en su conjunto posee. De acuerdo a las disposiciones ambientales, los residuos sólidos como tal deben ser separados, sin embargo, esto suele variar debido a diversos factores, entre ellos, el lugar donde se generan, así como de los hábitos y la cultura de la población (Lopes citado por Montoya et al., 2018).

Muchas naciones y, con la finalidad de lograr las metas propuestas por la Cumbre de la Tierra han sabido manejar las políticas para establecer objetivos claros en torno a las normativas sobre este tema. Sin embargo, muchos han sido los tropiezos que han presentado algunos países, debido a la falta de continuidad, generada, casi siempre por el cambio de administraciones, entre otros factores, impidiendo que tales metas se logren dar. Aunado a esta situación, el déficit presupuestario de los organismos competentes de la gestión queda relegados.

#### ***1.6.1.1. Tratamientos físicos***

Por lo general, el tratamiento físico consiste en todas aquellas operaciones mecánicas o físicas que separan el material de residuos en fracciones y, que luego serán sometidas a tratamientos adicionales, entre los cuales se encuentran: preparación de abono orgánico, digestión anaeróbica, combustión, reciclado, biogás, entre otras. Estas pueden incluir la separación, la trituración y la compactación del material orgánico (Paristosh et al., 2018). Sin embargo, aún en aquellos países en vías de desarrollo, se siguen empleando las tradicionales formas que consisten en tratar a los residuos sin ningún tipo de proceso que logre mitigar los efectos negativos, por lo que es necesario que los residuos sean tratados de manera que estos no dejen a su paso estragos entre otras consecuencias, entre los que se encuentran aquellos asociados a

los problemas ambientales que han devenido de la incorrecta gestión de residuos sólidos urbanos que sigue siendo uno de los grandes desafíos, sobre todo para las sociedades modernas (López-Vega et al., 2020) e industriales.

#### ***1.6.1.2. Tratamientos térmicos***

Estos tratamientos son aquellos procesos químicos que tienen como objetivo recuperar energía ya que se lleva a cabo la combustión de materia orgánica, esta puede ser aquella energía que puede ser convertida en vapor con el fin de motorizar las maquinarias. El tratamiento térmico contribuye a la expulsión del patógeno, mejora la deshidratación y reduce el tamaño (Paritosh et al., 2018).

#### ***1.6.1.3. Tratamientos biológicos***

Estos tratamientos incluyen la preparación de abono orgánico, por un lado, así como digestión anaeróbica, entre otros tratamientos. La preparación de este abono puede hacerse con pilas o también en instalaciones de preparación que busquen optimizar las condiciones del proceso al tiempo que filtran el gas producido, asimismo, promover el crecimiento microbiano en la biomasa, lo que podría mejorar de forma notable la hidrólisis del sustrato, además del tratamiento biológico que es superior en comparación con los sustratos tratados con termoquímicos (CCA, 2017).

##### ***1.6.1.3.1. Bioconversión***

La bioconversión es un proceso que consiste en la transformación de los desechos en otros productos, casi siempre estos, para ser empelados como alimentos. La bioconversión emplea agentes biológicos. En los últimos años, este método se ha considerado de gran importancia, ya que no emplea otros materiales que pudieran afectar el equilibrio

natural. La bioconversión utiliza insectos como larvas de moscas para transformar los residuos orgánicos de origen urbano. Es una práctica de recuperación de los recursos (Cerón, 2016). Esta:

Representa un método económicamente viable, el cual tiene la capacidad de convertir grandes cantidades de residuos orgánicos de origen alimenticio en materia prima de gran valor ambiental y económico, como la elaboración de piensos como alimentos de animales, el cual presenta una elevada biomasa de insectos, alimentos para humanos, elaboración de compuestos industriales secundarios como biocombustibles, lubricantes, productos farmacéuticos, entre otros, así como el uso de los residuos alimentarios sobrantes como materia orgánica con grandes cantidades de nutrientes (Van Huis & Oonincx citados por Salas et al., 2021).

Este método es un proceso altamente beneficioso, además de rentable y productivo donde se emplean agentes biológicos de rápida absorción, el cual es aplicado en estudios ambientales y de salud.

#### ***1.6.1.3.2. El vermicompostaje***

Este proceso consiste en la transformación rápida en materia orgánica por medio de métodos no solo limpios, sino también sostenibles, con el fin de producir residuos que sean aprovechados. Para llevar a cabo este proceso, se emplean lombrices para transformar los restos orgánicos en un material parecido al humus (Salas et al., 2021). “El vermicompostaje es un proceso de biooxidación, degradación y estabilización de la materia orgánica mediada por la acción combinada de lombrices y microorganismos bajo condiciones aerobias y mesófilas, con el que se obtiene un producto final estabilizado” (Vargas-Machuca; Moreno et al., citados por Villegas-Cornelio y Laines, 2017, p. 394).

Otro de los métodos es el compostaje. De acuerdo a la FAO “es la mezcla de materia orgánica en descomposición, en condiciones aeróbicas (en presencia de oxígeno), que se emplea para mejorar la estructura fisicoquímica del suelo y proporcionar nutrientes” (Pedraza y Hernández, 2019, p. 53). Este proceso llega a involucrar procesos metabólicos que son llevados a cabo por microorganismos “que, en presencia de oxígeno, toman el nitrógeno (N) y el carbono (C) presentes para producir su biomasa” (Pedraza y Hernández, 2019, p. 53).

Ante un panorama como el actual donde existen y se crean enormes cantidades de residuos es necesario que se desarrollen alternativas con el fin de mitigar los efectos que traen consigo los residuos sólidos, por lo que es necesario desarrollar en su conjunto, estrategias amigables tanto para el tratamiento como para la gestión de residuos sólidos, puesto que el impacto que estos generan en el planeta son cada vez más drásticos, no solo sobre el propio ecosistemas, sino en los seres humanos ( Villegas-Cornelio y Laines, 2017).

# Capítulo 2

## 2. La mosca doméstica, definición, taxonomía e importancia

Las moscas pertenecen al orden díptero, reciben este nombre pues poseen un par de alas membranosas funcionales; asimismo, un par de alas traseras que sirven como balancines durante el vuelo.

Algunas de las especies de mayor importancia económica en la explotación pecuaria son la mosca común o doméstica (*Musca domestica*), la mosca de los establos (*Stomoxys calcitrans*), la mosca de los cuernos (*Haematobia irritans*), la mosca Tsé Tsé (*Glossina* spp.) y en menor importancia figuran las especies *Fannia* spp., y *Muscina* spp (Coto citado por Beas, 2015, p. 24).

Esta especie de mosca se caracteriza por poseer una alta tasa de multiplicación (1 hembra pone hasta 1,200 huevos/mes y una capacidad de dispersión de hasta 10Km. Tanto las moscas como los mosquitos forman parte de los dípteros, estos son aquellos grupos de insectos cuya característica es que los adultos presentan el primer grupo de alas que son realmente funcionales para el vuelo; por su parte, el otro grupo de alas están diseñadas como especie de bastos con propiedades sensoriales durante el vuelo. Por lo general, los dípteros adultos se alimentan de materia orgánica, casi siempre en descomposición, no obstante, existen otras especies cuyos hábitos son depredadores, así como parasitoides, también aquellas que se alimentan de planta (Hovemeyer citado por Ibáñez – Bernal y Sandoval- Ruiz, 2021, p. 3). Los dípteros adultos son expertos voladores y, suelen estar donde hay alimentos, por una parte, porque

estos lugares ofrecen alimento, y por el otro, sirven como los escenarios más adecuados para su desarrollo, sobre todo en etapas de crecimiento. A la fecha, los dípteros son las especies más diversa, cerca de 159 000 pertenecientes a 158 familias, solo superado por la familia de los coleópteros, así como de las polillas (Ibáñez-Bernal y Sandoval-Ruiz, 2021).

## **2.1. La mosca doméstica (*Musca domestica* L.)**

*Musca domestica* en su acepción científica o también conocida como mosca común, es considerada una especie cosmopolita la cual constituye un problema de salud en áreas urbanas. Este vector es polífago pues es atraído a diferentes sustratos: alimentos, desperdicios, residuos, secreciones y excretas las cuales emplea tanto para reproducirse como para alimentarse (Moissant de Román et al., 2004; Ruano-Roca et al., 2017).

Este insecto es el más común de todos y, se encuentra, sobre todo en asentamientos humanos; durante años se ha venido asociado como agente patógeno alimentario. Esta especie de insecto se reproduce en materia en descomposición, heces de animales, donde transmiten patógenos a los alimentos generando no solo deterioro en ellos, sino también algunas enfermedades en los humanos (Villegas, 2017). A escala mundial, a este insecto se le considera uno de los vectores de infecciones entéricas, ya que es un transmisor comprobado de más de 30 virus, así como de 175 bacterias y 8 especies de espiroquetas, entre otros (Javela y Carreño, 2017).

Las moscas domésticas, no solo son consideradas una incomodidad, sino que también pueden causar muchas enfermedades a los seres humanos, todas estas enfermedades, pueden ser intestinales e

infecciones oculares (Béjar et al citados por Quiceno et al., (2010). Las moscas se reproducen en materia orgánica, casi siempre putrefacta, también en heces de animales, adquiriendo agentes patógenos, y generando la transmisión de enfermedades (Meraz et al., 2019). La mosca doméstica está asociada con la vectorización de más de 100 agentes etiológicos de enfermedades bacterianas, protozoarias y víricas (Villegas, 2017; Muñoz y Rodríguez, 2015; Traviezo et al., 2018).

Para Themanma et al, citados por Chil-Núñez et al., 2020 señala que la:

*Musca domestica* (Linnaeus, 1758) (Diptera:Muscidae) es una de las especies más importantes debido a su comportamiento sinantrópico y a su distribución mundial. Se considera que esta mosca desempeña un papel importante en las enfermedades infecciosas transmitidas a los alimentos como *Vibrio cholera*, *Escherichia coli* *Salmonella* y *Shigella*. También pueden transportar quistes y ooquistes de protozoos, huevos de helmintos y, además, son responsables de la producción de miasis en humanos y animales (p.25).

Este tipo de insecto se originó en Asia Central, no obstante, se encuentra en cualquier parte habitada, así como en todos los climas, desde el tropical hasta el templado y, en una diversidad de entornos que van desde el rural hasta el urbano (Salas y Larraín, 2012; Villacide et al., 2016., Sánchez y Capinera, 2017). La mosca doméstica se asocia, por lo general, con heces de animales, sin embargo, esta especie se ha adaptado bien para proveerse de alimentos de los residuos que encuentra (Villacide et al., 2016; Meraz et al., 2019) Este insecto puede de igual modo, transportar organismos patógenos sobre su cuerpo, también en el interior de la cavidad intestinal, y diseminarlos en

cualquier escenario. Esta especie puede encontrarse en aquellas casas donde los sistemas sanitarios no existen, asimismo, este insecto puede estar en aquellos lugares donde estén residuos sólidos provenientes de las ciudades, por otro lado, la acumulación de residuos constituye una fuente apreciable tanto para el alimento como en la reproducción de esta especie. Entre los factores que intervienen y que hacen que este insecto sea un poderoso e infalible transmisor de enfermedades están los hábitats que frecuenta, así como las fuentes de alimentos que explotan (materia orgánica en descomposición) su morfología externa, entre otros (Gómez citado por González et al., 2016).

### 2.1.1. Taxonomía

Tabla 5. Clasificación taxonómica

| Reino    | Animal                     |
|----------|----------------------------|
| Phylum   | Artrópoda                  |
| Clase    | Insecta                    |
| subclase | Pterigota                  |
| Orden    | Díptera                    |
| Suborden | Cyclorrhapha               |
| Familia  | Muscidae                   |
| Género   | Musca                      |
| Especie  | Doméstica (Linnaeus, 1758) |

Nota. Tomado de Villegas (2017)

### 2.2. Descripción biológica

La mosca doméstica puede alcanzar una medida cerca de 4 a 7,5 mm de longitud. Su cuerpo está dividido en cabeza, tórax y abdomen, ver figura 1.



Figura 1. Parte de una mosca.

Fuente: Villegas (2017)

La cabeza de la mosca es convexa en la parte frontal, mientras que la parte posterior de esta es casi plana y cónica. Su área frontal se le denomina frons y ocupa la parte superior de la cara por debajo y entre las antenas. Posee una trompa en la cabeza, asimismo, dos antenas, y un par de ojos compuesto y tres ojos simples, esto le da un campo de visión mucho más amplio (Villegas, 2017).

### **2.3. Ciclo vital de la mosca doméstica**

Este insecto tiene y presenta las siguientes etapas o también conocidos como estadios:

#### **2.3.1. Huevo, larva, pupa y adulto**

Las moscas presentan una metamorfosis completa, la larva de mosca posee tres fases larvarias, siendo cada una de ellas de mayor tamaño que la precedente (Villegas, 2017). Las condiciones cálidas del verano son generalmente óptimas para el desarrollo de la mosca doméstica, y puede completar su ciclo de vida en tan solo siete a diez días, sin

embargo, en condiciones subóptimas, el ciclo de vida puede requerir hasta dos meses (Sánchez & Capinera, 2017).

Las hembras pueden poner alrededor de 350-500 huevos durante su vida., el tamaño de cada huevecillo es aproximadamente 1,2 mm de longitud, el cual pasadas las 24 horas eclosionan y las larvas comienzan a devorar restos orgánicos ricos en nutrientes (Salas & Larraín, 2012).

Los huevos están cubiertos de un corion fuerte, de una membrana vitelina ubicada en su interior, así como de una delgada capa citoplasmática que se separa la vitelina de la yema. Cada huevo mide alrededor de un milímetro, de acuerdo a las propuestas de (Cantwell et al citados por Beas, 2015).

La mosca doméstica pasa por cuatro estados de desarrollo: huevo, larva, pupa y adulto, dichas características morfológicas de cada estado se describen a continuación.

#### **2.3.1.1. Huevo**

Son blancos de forma alargada y ovalados, de 1 mm de longitud y eclosionan en un lapso de 8 a 24 horas a temperatura de 20 °C a 25 °C, cada mosca hembra puede poner hasta 500 huevos en varios grupos de 75 a 150 huevos durante un período de tres a cuatro días (Sánchez & Capinera, 2017), la máxima ovoposición ocurre a temperaturas entre 25 a 30 °C (Meraz et al., 2019), es importante considerar que los huevos permanezcan húmedos o no eclosionarán (Marshall, 2012).

#### **2.3.1.2. Larva**

Son acéfalas de 3 a 9 mm de largo, de color blanquecino cremoso típico, cilíndricas pero afiladas hacia la cabeza, la cabeza contiene un par de ganchos oscuros y los espiráculos posteriores están ligeramente elevados

y las aberturas espiraculares que están completamente rodeadas por un borde negro ovalado (Sánchez & Capinera, 2017). La larva atraviesa por tres estadios larvarios; en el primero, la larva mide de 1-3 mm de longitud; en el segundo, de 3-5 mm y en el tercero alcanza de 5-13 mm (Faz y Meneses, 2007), durante el tercer periodo larvario, la larva está completamente desarrollado, busca un lugar seco y fresco cerca del material de reproducción y pasa a transformarse en pupa (Salas & Larraín, 2012).



Figura 2. Larva de la Musca Domestica.

Fuente: Baes (2015)

#### ***2.3.1.3. Pupa***

Son de forma coartada, de unos 8 mm de largo, se pasa en una caja de pupa formada a partir de la última piel larval que varía de color de amarillo, rojo, marrón a negro a medida que la pupa envejece, completan su desarrollo en dos a seis días a una temperatura de 32 a 37 °C, pero requieren de 17 a 27 días a 14 °C (Sánchez & Capinera, 2017). La forma de la pupa es bastante diferente de la larva, siendo redondeada en ambos extremos (Schlapbach, 2007; Villacide et al., 2016).



Figura 3. Pupas de *Musca domestica*.

Fuente: Baes (2015)

#### **2.3.1.4. Adulto**

Por lo general, el insecto hembra suele ser más grande que el insecto macho, esta puede medir de 6 a 7 mm de largo. Puede distinguirse del macho por el espacio relativamente amplio entre los ojos (en los hombres, los ojos casi se tocan),

En cuanto a la cabeza de la mosca adulta, esta tiene piezas bucales esponjosas y ojos rojizos, su tórax tiene cuatro franjas negras estrechas y hay una curva aguda hacia arriba en la cuarta vena longitudinal del ala, su abdomen va de color gris o amarillento con una línea media oscura y tiene unas marcas oscuras irregulares en los lados y la parte inferior del macho es amarillenta (Sánchez & Capinera, 2017).

Viven de 15 a 25 días, en el caso de los insectos adultos (Hack, 2019), no obstante, estos pueden vivir hasta dos meses. Pero sin alimentos solamente sobreviven unos dos o tres días, en ese sentido, su longevidad va a depender exclusivamente de los alimentos que estén a su alcance, asimismo, por las bajas temperaturas existentes (Villacide et al., 2016).

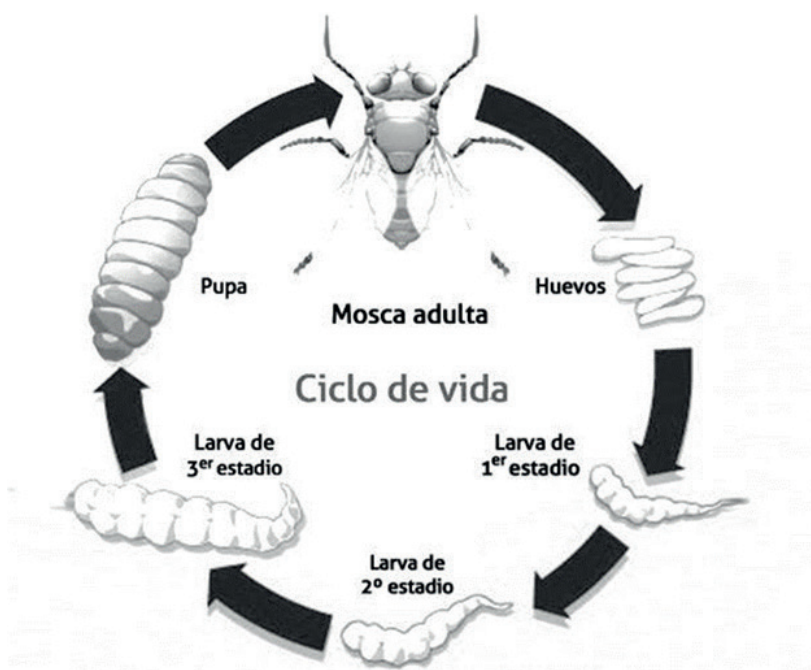


Figura 4. Ciclo de vida de la mosca doméstica.

Fuente: Tabares & Ruiz (2015)



Figura 5. Musca Domestica.

Fuente Quiceno (2010)

## **2.4. Biología y comportamiento de la Musca Domestica**

La mosca doméstica requiere de un periodo de tres semanas para pasar de huevo a adulto. Durante el ciclo nocturno, el ciclo suele ser inactivo, de allí que son considerados fototrópicas, según (Hack, 2019)

Por ejemplo, una hembra adulta puede colocar entre 50 a 100 huevos en una sola puesta y durante todo un ciclo vital esta puede depositar alrededor de 350-500 huevos (Sánchez & Capinera, 2017).

Los huevos las larvas emergen en 24 horas, que pasan por 3 periodos larvarios con una duración que oscilan entre 5 a 6 días aproximadamente, luego de este periodo se transforman en pupas, para pasar a un ciclo donde detienen su alimentación y buscan en el sustrato un área seca y oscura el cual dura entre 5 a 6 días, donde transcurren todos los procesos morfológicos que la llevarán al estado adulto, dentro del primer y segundo día de edad, los insectos adultos dan inicio al periodo conocido como apareamiento que dará paso al ciclo reproductivo (Villegas, 2017).

### **2.4.1. Estimación proteica y nutricional**

En el estudio de (Anene et al., 2013) señala el contenido nutritivo que poseen las larvas de moscas doméstica en cuanto a: grasa cruda, cantidades elevadas de micronutrientes, así como proteína cruda. En ese sentido, se estima que el valor nutricional de la harina de larva guarda una estrecha coincidencia con el valor nutreico de la harina de pescado, convirtiéndose en una excelente y oportuna alternativa como ingrediente alimenticio rico no solo en proteínas, sino en nutrientes siendo aptas para actividades de engorde de animales de corral, así mismo, para las operaciones ganaderas y acuícolas (Hussein et al., 2017). Por otro lado, las larvas pueden emplearse, de acuerdo a los aportes de (Čičková et al., 2015). para la producción de productos secundarios, tales como: biodiesel, sustancias biológicamente activas, entre otras.

#### **2.4.2. Efectividad y composición como sustituto proteico y nutricional**

Un aspecto que debe destacarse son las propiedades de los componentes, así como de los alimentos. En el caso de la harina de larva doméstica, esta mostró valores solamente comparables a la mayoría de los ingredientes de alimentos ricos en proteínas, los cuales, se muestran a continuación:

A). La harina de larva contiene un 60 % de proteína con un perfil de aminoácidos bien equilibrado. B). un 20 % de grasa con un 57 % de ácidos grasos monoinsaturados y C). 39 % de ácidos grasos saturados.

En relación a la evaluación de micronutrientes en la harina de larva sugirió que es una buena fuente de calcio (0,5 %), seguido de fósforo (1,1 %) de acuerdo a la propuesta de (Hussein et al., 2017).

#### **2.5. Las moscas domésticas y la introducción de otras especies**

El hombre en su afán por colonizar trajo consigo no solo animales para ser usados como alimentos, sino también otras especies nunca deseadas. Con las personas, y gracias a sus procesos de expansión, muchos fueron los parásitos que con ellos viajaron, un ejemplo de estos está registrados como kairófilos los cuales incluyen diversas especies de piojos; con el ganado, por ejemplo, se introdujeron diversas moscas, así como otros parásitos (Ibáñez-Bernal y Sandoval-Ruiz, 2021).

Las moscas, no son solo una simple molestia, son portadoras de miles de enfermedades el cual es uno de los mayores riesgos tanto para los seres humanos como para otras especies que de igual modo, pueden verse afectadas por estos insectos.

Globalmente, las moscas causan grandes y cuantiosas pérdidas, estimadas en billones de dólares. Diversas investigaciones, afirman que, la mosca domestica es la causante de enfermedades, tanto al hombre como a otros animales, estas enfermedades pueden ir desde protozoos, bacterias, lombrices y virus. Estudios mucho más especializados, señalan que este insecto cumple un papel en la transmisión de poderosos agentes infecciosos, causantes de diarreas y disenterías.

Diversos han sido los procedimientos para su control, entre ellos se encuentran el uso de químicos, obteniendo que las moscas no solo resistan a tales procedimientos, sino que vuelvan más fuertes. Por otro lado, existe la posibilidad de que estos procesos generen costos de producción, ya que las moscas pueden desarrollar mecanismos que las hagan resistentes, agravando el problema económico, así como la contaminación ambiental (Inciso y Castro, 2007).

# Capítulo 3

## 3. El uso de las larvas de la mosca doméstica en la eliminación de los residuos orgánicos: estudios e investigaciones previas

“La *Musca domestica* es un insecto sinantrópico, que tiene una cercana asociación con el hombre y su ambiente” (Meraz et al., 2019, p. 15). Este insecto se halla en cualquier lugar donde esté la presencia humana, y está asociado, mayormente a animales de corral, tales como; aves, ganado (vacuno, equino y porcino), de allí que la probabilidad de contagiar a otros seres humanos es mucho más alta. Solo en los Estados Unidos de Norteamérica, se gastan 1,6 millones de dólares en producto químicos para el control de este parásito (Meraz et al. 2019).

Una de las realidades más latentes, además de preocupantes a nivel tanto regional como nacional e internacional son los residuos sólidos como consecuencia de las diversas actividades industriales, asimismo por el proceso de industrialización que ha propiciado en su conjunto, una serie de actividades que son perjudiciales en el medio ambiente, el ecosistema y el equilibrio natural de muchas especies, incluyendo la de los seres humanos que de igual modo, se ve drásticamente amenazada por la proliferación de residuos, por lo que se hace necesario que estos se conviertan o sean transformados en beneficios tanto para los animales como para los seres humanos, en tanto actividades agrícolas, entre otras. Un ejemplo de ello, ha sido la cría de insectos cuya finalidad radica en la producción de alimentos para animales de corral, lo cual significaría un importante aporte para la economía, sobre todo en aquellas actividades de índole agrícola y agropecuaria, puesto que la cría de insectos constituye una fuente ilimitada de proteína la cual sigue estando desaprovechada (Corbalá-Bermejo et al., 2019).

Por otro lado, muchas han sido las técnicas que se han empleado con fines de erradicar los residuos de forma natural, sin embargo, los esfuerzos llevados a cabo no solo sino procesos que en vez de contribuir con el saneamiento ha incitado a la proliferación de agentes contaminantes intensificando en gran medida a la contaminación y al aceleramiento de los efectos, conocidos como calentamiento global, en ese sentido, muchas prácticas siguen siendo la misma, muy a pesar del avance de la ciencia, siguen generándose las mismas prácticas que hace décadas se practicaban.

“Las prácticas de generación, transporte y eliminación de residuos son las principales fuentes de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) para las actividades de gestión de residuos” (Salas et al., 2021, p. 72), entre otras cargas ambientales que llegan a ser perjudiciales tanto para la salud como para el propio equilibrio medioambiental.

Muchas investigaciones han arrojado el gran potencial que tienen los residuos, sobre todo empleando las larvas de *Musca domestica* como alternativa para la reducción de los residuos, generando en su conjunto, alternativas viables y en beneficio para los seres humanos, así como para el ecosistema y el medio ambiente.

Estudios microbiológicos de gran importancia, han establecido, a grandes rasgos, que, “la larva de mosca utilizada en la alimentación avícola, no presenta *Salmonella*, coliformes fecales y hongos. En la larva de mosca doméstica, presentan una calidad microbiológica aceptable, lo cual se encuentra en los rangos permitidos”. (Arango & Vergara, citados por Garzón y Mesías, 2019, p. 12). Por otro lado, se afirma que los insectos pueden ser de igual modo, usados como alternativas alimenticias que en la actualidad está y sigue siendo desaprovechada, “dicha fuente asegura un insumo alimentario de acuerdo a los requisitos

biológicos para una nutrición aceptable” (Corbalá-Bermejo et al., 2019, p. 2). Todo ello con el fin no solo de reducir grandes cantidades de residuos, sino de convertir estos en recursos altamente potenciales que beneficie a la comunidad en general, y al medio ambiente, ya que su control permitirá el saneamiento y los bajos índices de enfermedades.

Un aspecto que no debe dejarse a un lado es tener claro que las moscas tienen sus propios procesos donde estas logran con mayor eficiencia reproducirse, por lo general, además de adaptarse en aquellos lugares donde la producción de residuos es mayor. Uno de los lugares que más se adecuan son los establecimientos pecuarios cuya actividad es mayor, puesto que son ideales para que las moscas lleguen a cumplir con su ciclo vital, además de reproductivo. Por lo general, los centros productivos son los urbanos y periurbanos, poniendo en riesgo la salud, pues las moscas son vectores que pueden transmitir muchas enfermedades.

### **3.1. Estudios e Investigaciones previas**

Diversos, así como completos han sido los estudios que se han hecho en este campo, sin embargo, en este apartado, solo vamos a destacar aquellos estudios cuyo nivel de aporte es el más significativo, así como los más relevantes. A continuación, se muestran algunos acercamientos teóricos en torno al objeto de estudio.

El estudio de Ground et al., (2018), emplearon un agente de bioconversión a la mosca soldado negro *Hermetia illucens* L. en residuos provenientes de la industria cafetera, dicho estudio basó en la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI), asimismo, se usó el índice de reducción de residuos (WRI) por sus siglas en inglés. Una vez llevado a cabo el estudio, este arrojó el siguiente resultado que consistió en mostrar los siguientes datos que a continuación se muestran:

1. Las larvas del insecto con un aproximado de 1 taza de alimentación (200 mg/larva por día, la cual presentan tanto el desarrollo como el crecimiento más corto, es decir, en 25,6 días, por lo tanto, su valor más elevado de ECD 5 %.
2. En cuanto a la biomasa pupa más elevada fue de 14,8mg, por lo que su crecimiento fue de 1,41mg/día, no obstante, la WRI fue de 0,997.

Como conclusión la (MSN) mosca soldado negra posee como característica una tasa de crecimiento lenta, sin embargo, esta especie de insecto son capaces de transformar los residuos de café para ser empelados con fines biológicos.

Las larvas con una tasa de alimentación de 200 mg/larva/día presentan el desarrollo más corto 25,6 días, el valor más alto de ECD 5 %, la biomasa pupa más alta 14,8 mg, la tasa de crecimiento más alta 1,41 mg/día, pero la WRI baja 0,997. En conclusión, la mosca soldado negro *Hermetia illucens* L. tiene una tasa de crecimiento lenta, pero son capaces de convertir residuos de café molido.

A través del estudio llevado a cabo por Meneguz et al., (2018), donde se determinó la influencia de 4 sustratos de residuos en la generación de larvas de mosca soldado negro. Estos sustratos estaban conformados por los siguientes componentes:

### **Ensayo 1.**

Compuestos por residuos orgánicos, mezcla tanto de frutas y vegetales vs una mezcla de solo frutas.

### **Ensayo 2.**

Estos estaban compuestos por derivados de un establecimiento cervecero ubicado a las afueras de un viñedo. Los resultados del presente ensayo determinaron una significativa reducción de residuos, así como de

desperdicios, los cuales variaron de 2,4 a 5,3 g/día en aquellos residuos de la cervecería, estos a su vez arrojaron un rendimiento larvario, así como una composición proteica significativa, además de prometedora para los efectos esperados.

En el estudio por parte de (Hussein et al., 2017) demostraron que la harina de larva de mosca doméstica contiene un 60 % de proteína con un perfil de aminoácidos bien sopesado, con un 20 % de grasa, asimismo con un 57 % de ácidos grasos monoinsaturados, seguido de un 39 % de ácidos grasos saturados, además de ser una fuente importante tanto de fósforo (1,1 %); y de calcio (0,5 %), respectivamente).

Un aspecto bien importante en cuanto al valor proteico de la harina de larva, es que esta guarda una estrecha relación con la harina de pescado, por lo que es una alternativa con altos estándares tanto para su uso como por ser un ingrediente de alimento rico en proteínas en las actividades tanto ganaderas como de agricultura.

En el estudio de Manurung et al., (2016), estos llegaron a aplicar larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens* L.) como portadores de bioconversión de la paja de arroz con el objetivo de minimizar la cantidad de residuos existentes, mientras que al mismo tiempo se producía biomasa de larvas, con lo cual la alimentación diaria de 200 mg de residuos orgánicos (paja de arroz molida) por larva provocó como resultado un peso considerable seco prepupa 15,59 mg, con lo cual, el menor periodo de desarrollo fue de 39 días, no obstante, una escasa eficiencia de minimización de residuos fue 10,85 %, mientras que una mayor eficiencia de reducción de residuos se llegó a contabilizar con una tasa de alimentación de larvas de 12,5 mg/larvas/día con un valor de 31,53 %.

Para Saragi y Bagastyo (2015), en sus aportes determinaron el cambio de residuos sólidos mediante el empleo de larvas de mosca soldado negra. En el mencionado análisis se llevó a cabo un estudio donde se empleó un reactor de jaula de escala de laboratorio, abarcando cada uno 200 larvas, el periodo de tiempo de experimentación tardó 21 días. Los resultados certificaron que la disminución de residuos orgánicos por las larvas de mosca soldado negra para una mezcla de verduras: residuos de frutas, una mezcla de verduras: frutas: residuos de pescado, y los residuos de pescado fue 51,91 % (tasa de 33,29 mg/larva.día), 48,73 % (tasa de 27,32 mg/larva.día), y 39,91 % (tasa de 20,73 mg/larva.día), respectivamente. La relación carbono/nitrógeno (C/N) de la mayoría de los residuos se incrementó debido a la reducción del nitrógeno total inicial de los residuos, con la relación de carbono/nitrógeno (C/N) fue de entre 21 a 42.

En el estudio de Bonso (2013), este utilizaron larvas de mosca soldado negro tanto para digerir como degradar los residuos orgánicos contenidos en restaurantes, por lo que desarrolló 5 clases de sustratos B25, B75, B100, B125 y B200 con tasas de alimentación de 0,25, 0,75, 1,00, 1,25 y 2,00 g/larvas/día, su estudio arrojó que una tasa de alimentación diaria de 1,00 g de residuos por larvas por día es capaz de suplir el arrancamiento de materia orgánica en un periodo corto con el fin de generar un mejor provecho en la prepupa. Por otro lado, se verificó que las larvas son capaces tanto de digerir como de degradar residuos provenientes de sitios donde se producen, en porcentajes que oscilan entre 44 y 94 %, con un índice de acortamiento de (RO) de 9,96 %/día.

Por su parte (Diener, et al., 2011), precisaron la sostenibilidad de la larva de mosca soldado negra no solo en la digestión de los residuos, sino también en la degradación de los mismos. Además, se determinaron

tanto los beneficios como las limitaciones de esta tecnología generando una producción promedio de prepupa de 252 g/m<sup>2</sup>/día de peso húmedo en condiciones aceptables. En cuanto a la reducción de residuos esta varió de 65,5 a 78,9 %, por supuesto, dependiendo de la cantidad diaria de residuos agregados a la unidad experimental y presencia/ausencia de un sistema de drenaje, este análisis certificó la gran capacidad de este insecto como garante de residuos en aquellos países de condiciones medias y bajas

Otro de los estudios se empleó larva de la mosca soldado negro para el procesamiento de residuos orgánicos reciclando los nutrientes en proteínas, este estudio puede ser utilizado como alimento, además, por producir enmiendas orgánicas. Estos estudios lograron hallazgos mostrando una enorme productividad en generación de prepupas diario de 264 g/m<sup>2</sup> con 4,3 kg/día de alimento y peso promedio por prepupa de 219 mg, con 4,5 kg/día de alimento. Asimismo, se mostró una reveladora utilidad de la especie en cuanto al procesamiento de residuos orgánicos municipales al minimizar su volumen en un 52,7 % peso húmedo y 63,3 % en peso seco (Studt-Solano, 2010).

Por su parte, Vargas (2012), llevó a cabo un estudio donde se evaluó tanto la producción como la composición de los residuos de los mercados de la ciudad de Juliaca. En su estudio, señala que los residuos orgánicos representan el 77,15 %, mientras que los residuos inorgánicos el 18,45 % (plástico, tierra, metales y latas); otros residuos en un 4,40 %. En relación a la fracción orgánica esta está conformada por restos como huesos, residuos de papel y cartón y alimentos, entre otros; en conclusión, se afirma que el mayor porcentaje de residuos de alimentos tuvo lugar en el mercado de Santa Bárbara, en cuanto a huesos tuvo lugar el mercado de Túpac Amaru, respectivamente.

### **3.2. ¿Qué residuos se degradan más rápido?**

Los residuos orgánicos pueden ser perjudiciales, si estos no se tratan con diligencia, aprovechando sus propiedades, además generando en ellos, procesos que bien pudieran servir como alimento o para ser usados como abono para aquellas actividades que lo ameriten (agricultura y ganadería). No obstante, estos también pudieran ser aprovechados empleando las larvas de la mosca doméstica y de este modo, ser usados con otros fines.

En el estudio de Salas et al., (2021), los autores que, luego de 9 días de experimentación lograron inocular los (RS), provenientes de tres sectores (Domiciliario, Restaurante y Mercado), los cuales representan los sitios con mayor probabilidad donde se produce una gran cantidad de residuos. Con un aproximado de 625 larvas de MD, con un peso aproximado de 25g, reportando que los RD fueron los de mayor degradación; seguidos de los del Mercado y, por último, los del restaurante con un 56,2g (de acuerdo al estudio hecho por los autores señalados) estos resultados afirman que las larvas presentan un nivel de degradación que difiere de acuerdo al tipo de sustrato (Salas et al., 2021). En su estudio, estas larvas lograron degradar una cantidad considerable de desechos orgánicos, por lo que se afirma que las larvas de la mosca doméstica sí es efectiva en la degradación de los (RO). Para ello, Salas et al., 2021, afirmaron que los residuos provenientes de restaurantes no se degradan tan fácilmente y esto es debido al nivel de sustrato, además tal como lo ha señalado Freitas et al citados por Salas et al., (2021):

Se afirma que el éxito de un organismo o una comunidad biodegradadora va a depender de un conjunto de factores limitantes, entre los que se encuentran las condiciones ambientales, la composición de la materia

orgánica, el acceso limitado a los alimentos por el alto contenido de humedad y grasas, el tamaño de las partículas y el contenido de humedad, entre otros parámetros, lo que puede perturbar en el sistema la comunidad de organismos, influyendo en la degradación de residuos (p. 78).

Los efectos que puede tener el uso de larvas de mosca común a través de la investigación señalada, pueden de algún modo no solo lograr que los residuos desaparezcan en su totalidad, sino más bien se le dé un uso práctico, con fines altamente aprovechables, de este modo, se hablaría de un tratamiento biológico con el objetivo de controlar y aprovechar las bondades que estos insectos poseen en el ambiente, y por supuesto en la salud, así como en el ecosistema.

### **3.3. Otros usos de los residuos**

Los residuos, tal y como han sido definidos, no son solo restos que no podrían ser empleados. Como se sabe, los residuos son también aquellas materias primas que tienen y presentan grandes proporciones de celulosas, así como de hemicelulosas y lignina. Para Chávez et al., (2021) los residuos presentan ciertas bondades que en la actualidad se están empleando como “biocombustibles dirigidos al desarrollo de nuevas fuentes energéticas” (p. 42).

Por otro lado, los residuos al ser procesados de forma natural estos pueden de algún modo ser aprovechados con fines agrícolas o pecuarios, con alguna técnica como el compostaje “que es la descomposición de materiales orgánicos (por ejemplo, desechos de jardín, residuos alimentarios y papel) por microorganismos aeróbicos (y anaeróbicos) que producen humus” (CCA, 2017).

En la actualidad, la mayor parte de los residuos tienen como destino los botaderos de basura, que acaban por degradar no solo el suelo, sino también contribuyendo a la contaminación del aire y el agua. No todos los residuos orgánicos se llegan a aprovechar ya que solo un mínimo de porcentaje se llega a procesar. Para ello tanto los agricultores como la población en general pueden marcar la diferencia, al separar los residuos y sacarles el mejor de los provechos.

La presencia de residuos que son puestos en vertederos tiene efectos negativos puesto que estos degradan otros recursos, asimismo, disminuye la calidad de vida y la preservación en el planeta emitiendo enormes cantidades de metanos que es uno de los gases más potentes de efecto invernadero.

# Capítulo 4

## 4. Estudio del tratamiento biológico de residuos orgánicos como fuente proteica empleando larvas de *Musca Domestica* en la Juliaca, Perú, una revisión metodológica

Entre los años 2011 y 2012, la pobreza en el Perú decreció en tres puntos porcentuales en relación a la primera década del siglo XXI, no obstante, todavía existen un aproximado de 8,3 millones de peruanos en situación de pobreza, mientras que cerca de 900 mil están en pobreza extrema, de acuerdo a organismos internacionales.

Entre los problemas principales a escala mundial es la gestión de los residuos sólidos, que en la actualidad constituye uno de los problemas creciente, debido a factores como: el aumento demográfico, asimismo, el desplazamiento a zonas urbanas, desarrollo industrial y empresarial, los cambios en el consumo y la mejora de la calidad de vida, produciendo de este modo, en un problema que atañe no solo a las poblaciones, sino también al equilibrio ambiental (Guerrero et al., 2013; Scheinberg et al., 2015; Wilson, 2015). Actualmente, los denominados (RO) o residuos orgánicos forman parte de la mayor fuente de generación de gases de efecto invernadero, así como de lixiviados (Torretta et al., 2016), deteriorando, no solamente los niveles de vida, sino poniendo en riesgo a los diversos ecosistemas existentes, y en general, al medio ambiente (Plaza y Zapata, 2011), en ese sentido, la ciudad de Juliaca no está exenta a este panorama, dado que los residuos orgánicos forman parte del 40 por ciento del total de los restos o también residuos sólidos que se generan día a día en la ciudad de Juliaca (MPSR, 2015). Uno de los aspectos importantes y dignos de destacar es que los residuos orgánicos

pueden ser procesados con tecnologías ecológicas, eficientes desde el punto de vista económico (Salomone et al., 2017), por tal razón muchas investigaciones han señalado que una forma adecuada de emplear los residuos orgánicos, es alimentando a las larvas de mosca con restos orgánicos, disminuyendo los residuos orgánicos obteniendo, tal como lo ha señalado (Lohri et al., 2017) biomasa rica en nutrientes.

Entre los propósitos del presente estudio, es generar una propuesta de mejora para el manejo de residuos orgánicos, así como indagar la viabilidad de una tecnología apta que ayude en la reducción, así como el aprovechamiento de residuos provocados por la población y, de este modo, obtener beneficios de los productos alcanzados (Lohri et al., 2017). Por otro lado, desarrollar novedosas propuestas técnicas de aprovechamiento de los residuos sólidos y orgánicos, con el fin y el objetivo de establecer ventajas tanto ambientales como económicas que conduzcan a un mejoramiento, así como a un saneamiento ecológico y ambiental en múltiples áreas, como, por ejemplo: la de producción de alimentos para animales de corral, las cuales suponen elevados costes para algunas empresas, sobre todo, en aquellas que se dedican a este rubro (Makkar et al., 2014; Smetana et al., 2016), por tanto la aplicación de sus resultados se enfoca en dos campos principales, el primero tiene un enfoque ambiental ya que implica una disminución en el volumen de los residuos orgánicos generados por las diferentes actividades (Lohri et al., 2017), en ese sentido, la población se verá beneficiada en lo económico, puesto que el uso de los residuos orgánicos, puede de algún modo, minimizar los riesgos que traen consigo los residuos, disminuyendo los focos contaminantes, logrando de este modo, mejores condiciones de salud (Diener et al., 2009; Henry et al., 2015).

Otro de los beneficios obtenidos en el presente estudio radica en la adecuada y hasta pertinente gestión por parte de los municipios, en cuanto a su desarrollo. Por otra parte, ofrece otros aspectos, tales como la efectividad de las larvas en cuanto a la degradación de diversos sustratos (como aquellos que se obtienen en los centros urbanos, mercados, restaurantes o de los propios hogares), por lo que esta investigación tiene como objetivo medular:

Determinar la eficacia del tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales como fuente proteica alternativa usando larvas de mosca doméstica (*Musca domestica* L.) en la ciudad de Juliaca. En cuanto a los objetivos específicos, estos se detallan a continuación:

- Estimar el índice de reducción de residuos a través de larvas utilizando como sustratos residuos orgánicos de mercados, domiciliarios y restaurantes en el ámbito de influencia de los principales mercados de abasto de la ciudad de Juliaca.
- Determinar la tasa de crecimiento de las larvas utilizando como sustratos residuos orgánicos de mercados, domiciliarios y restaurantes en el ámbito de influencia de los principales mercados de abasto de la ciudad de Juliaca.
- Calcular el contenido proteico de las larvas obtenidas de la degradación de residuos orgánicos en relación a los sustratos orgánicos de mercados, domiciliarios y restaurantes en el ámbito de influencia de los principales mercados de abasto de la ciudad de Juliaca.

#### **4.1. En cuanto a las hipótesis, estas se describen a continuación**

Los residuos orgánicos municipales son degradados eficazmente a través de las larvas de mosca doméstica (*Musca domestica* L.) y contiene un alto potencial como sustituto nutricional, en la ciudad de Juliaca.

##### **4.1.1. Específicas**

El índice de reducción de residuos orgánicos en cada sustrato es diferente y varía en relación directa al tipo de sustrato orgánico aplicado en el ámbito de influencia de los principales mercados de abasto de la ciudad de Juliaca.

La tasa de crecimiento de las larvas en cada sustrato es diferente y varía en relación directa al tipo de sustrato orgánico aplicado en el ámbito de influencia de los principales mercados de abasto de la ciudad de Juliaca.

El contenido proteico de las larvas obtenidas de la degradación de residuos orgánica de mercado contiene un alto potencial como sustituto nutricional y varia en relación directa al tipo de sustrato aplicado en el ámbito de influencia de los principales mercados de abasto de la ciudad de Juliaca.

#### **4.2. Contexto**

La presente investigación tuvo como escenarios los principales mercados y comercios de la ciudad de Juliaca, ubicada en el Altiplano Peruano distrito de Juliaca, provincia de San Román, departamento de Puno a 3826 msnm en las coordenadas 15° 29' 24'' de latitud sur y 70° 09' 00'' de longitud oeste (MPSR, 2015). Se llevaron a cabo visitas identificación de los lugares clave. La ubicación de los principales abastos y mercado se detallan mejor en la tabla siguiente.

Tabla 6. Principales mercados de abasto de la ciudad de Juliaca

| Coordenadas UTM    |      |           |            |
|--------------------|------|-----------|------------|
| Mercados de abasto | Zona | Este      | Norte      |
| Santa Bárbara      | 19 L | 378040,27 | 8286998,39 |
| Túpac Amaru        | 19 L | 379202,44 | 8287217,14 |
| Las Mercedes       | 19 L | 378009,57 | 8287723,06 |
| Cerro Colorado     | 19 L | 379090,72 | 8285828,45 |

La presente investigación empleó el diseño experimental aleatorio (DCA). En cuanto al diseño fue experimental, la cual se detalla en la siguiente forma:

RG1----→X----→O1

RG2----→X----→O2

RG3----→X----→O3

Donde:

- R: Asignación al azar de los residuos orgánicos
- G1: Grupo 1, definido como residuos orgánicos de mercado antes de recibir el tratamiento.
- G2: Grupo 2, definido como residuos orgánicos de restaurante antes de recibir el tratamiento.
- G3: Grupo 3, definido como residuos orgánicos domiciliarios antes de recibir el tratamiento.
- X: Tratamiento denominado bioconversión con mosca doméstica (*Musca domestica* L.).
- O1: Medición del índice de reducción, tasas de crecimiento y

- contenido proteico después del tratamiento en el grupo 1.
- O2: Medición del índice de reducción, tasas de crecimiento y contenido proteico después del tratamiento en el grupo 2.
  - O3: Medición del índice de reducción, tasas de crecimiento y contenido proteico después del tratamiento en el grupo 3.

### **4.3. En relación a los equipos y materiales estos fueron los siguientes**

Envases de polietileno de alta densidad (20x20 cm), pinzas, crisoles, luna reloj, morteros de porcelana, tamiz, envases de vidrio (Boro 3,3,5), termo-hidrómetro Digital (Boeco HTC-1), GPS de mano (Garmin Map 64s), potenciómetro (Hanna HI 98130), balanza analítica (Kern modelo ABS 220-4N), estufa (Selecta Modelo Conterm 2000200), mufla (Select-Horn modelo TFT), microscopio electrónico (DM-500/Cámara Leica modelo ICC50-W) y Vernier digital (Tool Size modelo Premium 0 – 120 mm).

#### **4.3.1. Reactivos**

Etanol ( $C_2H_5OH$  al 96 %), Agua purificada (QP), hipoclorito de sodio ( $NaClO$  al 10 %), solución buffer pH 4,7 y 10, los reactivos empleados fueron de grado analítico.

### **4.4. Población**

En cuanto a la población estos fueron: aquellos residuos cuyo origen provenían de restaurantes, domicilios y mercados de la ciudad de Juliaca, principalmente de las localidades de Santa Bárbara, Las Mercedes, Cerro Colorado y Túpac Amaru, respectivamente. De los cuales el

77,15 % (residuos orgánicos); 18,45 % (residuos inorgánicos) y, 4,40 % conformados por otros tipos de residuos, tales como: papel sanitario, pañales, entre otros, asimismo, por alimentos o restos de estos, cartón y follaje (Vargas, 2012).

En cuanto a la muestra esta fue de manera aleatoria, tal y como lo señala (Casal & Mateu, 1992). Esta estuvo conformada por 16 kg de residuos, tanto de restaurantes, como de mercados y de domicilio, respectivamente

Se muestrearon 48 kg de manera aleatoria (Casal & Mateu, 1992), la muestra estuvo comprendida por 16 kg por tipo de residuos orgánico (propios de mercado, restaurante y domiciliarios) de los mercados principales de la ciudad de Juliaca (Santa Bárbara, Túpac Amaru, Las Mercedes y Cerro Colorado) con un total de 48 kg, tal como lo indica la siguiente tabla. Además, se obtuvo una muestra de 1 kg por tipo de residuo aplicando el método de cuarteo considerando la guía metodológica para el desarrollo de (MINAM y EC-RSM, 2015).

Tabla 7. Muestra de residuos orgánicos municipales

| <b>Mercados de abasto</b> | <b>Propios de mercado (kg)</b> | <b>Restaurante (kg)</b> | <b>Domiciliario (kg)</b> | <b>Total (kg)</b> |
|---------------------------|--------------------------------|-------------------------|--------------------------|-------------------|
| Santa Bárbara             | 4,02                           | 4,02                    | 4,01                     | 12,05             |
| Túpac Amaru               | 4,01                           | 4,03                    | 4,03                     | 12,07             |
| Las Mercedes              | 4,03                           | 4,01                    | 4,02                     | 12,06             |
| Cerro Colorado            | 4,02                           | 4,02                    | 4,01                     | 12,05             |
| Total                     |                                |                         |                          | 48,23             |

En cuanto al recojo de la información se detalla en la siguiente figura:

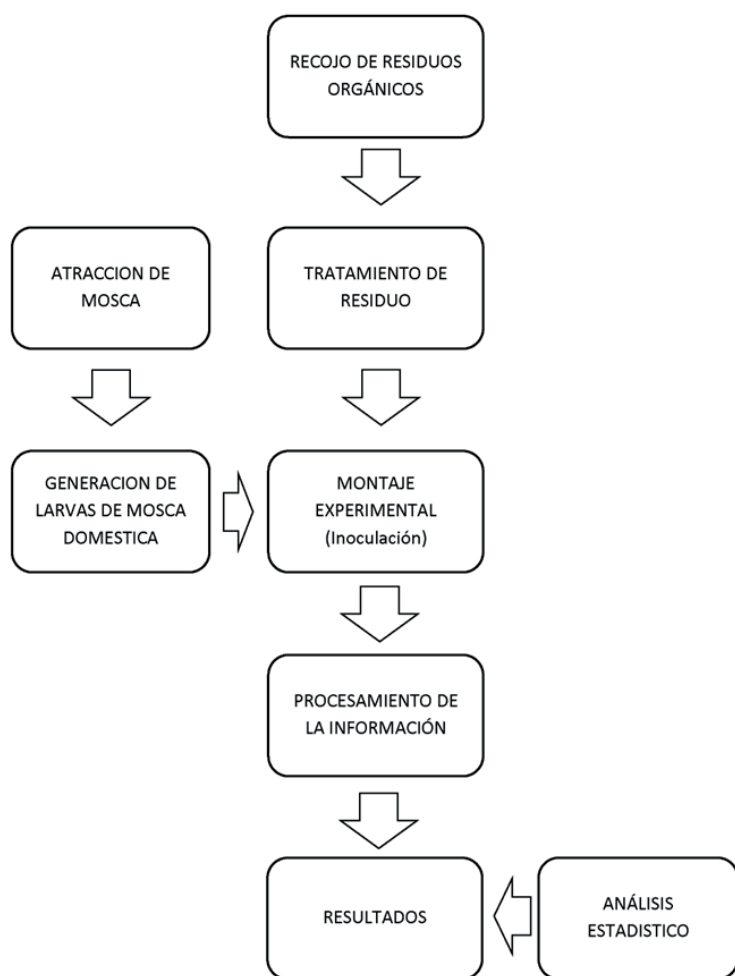


Figura 6. Vista general de la metodología. (IDRS) determinación índice de degradación de residuos sólidos.

El diagrama de flujo para la obtención del índice de reducción de residuos se detalla en la siguiente figura. Este se llevó a cabo en las instalaciones de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal, específicamente en el laboratorio de Biología.

- **Muestreo de residuos sólidos:**

Se recogieron diversos residuos orgánicos de los mercados principales de la ciudad de Juliaca (Santa Bárbara, Túpac Amaru, Las Mercedes y Cerro Colorado) (Vargas, 2012), la muestra estuvo comprendida por 16 kg por tipo de residuos orgánico, las características de los residuos orgánicos se detallan en la tabla siguiente. En cuanto a las coordenadas se registraron con una unidad GPS portátil (Garmin Map 64s), ver tabla siguiente:

Tabla 8. Principales características de los (RO) residuos orgánicos

| <b>Tipo de residuo</b>      | <b>Caracterización de residuos sólidos</b>                                                                                     | <b>Residuo predominante</b> | <b>Porcentaje</b> |
|-----------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------|
| Residuo de Restaurante      | Todos aquellos residuos que se encuentran en un restaurante, tales como: harinas, aceites, papas cocidas, carnes, entre otros. | Papa cocida                 | 20%               |
|                             |                                                                                                                                | Arroz                       | 40%               |
| Residuo de casa o domicilio | Estos van desde cáscaras de verduras, hasta vegetales, tomates, y arvejas                                                      | Cáscara de papa             | 40%               |
|                             |                                                                                                                                | Papa cocida                 | 20%               |
| Residuo de mercado          | Todos aquellos residuos como: duraznos, sandías, piña, restos de animales de corral, naranjas, mandarinas, plátano y lechugas  | Lechuga                     | 30%               |
|                             |                                                                                                                                | Naranja                     | 25%               |

- **Clasificación y homogenización de residuos orgánicos**

Buena parte de los residuos a ser reutilizados fueron clasificados tomando en cuenta su procedencia, todo ello, con la finalidad de ofrecer una idea de la naturaleza de la mezcla, en ese sentido, se formó una pila con residuos orgánicos de mercado con el objetivo de homogenizar la muestra, esta pila se organizó y se dividió en cuatro partes (método de

cuarteo) y se escogieron las dos partes opuestas, ver figura 7; todo ello con la idea de formar una nueva pila, pero más pequeña. Luego la muestra menor se volvió a mezclar y dividir en cuatro partes, este procedimiento se hizo varias veces hasta obtener una muestra considerable, además de manejable por los investigadores 1 kg (MINAM, 2015). Esta dinámica de igual forma se llevó a cabo con aquellos residuos provenientes, tanto del mercado como el residencial.

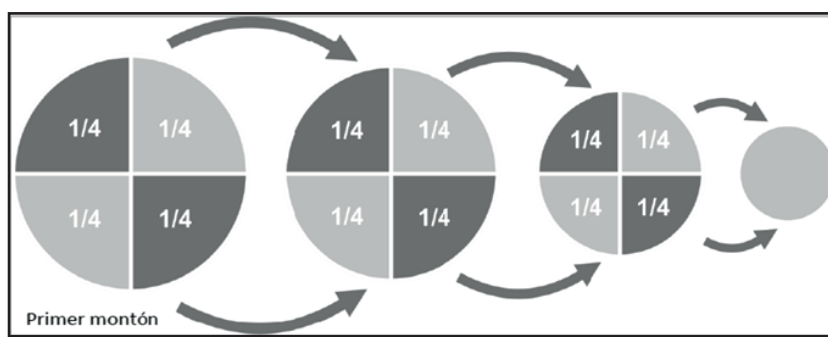


Figura 7. Método de cuarteo para obtener la muestra de residuos sólidos: adaptado de la guía metodológica para el desarrollo de EC-RSM

Fuente: MINAM, (2015).

#### - Reducción de población de (RO) residuos orgánicos

Para efectos de que la muestra fuese manejable, esta se trituroó empleando un molino manual, todo ello, con el fin de obtener una homogeneización del tamaño de la muestra de la materia prima. La muestra manejable fue triturada usando un molino manual con el fin de homogenizar el tamaño de la materia prima, a partir de entonces se buscó obtener una pasta uniforme añadiendo agua destilada, con el propósito de aumentar el área de superficie para alimentar a las larvas de mosca doméstica (Bonso, 2013).

## - Acondicionamiento

Para este procedimiento se emplearon 9 bandejas de plástico, cada una de ellas con una capacidad de 6 kg, para permitir una mayor circulación, así como flujo de aire. De igual modo, se hicieron unos agujeros en la tapa y se colocaron mosquitera entre las tapas y los recipientes de plástico, todo ellos con el fin de crear una medida y de esta manera, controlar otra intrusión de insectos, el tratamiento fue por triplicado para cada tipo de residuo (Diener et al., 2009).

Para mantener la temperatura en 20 °C, el área de experimentación contó con un aislador térmico (Tecnopor) de este modo para permitir el óptimo crecimiento, así como el desarrollo de las larvas (Hussein et al., 2017), en la tabla siguiente, se detallan tales condiciones de experimentación. Es importante destacar, así como mencionar que la ideal temperatura para el desarrollo y crecimiento de la larva de *musca domestica* oscila entre los 20°C y 28°C (Siri et al., 2005).

Tabla 9. Condiciones del proceso de experimentación en laboratorio

| Tipo de residuo         | T  | Tiempo (días) | pH pre tratamiento | Mañana    |                        | Tarde     |                        |
|-------------------------|----|---------------|--------------------|-----------|------------------------|-----------|------------------------|
|                         |    |               |                    | Temp (°C) | Hu-medad Relati-va (%) | Temp (°C) | Hu-medad Relati-va (%) |
| Residuos de mercado     | T1 | 9             | 5,4                | 15 a 21   | 35                     | 21 a 25   | 27                     |
|                         | T1 | 9             | 5,2                |           |                        |           |                        |
|                         | T1 | 9             | 5,3                |           |                        |           |                        |
| Residuos de restaurante | T2 | 9             | 6,0                | 15 a 21   | 35                     | 21 a 25   | 27                     |
|                         | T2 | 9             | 6,2                |           |                        |           |                        |
|                         | T2 | 9             | 6,1                |           |                        |           |                        |
| Residuos domiciliarios  | T3 | 9             | 6,3                | 15 a 21   | 35                     | 21 a 25   | 27                     |
|                         | T3 | 9             | 6,1                |           |                        |           |                        |
|                         | T3 | 9             | 6,0                |           |                        |           |                        |

## - Atracción de larvas

Con el fin de determinar cuál es el más idóneo atrayente se empleó la *matriz de selección*, donde se evaluó al mejor atrayente de la *musca domestica* considerando parámetros como: sanidad, capacidad de atracción y costos, ver tabla siguiente, en consecuencia, se concluyó que el atrayente más efectivo fue la cabeza de res, tanto para generar, como atraer larvas de mosca doméstica (Bonso, 2013)

Tabla 10. Matriz de selección del atrayente de mosca doméstica

| Parámetros             | Matriz de selección del atrayente |              |                |                  |
|------------------------|-----------------------------------|--------------|----------------|------------------|
|                        | Cabeza de res                     | Carne de res | Carne de pollo | Carne de cordero |
| Costo                  | Bajo                              | Medio        | Medio          | Medio            |
| Sanidad                | Medio                             | Medio        | Medio          | Medio            |
| Capacidad de atracción | Alto                              | Medio        | Bajo           | Medio            |

## - Generación de larvas

Con el fin mantener la humedad y crear un ambiente propicio con flujos de aire (Rumpold y Schluter, 2013) se envolvió el atrayente (cabeza de res) con una envoltura hermética. Luego de este procedimiento se dio la generación de larvas entre el tercer y quinto día posterior a la exposición del atrayente, luego de esto se añadieron 8 kg de cabeza de res, en donde la infestación con larvas de mosca se manifestó entre segundo y tercer día, y se encontraban presto para ser inoculadas en los residuos sólidos (Hussein et al., 2017), además fue determinante mantener el sustrato húmedo y no mojado a rangos entre 60 - 70 %, para evitar que el medio se torne anaeróbico y las larvas pueden sucumbir por asfixia (Trulli et al., 2018).

#### **- Inoculación de larvas de mosca doméstica**

Luego de este procedimiento en cuanto a la generación de la larva y de selección de muestras de residuos orgánicos, se procedió a la determinación del sustrato más efectivo en cuanto a crecimiento de las larvas (Bonso, 2013), para ello fueron seleccionados como sustratos de estudio los residuos orgánicos tanto de restaurantes, de domicilios y del mercado donde se inocularon 25 g de larvas de mosca doméstica (625 larvas, aproximadamente) en 1 kg de residuo orgánico triturado, a parte, se le colocó una faja negra en las paredes de los recipientes para evitar la incidencia de luz en las bandejas (Čičková et al., 2012), al encontrarse en el último estadio larval, busca la luz y menores valores de humedad, así como temperaturas más bajas para posteriormente interrumpir la alimentación (Faz y Meneses, 2007).

#### **- Estimación del índice de reducción de residuos sólidos**

Este procedimiento consistió en evaluar el peso de las bandejas de forma diaria, con la finalidad de:

Determinar la degradación de residuos mediante larvas a lo largo de su periodo de vida (Bonso, 2013); tal registro de medición se muestra en la siguiente tabla y, finalmente se valoró tanto el índice de reducción de residuos (WRI) (Diener et al., 2009), como la evaluación de la eficiencia en la conversión de alimentos ingeridos (ECI) (Scriber & Slansky, 1981), las fórmulas de cálculo se encuentran detalladas tanto en la ecuación 1 como en la 2, respectivamente.

Tabla 11. Degradación de residuos sólidos a través de larvas de mosca doméstica

| Tipo de residuos       | Tratamiento | Degradación en días (g) |        |        |       |       |       |       |       |       |       |
|------------------------|-------------|-------------------------|--------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
|                        |             | Día 0                   | Día 1  | Día 2  | Día 3 | Día 4 | Día 5 | Día 6 | Día 7 | Día 8 | Día 9 |
| Residuo de mercado     | T1          | 1025,0                  | 1024,8 | 992,4  | 973,4 | 965,6 | 959,7 | 952,3 | 943,2 | 934,0 | 927,8 |
|                        | T1          | 1025,0                  | 1024,3 | 994,3  | 976,9 | 959,1 | 954,1 | 949,8 | 941,5 | 932,2 | 926,3 |
|                        | T1          | 1025,0                  | 1023,5 | 992,1  | 971,8 | 956,0 | 950,0 | 957,5 | 950,8 | 941,6 | 935,9 |
| Residuo de restaurante | T2          | 1025,0                  | 1023,6 | 1002,3 | 996,3 | 989,3 | 986,8 | 984,3 | 978,0 | 971,6 | 968,6 |
|                        | T2          | 1025,0                  | 1024,2 | 1003,7 | 997,2 | 991,0 | 988,1 | 985,1 | 978,0 | 971,2 | 967,6 |
|                        | T2          | 1025,0                  | 1022,8 | 1003,5 | 996,5 | 990,7 | 987,9 | 985,0 | 979,7 | 974,0 | 970,2 |
| Residuo domiciliario   | T3          | 1025,0                  | 1017,9 | 991,5  | 977,9 | 961,1 | 956,7 | 953,7 | 937,5 | 926,9 | 922,4 |
|                        | T3          | 1025,0                  | 1018,6 | 990,6  | 979,1 | 959,3 | 954,6 | 944,0 | 929,1 | 918,6 | 913,1 |
|                        | T3          | 1025,0                  | 1019,5 | 990,0  | 980,1 | 961,4 | 956,5 | 949,0 | 935,4 | 923,5 | 917,4 |

En la tabla 12 y 13 se detallan los resultados obtenidos del índice de reducción de residuos sólidos (WRI) así como la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI).

Tabla 12. Determinación de índice de reducción de residuos sólidos (WRI)

| Tipo de residuos       | Recipiente | Degradación efectiva (g) | Degradación total $D = (W - tf) / W$ | Degradación total promedio $D = (W - tf) / W$ | Índice de reducción (% día) $WRI = D / t \times 100$ | Promedio índice de reducción (% día) $WRI = D / t \times 100$ |
|------------------------|------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| Residuo de mercado     | T1         | 97,2                     | 0,09483                              | 0,09268                                       | 112,304                                              | 116,748                                                       |
|                        | T1         | 98,7                     | 0,09629                              |                                               | 116,640                                              |                                                               |
|                        | T1         | 89,1                     | 0,08693                              |                                               | 121,301                                              |                                                               |
| Residuo de restaurante | T2         | 56,4                     | 0,05502                              | 0,05483                                       | 0,61138                                              | 0,60921                                                       |
|                        | T2         | 57,4                     | 0,05600                              |                                               | 0,62222                                              |                                                               |
|                        | T2         | 54,8                     | 0,05346                              |                                               | 0,59404                                              |                                                               |
| Residuo domiciliario   | T3         | 102,6                    | 0,10010                              | 0,10475                                       | 105,366                                              | 102,981                                                       |
|                        | T3         | 111,9                    | 0,10917                              |                                               | 106,992                                              |                                                               |
|                        | T3         | 107,6                    | 0,10498                              |                                               | 0,96585                                              |                                                               |

Tabla 13. Determinación de la eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI)

| Eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI)= [GP / AI]*100 |                  |                  |                       |                              |        |               |
|--------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|-----------------------|------------------------------|--------|---------------|
| Tipo de residuo                                                          | Trata-<br>miento | Tiempo<br>(días) | Ganancia<br>peso prom | Degrada-<br>ción<br>efectiva | ECI %  | PROM<br>ECI % |
| Residuo de<br>mercado                                                    | T1               | 9                | 8,987                 | 97,2                         | 0,0924 | 0,0947 %      |
|                                                                          | T1               | 9                | 9,062                 | 98,7                         | 0,0918 |               |
|                                                                          | T1               | 9                | 8,900                 | 89,1                         | 0,0998 |               |
| Residuo de<br>restaurante                                                | T2               | 9                | 6,227                 | 56,4                         | 0,1104 | 0,1066 %      |
|                                                                          | T2               | 9                | 6,025                 | 57,4                         | 0,1049 |               |
|                                                                          | T2               | 9                | 5,725                 | 54,8                         | 0,1044 |               |
| Residuo<br>domiciliario                                                  | T3               | 9                | 12,050                | 102,6                        | 0,1174 | 0,1184 %      |
|                                                                          | T3               | 9                | 10,537                | 111,9                        | 0,0941 |               |
|                                                                          | T3               | 9                | 15,450                | 107,6                        | 0,1435 |               |

En la figura siguiente se detalla el diagrama de flujo para la determinación del índice de reducción.

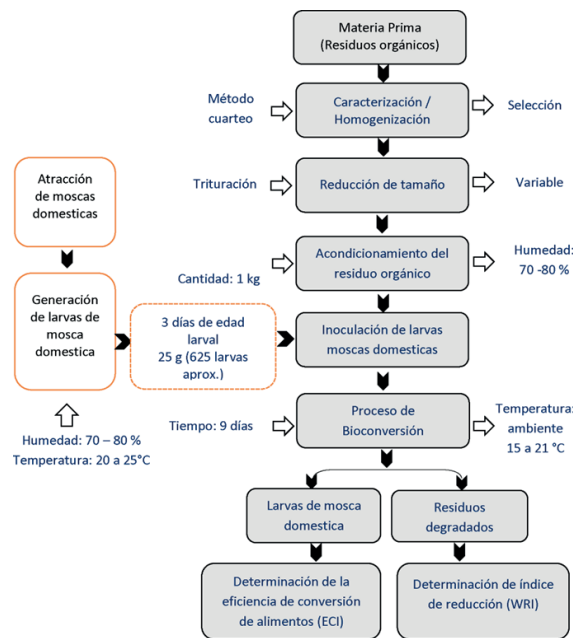


Figura 8. Diagrama de flujo para la determinación del índice de reducción de residuos (WRI).

## *Determinación de la tasa de crecimiento de las larvas de mosca doméstica*

### - **Evaluación de peso y talla**

Se procedió a registrar el peso, así como la longitud de las larvas de mosca doméstica al inicio y al final del proceso de bioconversión, también se evaluaron 5 larvas por bandeja, para ello se utilizó un Vernier digital y una balanza analítica (Bonso, 2013), estos procedimientos en el laboratorio de Biología de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal (EPIAF) de la Universidad Nacional de Juliaca.

### - **Determinación de tasas de crecimiento**

Para determinar las tasas de crecimiento absoluta (TAC) y relativo (TCR) se procedió a evaluar por dieta de acuerdo a las fórmulas propuestas por Wootton (1991). Asimismo, se evaluó la tasa instantánea de crecimiento, conocida también como tasa de específica de crecimiento (TCE), las fórmulas de cálculo se encuentran detalladas en la ecuación 3, 4 y 5. Los resultados obtenidos de las tasas de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) se detallan en las tablas 14, 15, 16, 17, 18 y 19, respectivamente.

Tabla 14. Determinación de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) de las larvas de mosca doméstica – longitud

| Tipo de residuos       | Tratamiento | Unidad | TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO TALLA - TAC= (Y2 - Y1)/ (T2 - T1) |        |        |        |        |        |            |
|------------------------|-------------|--------|----------------------------------------------------------------|--------|--------|--------|--------|--------|------------|
|                        |             |        | R1                                                             | R2     | R3     | R4     | R5     | Prom   | Prom final |
| Residuo de mercado     | T1          | L      | 0,0066                                                         | 0,0118 | 0,0190 | 0,0148 | 0,0258 | 0,0156 | 0,0160     |
|                        | T1          | L      | 0,0106                                                         | 0,0083 | 0,0152 | 0,0183 | 0,0274 | 0,0160 |            |
|                        | T1          | L      | 0,0046                                                         | 0,0242 | 0,0284 | 0,0111 | 0,0146 | 0,0166 |            |
| Residuo de restaurante | T2          | L      | 0,0152                                                         | 0,0284 | 0,0228 | 0,0188 | 0,0266 | 0,0224 | 0,0219     |
|                        | T2          | L      | 0,0236                                                         | 0,0222 | 0,0170 | 0,0208 | 0,0243 | 0,0216 |            |
|                        | T2          | L      | 0,0258                                                         | 0,0296 | 0,0169 | 0,0144 | 0,0232 | 0,0220 |            |
| Residuo domiciliario   | T3          | L      | 0,0429                                                         | 0,0320 | 0,0328 | 0,0418 | 0,0334 | 0,0366 | 0,0332     |
|                        | T3          | L      | 0,0368                                                         | 0,0268 | 0,0387 | 0,0362 | 0,0289 | 0,0335 |            |
|                        | T3          | L      | 0,0259                                                         | 0,0329 | 0,0314 | 0,0300 | 0,0286 | 0,0298 |            |

Tabla 15. Determinación Tasa absoluta de crecimiento (TAC) de las larvas de mosca doméstica - peso

| Tipo de residuos       | Tratamiento | Unidad | TASA ABSOLUTA DE CRECIMIENTO PESO - TAC= (Y2 - Y1)/ (T2 - T1) |         |         |         |         |          |            |
|------------------------|-------------|--------|---------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|----------|------------|
|                        |             |        | R1                                                            | R2      | R3      | R4      | R5      | Prom     | Prom final |
| Residuo de mercado     | T1          | P      | 0,00178                                                       | 0,00122 | 0,00178 | 0,00156 | 0,00166 | 0,001598 | 0,001597   |
|                        | T1          | P      | 0,00100                                                       | 0,00177 | 0,00223 | 0,00129 | 0,00177 | 0,001611 |            |
|                        | T1          | P      | 0,00168                                                       | 0,00229 | 0,00168 | 0,00144 | 0,00082 | 0,001582 |            |
| Residuo de restaurante | T 2         | P      | 0,00099                                                       | 0,00122 | 0,00130 | 0,00092 | 0,00110 | 0,001107 | 0,001065   |
|                        | T2          | P      | 0,00166                                                       | 0,00013 | 0,00133 | 0,00089 | 0,00134 | 0,001071 |            |
|                        | T2          | P      | 0,00043                                                       | 0,00199 | 0,00052 | 0,00126 | 0,00089 | 0,001018 |            |
| Residuo domiciliario   | T3          | P      | 0,00299                                                       | 0,00152 | 0,00178 | 0,00250 | 0,00192 | 0,002142 | 0,002254   |
|                        | T3          | P      | 0,00156                                                       | 0,00174 | 0,00238 | 0,00187 | 0,00182 | 0,001873 |            |
|                        | T3          | P      | 0,00159                                                       | 0,00378 | 0,00286 | 0,00270 | 0,00281 | 0,002747 |            |

Tabla 16. Determinación tasa relativa de crecimiento (TRC) de larvas de mosca doméstica – longitud

| Tipo de residuos       | Tratamiento | Unidad | TASA RELATIVA DE CRECIMIENTO TALLA - ((Y2 -Y1)/Y1 (t2 -t1 )x100 |         |       |         |       |                |       |
|------------------------|-------------|--------|-----------------------------------------------------------------|---------|-------|---------|-------|----------------|-------|
|                        |             |        | R1                                                              | R2      | R3    | R4      | R5    | Prom Promfinal |       |
| Residuo de mercado     | T1          | L      | 0,569 %                                                         | 0,970 % | 1652% | 1314%   | 2255% | 1352%          | 1348% |
|                        | T1          | L      | 0,869 %                                                         | 0,667 % | 1194% | 1539%   | 2330% | 1320%          |       |
|                        | T1          | L      | 0,347 %                                                         | 2029%   | 2461% | 0,871 % | 1159% | 1373%          |       |
| Residuo de restaurante | T 2         | L      | 1274%                                                           | 2528%   | 1989% | 1599%   | 2297% | 1938%          | 1892% |
|                        | T 2         |        |                                                                 |         |       |         |       |                |       |
|                        | T2          | L      | 1965%                                                           | 1837%   | 1466% | 1696%   | 2105% | 1814%          |       |
| Residuo domiciliario   | T2          | L      | 2259%                                                           | 2675%   | 1443% | 1229%   | 2014% | 1924%          | 2846% |
|                        | T3          | L      | 3583%                                                           | 2850%   | 2850% | 3556%   | 2903% | 3148%          |       |
|                        | T3          | L      | 3310%                                                           | 2209%   | 3362% | 3220%   | 2536% | 2928%          |       |
|                        | T3          | L      | 2126%                                                           | 2745%   | 2618% | 2449%   | 2368% | 2461%          |       |

Tabla 17. Determinación de la tasa relativa de crecimiento (TRC) de larvas de mosca doméstica – peso

| Tipo de residuos   | Tratamiento | Unidad | TASA RELATIVA DE CRECIMIENTO PESO - ((Y2 -Y1)/Y1 (t2 -t1 )x100 |       |       |       |       |       |            |
|--------------------|-------------|--------|----------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|------------|
|                    |             |        | R1                                                             | R2    | R3    | R4    | R5    | Prom  | Prom final |
| Residuo de mercado | T1          | P      | 5698%                                                          | 3693% | 5538% | 4938% | 5206% | 5015% | 4556%      |
|                    | T1          | P      | 2695%                                                          | 5019% | 6187% | 3531% | 4894% | 4465% |            |
|                    | T1          | P      | 4920%                                                          | 6448% | 4092% | 3481% | 2001% | 4188% |            |

| Tipo de residuos       | Tratamiento | Unidad | TASA RELATIVA DE CRECIMIENTO PESO - ((Y2 - Y1)/Y1 (t2 - t1) x100 |         |       |       |       |       |            |
|------------------------|-------------|--------|------------------------------------------------------------------|---------|-------|-------|-------|-------|------------|
|                        |             |        | R1                                                               | R2      | R3    | R4    | R5    | Prom  | Prom final |
| Residuo de restaurante | T 2         | P      | 2338%                                                            | 3126%   | 3210% | 2244% | 2709% | 2725% | 2593%      |
|                        | T2          | P      | 3932%                                                            | 0,325 % | 3244% | 2142% | 3271% | 2583% |            |
|                        | T2          | P      | 1054%                                                            | 4816%   | 1261% | 3062% | 2163% | 2471% |            |
| Residuo domiciliario   | T3          | P      | 7049%                                                            | 3722%   | 4294% | 6024% | 4666% | 5151% | 5481%      |
|                        | T3          | P      | 3948%                                                            | 4508%   | 6176% | 4823% | 4733% | 4838% |            |
|                        | T3          | P      | 3765%                                                            | 8765%   | 6719% | 6398% | 6630% | 6455% |            |

Tabla 18. Determinación de la tasa específica de crecimiento (TEC) en longitud de larvas de mosca doméstica

| Tipo de residuos       | Tratamiento | Unidad | TASA ESPECIFICA DE CRECIMIENTO - TEC = 100 * {[ln (WF) - ln (WD)] / t} |         |         |         |         |       |            |
|------------------------|-------------|--------|------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|------------|
|                        |             |        | Larva 1                                                                | Larva 2 | Larva 3 | Larva 4 | Larva 5 | Prom  | Prom final |
| Residuo de mercado     | T1          | P      | 0,5545                                                                 | 0,9301  | 15,403  | 12,416  | 20,533  | 1264% | 1258%      |
|                        | T1          | P      | 0,8365                                                                 | 0,6474  | 11,340  | 14,415  | 21,150  | 1235% |            |
|                        | T1          | P      | 0,3422                                                                 | 18,633  | 22,227  | 0,8390  | 11,023  | 1274% |            |
| Residuo de restaurante | T 2         | P      | 12,059                                                                 | 22,781  | 18,300  | 14,943  | 20,881  | 1779% | 1741%      |
|                        | T2          | P      | 18,090                                                                 | 16,997  | 13,766  | 15,785  | 19,276  | 1678% |            |
|                        | T2          | P      | 20,566                                                                 | 23,966  | 13,571  | 11,659  | 18,510  | 1765% |            |
| Residuo domiciliario   | T3          | P      | 31,056                                                                 | 25,366  | 25,372  | 30,848  | 25,792  | 2769% | 2528%      |
|                        | T3          | P      | 28,975                                                                 | 20,151  | 29,374  | 28,274  | 22,845  | 2592% |            |
|                        | T3          | P      | 19,449                                                                 | 24,534  | 23,510  | 22,132  | 21,464  | 2222% |            |

Tabla 19. Determinación de la tasa específica de crecimiento (TEC) en peso de larvas de mosca doméstica

| Tipo de residuos       | Tratamiento | Unidad | TASA ESPECIFICA DE CRECIMIENTO - TEC = 100 * {[ln (WF) - ln (WD)] / t} |         |         |         |         |       |            |
|------------------------|-------------|--------|------------------------------------------------------------------------|---------|---------|---------|---------|-------|------------|
|                        |             |        | Larva 1                                                                | Larva 2 | Larva 3 | Larva 4 | Larva 5 | Prom  | Prom final |
| Residuo de mercado     | T1          | P      | 0,0460                                                                 | 0,0319  | 0,0449  | 0,0409  | 0,0427  | 4127% | 3783%      |
|                        | T1          | P      | 0,0241                                                                 | 0,0414  | 0,0492  | 0,0307  | 0,0406  | 3719% |            |
|                        | T1          | P      | 0,0407                                                                 | 0,0508  | 0,0348  | 0,0303  | 0,0184  | 3502% |            |
| Residuo de restaurante | T 2         | P      | 0,0212                                                                 | 0,0275  | 0,0282  | 0,0204  | 0,0242  | 2433% | 2294%      |
|                        | T2          | P      | 0,0337                                                                 | 0,0032  | 0,0285  | 0,0196  | 0,0287  | 2272% |            |
|                        | T2          | P      | 0,0101                                                                 | 0,0400  | 0,0119  | 0,0270  | 0,0198  | 2177% |            |
| Residuo domiciliario   | T3          | P      | 0,0546                                                                 | 0,0321  | 0,0363  | 0,0481  | 0,0390  | 4202% | 4416%      |
|                        | T3          | P      | 0,0338                                                                 | 0,0378  | 0,0491  | 0,0401  | 0,0394  | 4004% |            |
|                        | T3          | P      | 0,0324                                                                 | 0,0646  | 0,0525  | 0,0505  | 0,0520  | 5042% |            |

El siguiente diagrama de flujo se elaboró con el fin de determinación de tasas de crecimiento de larvas de mosca doméstica, los detalles se muestran en la figura siguiente.

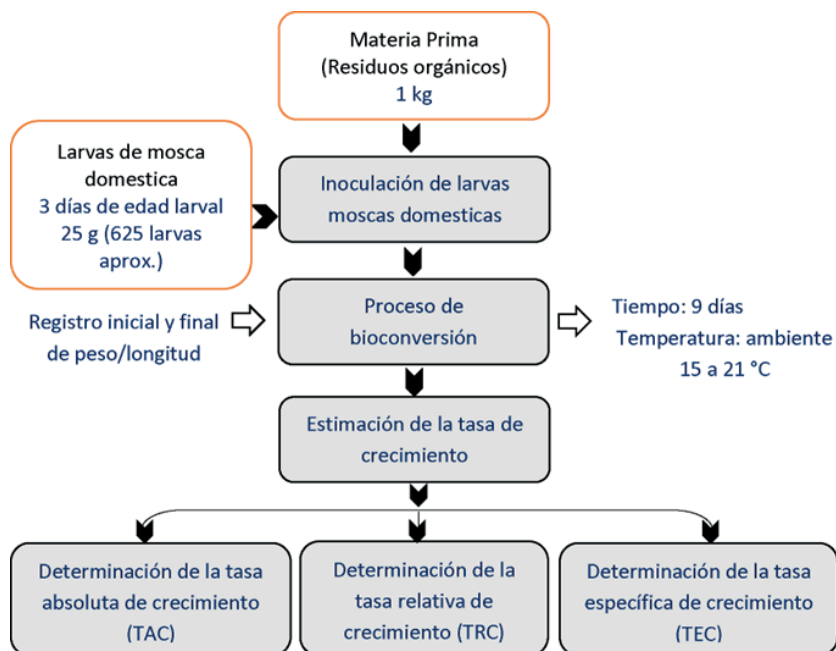


Figura 9. Diagrama de flujo para la determinación de tasas de crecimiento de larvas de mosca doméstica.

#### 4.5. Cálculo del contenido proteico de las larvas de mosca doméstica.

##### - Obtención de larvas

Finalizado el proceso de bioconversión, se llevó a cabo la selección de larvas de mosca del sustrato, para ello se usaron mallas de tamizaje, así como pinzas (Bonso, 2013).

#### - **Secado y lavado de larvas**

Con el fin de erradicar los restos de residuos orgánicos, se procedió a lavar con agua destilada repetidamente. Finalmente las larvas se secaron a 85 °C durante un lapso de 8 horas, se dejó enfriar y nuevamente se pesó (Aquino-Gil et al., 2013).

#### - **Rebaja de tamaño y homogenización**

Con el objetivo de rebajar el tamaño se empleó un mortero para llevar al proceso de molienda, homogenización, conservación y rotulado (Arango, Vergara, & Mejía, 2004), todo ellos se llevaron a cabo en las instalaciones del laboratorio de Biología de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal (EPIAF) de la Universidad Nacional de Juliaca.

#### - **Estudios de nutrientes**

Con el fin de analizar el contenido proteico contenido en las larvas se llevó a cabo un análisis en las instalaciones del laboratorio en una entidad certificada por el INACAL denominada Laboratorios Analíticos del Sur (laboratorio de ensayo acreditado por la dirección de acreditación del INACAL con Registro N° LE - 050), ubicado en el Parque Industrial Rio Seco C-1 Cerro Colorado, Arequipa - Perú. El estudio determinó la calidad de los alimentos o materias primas a partir de sus nutrientes o compuestos naturales (Pieterse & Pretorius, 2014). Los resultados obtenidos de los estudios permitieron establecer la calidad de los componentes en las materias primas; dicho método es bien conocido como (AQP) o análisis químico proximal (AQP). Dicho estudio es capaz de determinar no solo contenido de humedad, sino otros, tales como: extracto libre de nitrógeno, cenizas, proteínas, fibras y grasas (Association of Official Analytical Chemists, 2019).

En la tabla siguiente se puede visualizar dicho análisis cuyo objetivo radica en analizar los nutrientes en larvas de mosca doméstica. Asimismo, los resultados se detallan en la tabla 21 y 22, respectivamente.

Tabla 20. Método de ensayo aplicado para el análisis de nutrientes en larvas de mosca doméstica

| Método de ensayo aplicado |                                                                                                       |
|---------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| *5012                     | Método de ensayo para la determinación de metales pesados en alimentos (calcio y Fosforo) por ICP OES |
| *5022                     | Método de ensayo para la determinación de humedad en alimentos                                        |
| *5027                     | Método de ensayo para la determinación de las cenizas en alimentos                                    |
| *5037                     | Método de ensayo de proteínas por destilación Kjeldahl                                                |

Nota. Adaptado de Laboratorios Analíticos del Sur (2018)

En la figura siguiente se muestra el diagrama de flujos con el fin de determinar el contenido nutricional de larvas de mosca doméstica.

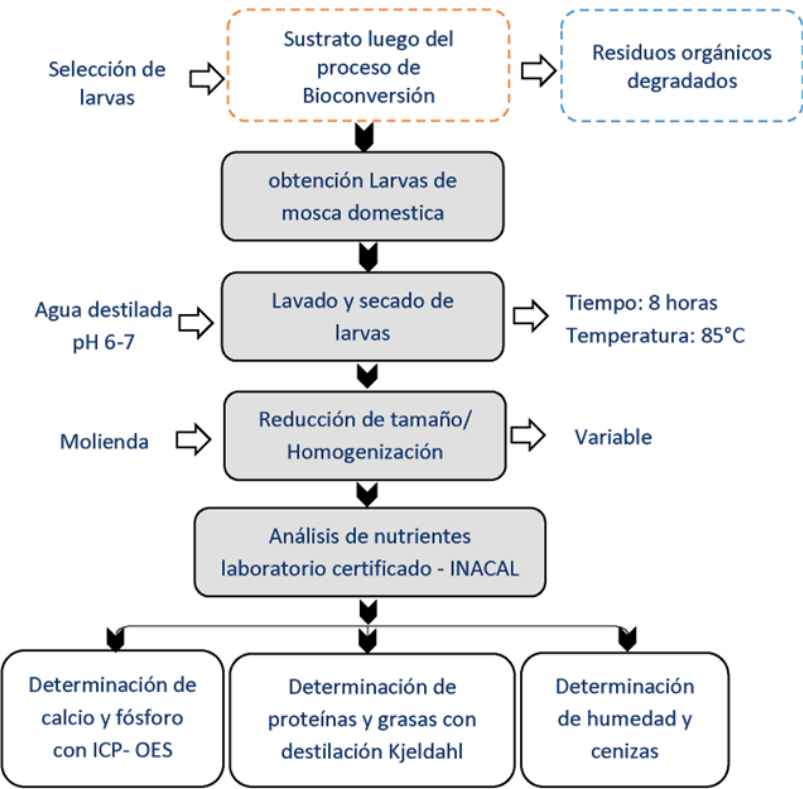


Figura 10. Diagrama de flujo

## 4.6. Estudio estadístico

Para el estudio estadístico se aplicó el Análisis de varianza (ANOVA) con un diseño completamente aleatorio (DCA) el objetivo consistía en comprobar las diferencias más relevantes de las medias de los tratamientos, de manera que todos los análisis fueron realizados a un nivel de confianza del 95 %, siendo el nivel de significancia del 5 %. Para ello se empleó el Software SPSS versión 25,0 y Minitab versión 18,1,0.

### 4.6.1. Modelo estadístico relacionado al diseño de estudio

$$Y_{ij} = \mu + \tau_i + E_{ij}$$

$$i = 1, 2, 3, \dots, t$$

$$j = 1, 2, 3, \dots, n$$

Donde

- $Y_{ij}$  = Variable respuesta en la j-ésima repetición del i-ésimo tratamiento
- $\mu$  = Media general
- $\tau_i$  = Efecto del tratamiento i
- $E_{ij}$  = Es el error experimental de la unidad ij

### 4.6.2. Variación angular

En el análisis estadístico resultó indispensable acondicionar los datos a la variación angular o arcoseno, el arcoseno se usa en datos que se acercan más a una distribución binomial como los porcentajes conteos, la variación angular formaliza la distribución de los datos, así como estabiliza las varianzas respectivas Estos son dos supuestos destacables al emplear estudios estadísticos como el ANOVA o la regresión (Montgomery, 2004).

## 4.7. Variables de la investigación

### 4.7.1. Variable independiente

Residuos orgánicos municipales.

### 4.7.2. Variable dependiente

Operatividad de larvas de (*Musca domestica* L.).

## 4.8. Parámetros de las variables

Tabla 21. Variables dependientes de investigación

| Variable                                                          | Dimensión             | Indicadores                                              | Unidad          |
|-------------------------------------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------------------------|-----------------|
| Variable dependiente<br><br>Eficacia de larvas de mosca doméstica | Índice de degradación | Índice de Reducción de Residuos (WRI)                    | %/día           |
|                                                                   |                       | Eficiencia en la conversión de alimentos ingeridos (ECI) | %               |
|                                                                   | Tasa de crecimiento   | Tasa específica de crecimiento (TEC)                     | %/día           |
|                                                                   |                       | Tasa absoluta de crecimiento (TAC)                       | mg/día – mm/día |
|                                                                   |                       | Tasa relativa de crecimiento (TCR)                       | %/día           |
|                                                                   | Contenido proteico    | - Humedad                                                | %               |
|                                                                   |                       | - Proteína                                               | %               |
|                                                                   |                       | - Grasa                                                  | %               |
|                                                                   |                       | - Cenizas                                                | %               |
|                                                                   |                       | - Calcio                                                 | %               |
|                                                                   |                       | - Fósforo                                                | %               |

## 4.9. Resultados y discusión

### 4.9.1. Degradación de residuos sólidos

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la degradación de residuos sólidos mediante el empleo de larvas de mosca doméstica. Esta se logró evaluar pasado 9 días de experimentación, que corresponde

al ciclo de vida de larvas de mosca doméstica. En este proceso se lograron inocular 625 larvas de mosca doméstica cuyo peso era de 25 g. En cuanto a los residuos domiciliarios (RD) presentó una mayor degradación efectiva con 107,4 g siendo este el mejor tratamiento, seguido de residuos de mercado (RM) con 95 g y por último los residuos de restaurante con 56,2 g, esto indicó que las larvas tienen una degradación diferente en relación al tipo de sustrato, además la mayor eficiencia se presentó en residuos domiciliarios (RD) donde las larvas se degradaron hasta 4 veces su peso en un ciclo de vida de 9 días que corresponde al ciclo vital de los insectos.

Tabla 22. Degradación efectiva y total de residuos sólidos

| Residuo orgánico        | T  | Degradación efectiva (g) | Promedio degradación efectiva (g) | Degradación total | Índice de reducción WRI (%/día) | Promedio índice de reducción (%/día) |
|-------------------------|----|--------------------------|-----------------------------------|-------------------|---------------------------------|--------------------------------------|
| Residuos de mercado     | T1 | 97,2                     | 95,0                              | 0,0948            | 1,1230                          | 1,1674                               |
|                         | T1 | 98,7                     |                                   | 0,0962            | 1,1664                          |                                      |
|                         | T1 | 89,1                     |                                   | 0,0869            | 1,2130                          |                                      |
| Residuos de restaurante | T2 | 56,4                     | 56,2                              | 0,0550            | 0,6113                          | 0,6092                               |
|                         | T2 | 57,4                     |                                   | 0,0560            | 0,6222                          |                                      |
|                         | T2 | 54,8                     |                                   | 0,0534            | 0,5940                          |                                      |
| Residuos domiciliarios  | T3 | 102,6                    | 107,4                             | 0,1001            | 1,0536                          | 1,0298                               |
|                         | T3 | 111,9                    |                                   | 0,1091            | 1,0699                          |                                      |
|                         | T3 | 107,6                    |                                   | 0,1049            | 0,9658                          |                                      |

Según Čičková et al. (2012), quien utilizó larvas de mosca doméstica en la degradación residuos de estiércol, logro una disminución entre 180 a 650 g, el tratamiento duró entre 6 a 11 días, una cantidad muy superior a lo reportado en la presente investigación, donde la mayor degradación efectiva se efectuó en residuos domiciliarios con una degradación promedio de 107,367 g, según Michel et al. (2004), esta disparidad entre los resultados se debe a factores como la humedad del material,

aireación, temperatura y pH. Otro hallazgo importante fue reportado por Diener et al. (2011), quien logró una tasa de alimentación diaria de 0,507 g/larva/día en residuos orgánicos municipales con larvas de mosca soldado negro, degradando un total de 17 g en un periodo de 34 días, un valor inferior a los datos reportados en esta investigación. Sin embargo, las larvas alimentadas con gran cantidad de sustrato consumen menos fracción de la que no es beneficioso en términos de aplicación para la reducción de residuos por lo que sería fundamental establecer una tasa de alimentación (Manurung et al., 2016).

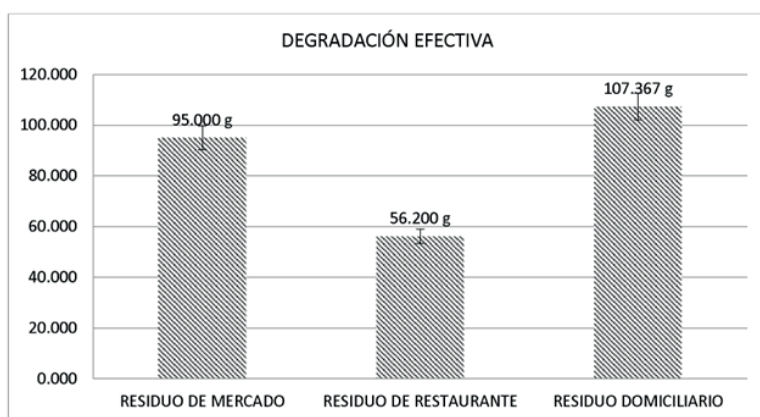


Figura 10. Degradación efectiva de larvas de mosca

Los resultados de este estudio muestran que los residuos de restaurante fue el de menor degradación efectiva presente, según Diener et al. (2011), afirma que uno de los factores que reduce la degradación de residuos es el acceso limitado a los alimentos por el alto contenido de humedad y grasas. Datos similares fueron reportados por Nguyen et al. (2013), quien afirma que las características de los alimentos pueden influir en el rendimiento de las larvas, si el régimen alimentario consiste en harina de carne, carne de cerdo, pescado o hígado es demasiado gruesa, la ingesta de alimento larval se reduce, esto concuerda con

los hallazgos de esta investigación, donde las larvas alimentadas con residuos de restaurante presentaron el menor índice de reducción de residuos debido a la saturación de harinas y grasas.

#### 4.9.2. Índice de reducción de residuos sólidos orgánicos

De acuerdo al análisis de varianza donde se muestra un P-valor significativo donde indica que si hay diferencia entre los índices de reducción de residuos (WRI). Por lo tanto, se optó por la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para el índice de reducción de residuos orgánicos donde me permite hacer comparaciones múltiples de acuerdo a las medias de cada tratamiento (Tabla 23), muestra comparaciones múltiples de los tratamientos, donde la degradación de residuos orgánicos en los diferentes tratamientos son: residuos domiciliarios (RD) con 1,167 %/día siendo el mejor tratamiento en la reducción de residuos orgánicos, seguido por el residuos de mercado (RM) con 1,030 %/día, y por último residuos de restaurante (RR) fue el que con un valor de 0,609 %/día.

Tabla 23. Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) índice de reducción de residuos sólidos (WRI)

| Prueba | Residuos orgánicos | N | Media angular | WRI %/ día | Agrupación |
|--------|--------------------|---|---------------|------------|------------|
| Tukey  | RD                 | 3 | 6,1923        | 1,167      | A          |
|        | RM                 | 3 | 5,8229        | 1,030      | B          |
|        | RR                 | 3 | 4,4764        | 0,609      | C          |

Los resultados de este estudio muestran el índice de reducción de residuos orgánicos varia en relación directa al tratamiento, en donde los residuos domiciliarios (RD) con índice de reducción de residuos 1,167 %/día es el mejor tratamiento en la reducción de residuos orgánicos, seguido por los residuos de mercado (RM) con 1,030 %/día, y por último residuos de restaurante (RR) fue el que presentó menor índice de reducción con un valor de 0,609 %/día.

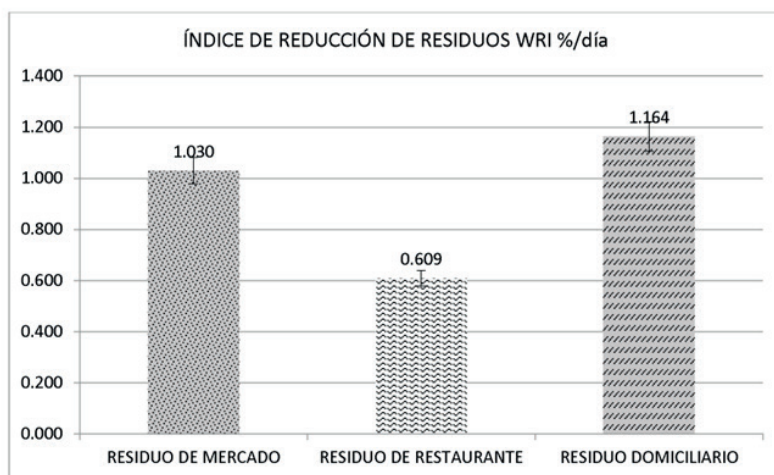


Figura 11. Índice de reducción de residuos sólidos orgánicos

De la figura 11, se aprecia que el mayor índice degradación de residuos se presentó en residuos domiciliarios con 1,164 %/día. Por otro lado, Diener et al. (2009), en su investigación sobre la conversión de la materia orgánica encontró que para una tasa de alimentación diaria de 100 mg de alimento para pollos por larva presento como resultado una compensación óptima entre la eficiencia de reducción del material, con un índice de reducción de residuos entre 1,1 y 3,8 %/día. Datos similares fueron reportados por Ground et al. (2018), quien evaluó el índice de reducción de residuos (WRI) en residuos de residuos de café molido, como resultado de la experimentación se reportó un índice de reducción entre 0,83 y 4 %/día, un valor superior a los reportados en esta investigación, esta disparidad entre los resultados podría deberse a las variadas tasas de alimentación, factores como la humedad del material o contenido de fibra y la capacidad de la especie para degradar el residuo orgánico. Esta conclusión concuerda con Michel et al. (2004), quien sostiene que la eficiencia en la transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los organismos que intervienen y de las condiciones físico químicas del proceso.

Los presentes hallazgos parecen ser consistentes con otras investigaciones, según Bonso (2013) encontró índice de reducción de residuos (WRI) con un valor de 9,96 %/día, lo que indica que 1,00 g de alimento por larvas por día es la tasa de alimentación más adecuada para reducir de manera eficiente los residuos de alimentos orgánicos, dichos residuos estaban compuestos por: arroz cocido, huesos, carne, pescado, verduras, cáscaras de plátano, etc., los residuos era una mezcla de residuos cocidos y crudos. Así mismo en su investigación sostiene que es probable que las tasas de alimentación más pequeños experimentaron una fuerte deshidratación debido a la superficie desfavorable en relación al volumen, por lo tanto, los grandes valores de la reducción de residuos; estos resultados coinciden con los observados en estudios anteriores (Bonso, 2013).

Por otra parte, Manurung et al. (2016) en una investigación reciente realizada sobre bioconversión de residuos orgánicos a través de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens* L.) alimento a seis velocidades de alimentación diferentes (12,5, 25, 50, 100, y 200 mg/larvas/día) hasta que las larvas alcanzaran el estado de prepupa, la más alta eficiencia de reducción de residuos fue grabado por velocidad de alimentación de larvas de 12,5 mg/larva/día con un índice de reducción de residuos (WRI) 0,58 %/día un valor inferior a los obtenidos en esta investigación, donde el residuo de restaurante (RR) fue el que presentó menor índice de reducción con un valor de 0,609 %/día. Este hallazgo corrobora la hipótesis planteada, que las características de la materia orgánica y de los organismos que intervienen, así como de las condiciones físicas químicas del proceso (humedad, aireación, temperatura y pH) condicionan la degradación de residuos orgánicos (Michel et al., 2004).

#### 4.9.3. Eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI)

De acuerdo al análisis de varianza donde se muestra un P-valor significativo donde indica que no hay diferencia entre eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI). Por lo tanto, se optó por la prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) para la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos donde me permite hacer comparaciones múltiples de acuerdo a las medias de cada tratamiento (Tabla 24), muestra comparaciones múltiples de los tratamientos, donde eficiencia de conversión de alimentos ingeridos por larvas de mosca doméstica en los diferentes tratamientos son: residuos domiciliarios (RD) con 11,840 % siendo el mejor tratamiento en la conversión de alimentos ingeridos, seguido por el residuos de restaurante (RR) con 10,661 %, y por último residuos de mercado (RM) con 9,472 % fue el que presento menor eficiencia en la conversión de alimentos ingeridos.

Tabla 24. Prueba de Tukey ( $p \leq 0,05$ ) eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI)

| Prueba | Residuos orgánicos | N | Media angular | ECI %  | Agrupación |
|--------|--------------------|---|---------------|--------|------------|
| Tukey  | RD                 | 3 | 20,060        | 11,840 | A          |
|        | RR                 | 3 | 19,057        | 10,661 | A          |
|        | RM                 | 3 | 17,922        | 9,472  | A          |

Oonincx et al. (2015) afirma que la eficiencia de conversión de alimentación se puede expresar de diferentes maneras; la medida más común en los sistemas de producción animal es la relación de conversión de alimento (FCR, por sus siglas en inglés). Sin embargo, los entomólogos comúnmente usan la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI, por sus siglas en inglés) como una medida de la eficiencia de conversión de alimento.

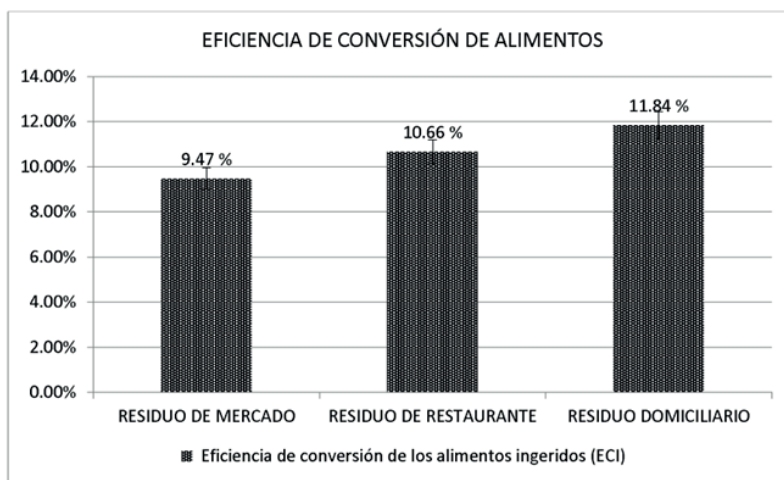


Figura 12. Eficiencia en la conversión de alimentos ingeridos

Según Ground et al. (2018), evaluó la eficiencia de conversión alimenticia de residuos orgánicos de café molido, como resultado de la experimentación encontró una eficiencia de conversión entre 2,71 % - 5 %, en contraste con el presente estudio, las larvas de mosca doméstica poseen índice de conversión de alimentos ingeridos superior con porcentajes entre 9,47 % - 11,84 %, siendo el de mejor eficiencia los residuos domiciliarios (véase la figura 13). Por otra parte, Diener et al. (2009), reportó resultados en donde la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos en gallinaza (alimento de pollo), a través de larvas de mosca soldado negro con una eficiencia de conversión alimenticia que osciló 24,4-38 % y una eficiencia promedió de 29,6 %, un valor superior a los encontrados en esta investigación, estos datos deben ser interpretados con cautela puesto que existe una serie de factores que afectarían la conversión alimenticia.

Esto puede afirmar la explicación previa sobre el balance de masa, cuando se da la pequeña cantidad de alimento, alta proporción de alimentación se utiliza para el metabolismo. Además, Según Martínez & Rivero (2005), lo mismo que es afirmado por Cohen (2015), menciona que la eficiencia de conversión alimenticia depende de una variedad de factores, como la especie y la dieta consumida, debido a las diferencias en los sistemas digestivos y los requerimientos de nutrientes, la misma dieta puede resultar diferente otras especies. Estos resultados coinciden con otros hallazgos, según Michel et al. (2004), sostiene que la eficiencia en la transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los organismos que intervienen y de las condiciones físico químicas del proceso.

#### **4.9.4. Tasas de crecimiento de larvas de mosca doméstica**

##### *Incremento en longitud de larvas de mosca doméstica*

Los resultados de longitud total fueron superiores en larvas alimentadas con residuos domiciliarios (RD) ( $p < 0,05$ ). Las dietas de residuos orgánicos generaron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0,05$ ) en la longitud total de las crías (tabla 20 y figura 9). Por otra parte, las tasas de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos (Ver tabla 25). Las diferencias observadas se relacionan directamente con el mayor contenido de proteínas en la dieta, es decir, a mayor concentración de proteínas en el alimento las tasas de crecimiento fueron superiores; el incremento máximo diario de longitud total fue de 0,333 mm/día con los residuos domiciliarios (RD), seguido de residuos de restaurante (RR) con 0,220 mm/día y el menor incremento en longitud con 0,160 mm/día con los residuos de mercado (RM), esto representa un crecimiento relativo (CR) del 26 %, 17 % y 12 % respectivamente.

| <b>Parámetro/ Promedio</b>                 | <b>Residuo de mercado (RM)</b> | <b>Residuo de restaurante (RR)</b> | <b>Residuo domiciliario (RD)</b> |
|--------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Talla inicial promedio (mm)                | 12,055                         | 11,659                             | 11,721                           |
| Talla final promedio (mm)                  | 13,499                         | 13,637                             | 14,715                           |
| Crecimiento absoluto (mm)                  | 1,444                          | 1,977                              | 2,994                            |
| Tasa absoluta de crecimiento TAC (mm/día)  | 0,160                          | 0,220                              | 0,333                            |
| Crecimiento relativo (%)                   | 12                             | 17                                 | 26                               |
| Tasa relativa de crecimiento TRC (%)       | 1,330                          | 1,880                              | 2,840                            |
| Tasa específica de crecimiento TEC (%/día) | 1,260                          | 1,740                              | 2,530                            |
| Tiempo (días)                              | 9                              | 9                                  | 9                                |

Tabla 25. Tasa de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) absoluta en longitud total (mm) de larvas de mosca doméstica

Según Nguyen & col. (2013) determino que un aumento en la tasa de crecimiento y una disminución en la duración del desarrollo de las larvas soldado negro se produce en las dietas altas en proteínas y altas en grasas. Datos similares fueron reportados en esta investigación con larvas de mosca doméstica, el crecimiento larvario mostró un patrón de rápido aumento en la longitud en larvas obtenidas en sustratos de restaurante superior a los residuos de mercado, sin embargo, en peso fue el que menor incremento de peso presento en relación a residuos de mercado y domiciliarios. Esta aseveración se debe al alto contenido de grasas, que puede ser perjudicial no solo para las tasas de crecimiento, sino también para la supervivencia larval y adulta, la vida útil y el rendimiento reproductivo (Ujvari et al., 2010; Nguyen et al., 2013).

La alta calidad de los alimentos mejora la tasa de desarrollo y aumenta la supervivencia en algunas especies de insectos (de Haas et al., 2006 ). Según, Nguyen et al. ( 2013 ) y Oonincx et al. (2015) observaron

que las larvas detritívoras de la mosca soldado negra (BSF), *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae), cuando se alimentaban con dietas de subproductos vegetales ricos en proteínas, tenían un tiempo de desarrollo más corto (21 días) que las larvas alimentado con dietas bajas en proteínas (37 días), esta investigación concuerda con los autores, dado que las larvas obtenidas de sustratos de mercado y domiciliarios fueron los que mayor peso y crecimiento experimentaron y llegaron a pupar en apenas 9 días, a diferencia de los residuos de restaurante que no presentaron transformación, lo que significaría que el residuos de restaurante, no mejora la tasa de crecimiento debido a su alto contenido de grasa (Nguyen & col., 2013). Sin embargo, Tschirner & Simón (2011) sugirieron que las dietas con una mayor proporción de proteínas aumentan el tiempo de desarrollo y la tasa de supervivencia de algunas especies de moscas depredadoras.

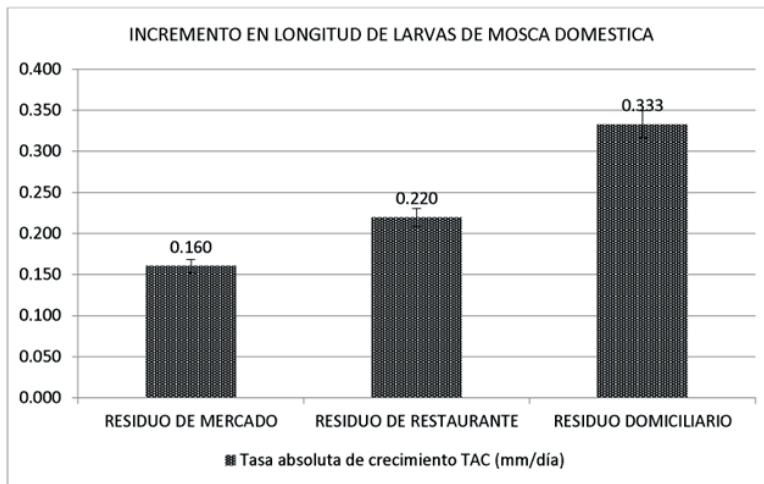


Figura 13. Tasa absoluta de crecimiento (TAC) – longitud

Tabla 26. Análisis estadístico de las tasas de crecimiento de larvas (Prueba de Tukey) - Tasa de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) en peso y longitud

| Prueba | Parámetro    | Residuos orgánicos | N | Media  | TAC cm/día | Agrupación |
|--------|--------------|--------------------|---|--------|------------|------------|
| Tukey  | TAC Peso     | RD                 | 3 | 0,3327 | 0,3327     | A          |
|        |              | RR                 | 3 | 0,2197 | 0,2197     | B          |
|        |              | RM                 | 3 | 0,1604 | 0,1604     | C          |
|        | TAC Longitud | RD                 | 3 | 2,254  | 2,254      | A          |
|        |              | RM                 | 3 | 1,597  | 1,597      | B          |
|        |              | RR                 | 3 | 1,065  | 1,065      | B          |
|        | TRC Longitud | RD                 | 3 | 9,699  | 2,846      | A          |
|        |              | RR                 | 3 | 7,905  | 1,892      | B          |
|        |              | RM                 | 3 | 6,668  | 1,348      | C          |
|        | TRC Peso     | RD                 | 3 | 13,514 | 5,48       | A          |
|        |              | RM                 | 3 | 12,316 | 4,56       | A          |
|        |              | RR                 | 3 | 9,265  | 2,59       | B          |
|        | TEC Longitud | RD                 | 3 | 9,139  | 2,528      | A          |
|        |              | RR                 | 3 | 7,582  | 1,741      | B          |
|        |              | RM                 | 3 | 6,439  | 1,258      | C          |
|        | TEC peso     | RD                 | 3 | 12,116 | 4,416      | A          |
|        |              | RM                 | 3 | 12,209 | 3,783      | A          |
|        |              | RR                 | 3 | 8,709  | 2,294      | B          |

### *Incremento en peso de larvas de mosca doméstica*

Los mejores resultados ( $p < 0,05$ ) se presentaron en larvas alimentadas con residuos domiciliarios mayor contenido de proteínas y de lípidos, así como una menor cantidad de carbohidratos. Asimismo, no se encontraron diferencias estadísticas significativas ( $p > 0,05$ ) entre las tasas relativas de crecimiento (TAC) y tasas específicas de crecimiento entre larvas alimentadas con residuos domiciliarios y de mercado (Ver tabla 21). El incremento diario máximo en peso fue de 2,254 mg/día con residuos domiciliarios (RD), seguido de residuos de mercado (RM)

con 1,597 y el menor 1,065 mg/día con residuos orgánicos de restaurante (RR), lo anterior representa una diferencia de 27,50 % a favor de los primeros ( $p < 0,05$ ). Esto representa un crecimiento relativo (CR) del 49,6 %, 40,382 % y 23,3 % respectivamente (Ver tabla 27 y figura 14).

Tabla 27. Tasa de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) en peso (mg) de larvas de mosca doméstica

| <b>Parámetro/ Promedio</b>                 | <b>Residuo de mercado (RM)</b> | <b>Residuo de restaurante (RR)</b> | <b>Residuo domiciliario (RD)</b> |
|--------------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|----------------------------------|
| Peso inicial (mg)                          | 35,593                         | 41,093                             | 40,907                           |
| Peso final (mg)                            | 49,967                         | 50,681                             | 61,193                           |
| Ganancia en peso (mg)                      | 14,373                         | 9,588                              | 20,287                           |
| Tasa absoluta de crecimiento TAC (mg/día)  | 1,597                          | 1,065                              | 2,254                            |
| Crecimiento relativo (%)                   | 40,382                         | 23,332                             | 49,593                           |
| Tasa de crecimiento relativo TCR (%)       | 4,487                          | 2,592                              | 5,510                            |
| Tasa específica de crecimiento TEC (%/día) | 3,783                          | 2,294                              | 4,416                            |
| Tiempo (días)                              | 9                              | 9                                  | 9                                |

El peso y el rendimiento de las larvas se vieron afectados positivamente por la concentración de nutrientes en las tres densidades de larvas, el que menor aumento de peso experimentó fue la densidad de larvas obtenidas de sustrato de restaurante, esto debido a la sobresaturación de grasas (Nguyen & col., 2013). Varios autores observaron que las larvas alimentadas con una dieta alta en proteínas y grasas tenían una tasa de crecimiento más alta que las alimentadas con dietas bajas en proteínas y grasas (Nguyen et al., 2013; Oonincx et al., 2015; Tschirner & Simon, 2015).

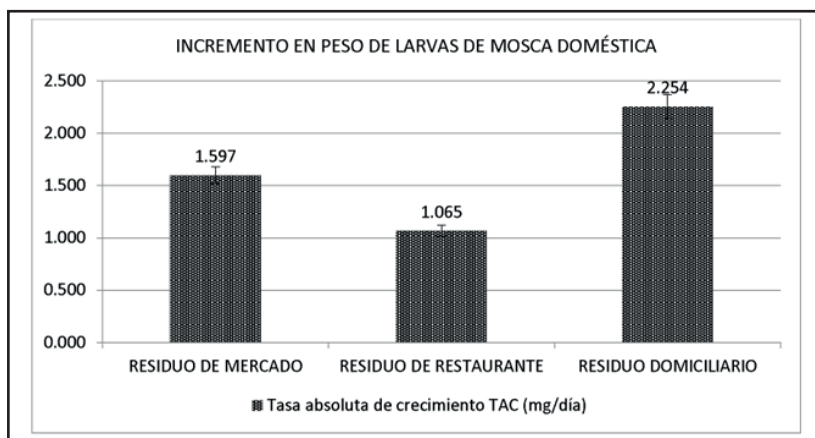


Figura 14. Tasa absoluta de crecimiento (TAC) – peso

Las densidades larvarias más bajas no siempre son mejores para maximizar la tasa de crecimiento. En algunas especies de insectos, las agregaciones de larvas proporcionan beneficios adaptativos a los individuos debido a la generación de calor, lo que podría mejorar la asimilación de los alimentos (Green & Popa, 2012) y proporcionar protección contra la baja temperatura ambiental y posiblemente depredadores (Rivers & Dahlem, 2013). El aumento de peso de las larvas de también se ve afectado debido a su posible dependencia de las bacterias como alimento (Liu et al., 2008). Similar situación se reportó en esta investigación, donde los residuos que contienen mayor aireación debido a la naturaleza del sustrato presento mayor desarrollo larvario y mayor degradación de residuos. También es fundamental que existen otros factores bióticos también pueden afectar el rendimiento, como la densidad larval que afecta la tasa de desarrollo (Diener et al., 2009).

### *Concentración final de pH*

En la tabla 28, se muestra las medias de pH después antes y después del tratamiento. Según Michel et al. (2004), afirma que una de las condiciones de importancia en el proceso de reducción de residuos

orgánicos es: pH, humedad, aireación y temperatura, en cuanto a los resultados obtenidos luego del proceso de experimentación se muestra que el residuo domiciliario (RD), con una concentración 6,13 de pH, siendo un sustrato ligeramente ácido, seguido por los residuos de restaurante (RR), con 6,01 y por último residuos de mercado (RM) con un valor de 5,3 de pH el cual indica que es un suelo medianamente ácido. Según Martínez & Rivero (2005), los micronutrientes en los residuos verdes están presentes de diferentes formas químicas y asociarse a diversos componentes de naturaleza mineral como orgánica.

Tabla 28. Concentración final de PH en sustratos utilizados

| <b>Residuo orgánico</b> | <b>T</b> | <b>pH pre tratamiento</b> | <b>Promedio pH pre tratamiento</b> | <b>pH post tratamiento</b> | <b>Promedio pH pos tratamiento</b> |
|-------------------------|----------|---------------------------|------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|
| Residuo de mercado      | T1       | 5,4                       | 5,3                                | 6,1                        | 6,03                               |
|                         | T1       | 5,2                       |                                    | 6,0                        |                                    |
|                         | T1       | 5,3                       |                                    | 6,0                        |                                    |
| Residuo de restaurante  | T2       | 6,0                       | 6,1                                | 5,2                        | 5,1                                |
|                         | T2       | 6,2                       |                                    | 5,1                        |                                    |
|                         | T2       | 6,1                       |                                    | 5,0                        |                                    |
| Residuo domiciliario    | T3       | 6,3                       | 6,13                               | 7,2                        | 7,1                                |
|                         | T3       | 6,1                       |                                    | 7,1                        |                                    |
|                         | T3       | 6,0                       |                                    | 7,0                        |                                    |

En la tabla 29, se observa que todos los residuos presentaron valores de pH menores a 7 en la etapa pre tratamiento y fueron ascendiendo durante el proceso de experimentación, probablemente, la excreción alcalina de grupos de larvas neutraliza la acidez asociada con el crecimiento bacteriano y predigestión el sustrato (Barragan-Fonseca et al., 2017). Según Robles (2015), encontró un pH ligeramente ácido durante el proceso de compostaje con residuos orgánicos, iniciándose con un valor mínimo de pH igual a 5,4, luego se incrementó paulatinamente durante 20 días hasta alcanzar su punto máximo pH de 8,1, resultados

contrarios fueron encontrados con Aubert de la Parra et al. (2001), durante la producción de larvas de mosca doméstica en excretas de cerdo, la variación de pH observado en el ensilado de excreta de cerdo con sorgo molido y melaza presentaron una disminución de pH desde valores iniciales entre 13,3 - 15,3 hasta valores mínimos como 4,1 en un periodo de 15 días. Datos similares a los reportados en esta investigación donde los residuos de restaurante presentaron una disminución de pH, Posiblemente la acidificación del medio podría deberse a las características propias del sustrato; esta hipótesis coincide con la FAO (2013) quien indica que los residuos vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio. Este hallazgo, aunque preliminar, sugiere que el pH post tratamiento del sustrato procesado por las larvas de mosca domestica bajo las condiciones de este experimento, cuenta con las características apropiadas para ser composteado o utilizado como materia prima en lombricultura, el rango ideal para la lombricultura es de 5 a 8,5 de pH, un rango adecuado para el desarrollo de la lombriz (FAO, 2013).

#### *Mortalidad y supervivencia de larvas de mosca doméstica*

Los resultados de mortalidad, supervivencia y transformación de los larvas de mosca doméstica durante la fase de crecimiento variaron entre los diferentes tipos de residuos (ver tabla 24), en relación a los resultados obtenidos las larvas alimentadas con residuos domiciliarios (RD) y residuos de restaurante (RR) no presentaron mortalidad, siendo ambos un tratamiento eficaz para el crecimiento de larvas de mosca doméstica, y por último los residuos de mercado (RM) con 80 % de supervivencia y 20 % de mortalidad, en donde se evidenciaron muerte de larvas en los primero días de inoculación, posiblemente esto fue como consecuencia de la selección realizada en la fase de aclimatación y de la aceptación de los alimentos y de las características físicas y químicas del residuo orgánico. Para Robles (2015), los primeros días el sustrato de residuos orgánicos tiende a acidificarse y posteriormente

tiende incrementarse paulatinamente pH superior a 7; la FAO (2013) sostiene que los residuos vegetales como restos de cocina, frutas, liberan muchos ácidos orgánicos y tienden a acidificar el medio, periodo en donde podría ocurrir la mortalidad de algunas larvas.

Tabla 29. Tasa de mortalidad, supervivencia y transformación de larvas de mosca doméstica

| Tipo de residuo        | Tratamiento | Prom Larvas Inicial | Larvas Muertas | Larvas vivas | Pupa | Tasa de Supervivencia | Tasa de Mortalidad Larvas | Tasa de transformación en pupa |
|------------------------|-------------|---------------------|----------------|--------------|------|-----------------------|---------------------------|--------------------------------|
| Residuo de mercado     | T1          | 625                 | 140            | 485          | 20   | 77,6 %                | 22,4 %                    | 3,2 %                          |
|                        | T1          | 625                 | 111            | 514          | 25   | 82,2 %                | 17,8 %                    | 4,0 %                          |
|                        | T1          | 625                 | 123            | 502          | 20   | 80,3 %                | 19,7 %                    | 3,2 %                          |
| Residuo de restaurante | T2          | 625                 | 0              | 625          | 0    | 100,0 %               | 0,0 %                     | 0,0 %                          |
|                        | T2          | 625                 | 0              | 625          | 0    | 100,0 %               | 0,0 %                     | 0,0 %                          |
|                        | T2          | 625                 | 0              | 625          | 0    | 100,0 %               | 0,0 %                     | 0,0 %                          |
| Residuo domiciliario   | T3          | 625                 | 0              | 625          | 100  | 100,0 %               | 0,0 %                     | 16,0 %                         |
|                        | T3          | 625                 | 0              | 625          | 105  | 100,0 %               | 0,0 %                     | 16,8 %                         |
|                        | T3          | 625                 | 0              | 625          | 95   | 100,0 %               | 0,0 %                     | 15,2 %                         |

Tabla 30. Porcentaje de mortalidad y supervivencia de larvas de mosca doméstica

| Residuo orgánico       | T* | % Mortalidad de larvas | % Supervivencia | % Transformación en pupas | pH pre tratamiento | pH post tratamiento |
|------------------------|----|------------------------|-----------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| Residuo de mercado     | T1 | 25,60 %                | 74,40 %         | 3,2 %                     | 5,4                | 6,1                 |
|                        | T1 | 25,28 %                | 74,72 %         | 4,0 %                     | 5,2                | 6,0                 |
|                        | T1 | 27,52 %                | 72,48 %         | 3,2 %                     | 5,3                | 6,0                 |
| Residuo de restaurante | T2 | 0%                     | 100,0 %         | 0,0 %                     | 6,0                | 5,2                 |
|                        | T2 | 0%                     | 100,0 %         | 0,0 %                     | 6,2                | 5,1                 |
|                        | T2 | 0%                     | 100,0 %         | 0,0 %                     | 6,1                | 5,0                 |
| Residuo domiciliario   | T3 | 0%                     | 100,0 %         | 16,0 %                    | 6,3                | 7,2                 |
|                        | T3 | 0%                     | 100,0 %         | 16,8 %                    | 6 1                | 7 1                 |
|                        | T3 | 0%                     | 100,0 %         | 15,2 %                    | 6,0                | 7,0                 |

Según datos reportados por Larraín & Salas (2008), donde evaluó el desarrollo de la mosca doméstica en diferentes tipos de estiércol, donde menor mortalidad se presentó con estiércol porcino con una mortalidad de 2,5 %, estiércol de pollo 5 %, estiércol de becerro con 11 %. Esto fue seguido por mortalidades intermedias en tratamientos basados en estiércol de vaca y excrementos de perro con 16 y 23 % respectivamente, los tratamientos con estiércol de caballo y de cabra mostraron una mortalidad significativamente mayor que los otros tratamientos, con 46 y 63 %, respectivamente. Finalmente, el abono porcino compostado no permite la supervivencia de las larvas, alcanzando el 100 % de la mortalidad. Posiblemente esta situación podría deberse a la condición del medio, para Aubert de la Parra et al. (2001), las excretas de cerdo tienden a acidificarse con el pasar de los días, siendo esta característica un factor fundamental en la mortalidad de larvas de mosca. Según Meraz (2017) otro factor determinante para la sobrevivencia de las larvas es la humedad, ya que se secan si no hay suficiente, mientras que demasiada humedad conduce a su ahogamiento (Čičková et al., 2015). Por el contrario, Simon et al. (2011) sugirieron que las dietas con una mayor proporción de proteínas aumentan el tiempo de desarrollo y la tasa de supervivencia de algunas especies de moscas depredadoras.

En relación a la transformación en pupas de larvas de mosca doméstica en un periodo de 9 días, periodo que duro la experimentación, la mayor transformación en pupas se evidencio en residuos domiciliarios (RD) con 16 % seguido de residuos de mercado 3,3 % y por último residuos de restaurante, en donde no se presentó pupas, esto debido a que los residuos tenían mayor humedad. En relación a la duración del estado larval y la transformación en pupas, Salas & Larraín (2012) establece

que la humedad tiene una relación con la duración de los estados de larva y pupa de las moscas domésticas. Estos resultados concuerdan también con las observaciones realizadas por Larraín & Salas (2008), que realizaron investigaciones con las especies de Fanniidae. Este resultado concuerda con Meraz (2019) quien sostiene que las pupas toleran menor humedad para su desarrollo, además es fundamental en el proceso de transformación en pupas de larvas, la humedad tiene una relación con la duración de los estados de larva y pupa de las moscas domésticas.

#### 4.9.5. Contenido nutricional de larvas de mosca doméstica

La tabla 30, se muestra la composición química proximal de larvas secas de larvas de mosca doméstica, analizadas en tres diferentes sustratos; en las muestras analizadas se observaron niveles altos de proteína y grasas de acuerdo a la clasificación de las materias primas, teniendo más altos porcentajes las larvas de mosca doméstica aplicados en residuos de restaurante. Los resultados de laboratorio tanto del contenido de metales totales como del contenido nutricional de larvas de mosca doméstica se detallan en las tablas 31 y 32.

Tabla 31. Metales totales

| Nombre de Muestra | Código Interno #                          |                                              |                                                |
|-------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                   | AL18000061                                | AL18000062                                   | AL18000063                                     |
|                   | LARVAS SECAS DE RESIDUOS DE MERCADO M1-RM | LARVAS SECAS EN RESIDUOS DOMICILIARIOS M2-RD | LARVAS SECAS EN RESIDUOS DE RESTAURANTES M3-RR |
| 5012 Ag MT mg/Kg  | a<0,048                                   | a<0,048                                      | a<0,048                                        |
| 5012 Al MT mg/Kg  | 19                                        | 20                                           | 9,8                                            |
| 5012 As MT mg/Kg  | a<0,024                                   | a<0,024                                      | a<0,024                                        |

| Nombre de Muestra  | Código Interno #                          |                                              |                                                |
|--------------------|-------------------------------------------|----------------------------------------------|------------------------------------------------|
|                    | AL18000061                                | AL18000062                                   | AL18000063                                     |
|                    | LARVAS SECAS DE RESIDUOS DE MERCADO M1-RM | LARVAS SECAS EN RESIDUOS DOMICILIARIOS M2-RD | LARVAS SECAS EN RESIDUOS DE RESTAURANTES M3-RR |
| 5012 B MT mg/Kg    | X0,11                                     | x0,11                                        | x0,11                                          |
| 5012 Ba MT mg/Kg   | 3,722                                     | 3,286                                        | 2,954                                          |
| 5012 Be MT mg/Kg   | x0,0016                                   | x0,0016                                      | x0,0016                                        |
| 5012 Ca MT mg/Kg   | 2 200                                     | 2 400                                        | 2 400                                          |
| 5012 Cd MT mg/Kg   | a<0,0022                                  | a<0,0022                                     | a<0,0022                                       |
| 5012 Co MT mg/Kg   | a<0,0019                                  | a<0,0019                                     | a<0,0019                                       |
| 5012 Cr MT mg/Kg   | 0,2342                                    | 2,139                                        | x0.0078                                        |
| 5012 Cu MT mg/Kg   | 15,1                                      | 14,6                                         | 12,8                                           |
| 5012 Fe MT mg/Kg   | 91                                        | 110                                          | 66                                             |
| 5012 Hg MT mg/Kg   | a<0,0062                                  | a<0,0082                                     | a<0,0082                                       |
| 5012 K MT mg/Kg    | 7 300                                     | 6 700                                        | 6100                                           |
| 5012 Li MT mg/Kg   | 12,07                                     | 7,798                                        | 3,695                                          |
| 5012 Mg MT mg/Kg   | 900                                       | 1400                                         | 1000                                           |
| 5012 Mn MT mg/Kg   | 12,67                                     | 19,16                                        | 14,01                                          |
| 5012 Mo MT mg/Kg   | 0,7791                                    | 0,5497                                       | 0,4575                                         |
| 5012 Na MT mg/Kg   | 3 700                                     | 4 900                                        | 5000                                           |
| 5012 Ni MT mg/Kg   | a<0,01                                    | a<0,01                                       | a<0,01                                         |
| 5012 P MT mg/Kg    | 4 100                                     | 5100                                         | 4 900                                          |
| 5012 Pb MT mg/Kg   | a<0,052                                   | a<0,052                                      | a<0,052                                        |
| 5012 Sb MT mg/Kg   | 0,7032                                    | 0,4737                                       | 0,4041                                         |
| 5012 Se MT mg/Kg   | 0,59                                      | 0,678                                        | 0,674                                          |
| 5012 SiO2 MT mg/Kg | 102                                       | 104                                          | 56,9                                           |
| 5012 Sn MT mg/Kg   | 1,07                                      | 1,33                                         | 0,724                                          |
| 5012 Sr MT mg/Kg   | 10,5                                      | 12,6                                         | 14,3                                           |
| 5012 Ti MT mg/Kg   | 1,26                                      | 1,3                                          | 1,07                                           |
| 5012 TI MT mg/Kg   | a<0,026                                   | a<0,026                                      | a<0,026                                        |
| 5012 V MT mg/Kg    | 0,0622                                    | 0,0646                                       | 0,0252                                         |
| 5012 Zn MT mg/Kg   | 77,3                                      | 77,9                                         | 72,7                                           |

Nota. a<Valor numérico” = Límite de detección del método

Tabla 32. Análisis nutricional de larvas secas de mosca doméstica

| Análisis nutricional de harina larvas de mosca doméstica (%) |                     |                         |                        |
|--------------------------------------------------------------|---------------------|-------------------------|------------------------|
| Composición                                                  | Residuos de mercado | Residuos de restaurante | Residuos domiciliarios |
| Humedad                                                      | 5,081               | 1,809                   | 3,334                  |
| Proteína                                                     | 61,767              | 56,799                  | 61,009                 |
| Grasas                                                       | 23,735              | 21,597                  | 21,204                 |
| Cenizas                                                      | 5,290               | 5,883                   | 6,174                  |
| Calcio                                                       | 0,220               | 0,240                   | 0,240                  |
| Fosforo                                                      | 0,410               | 0,480                   | 0,510                  |

En la Figura 16, se observa la comparación de proteínas y grasas en los diferentes sustratos aplicados; de acuerdo a la información obtenida, se pueden resaltar las diferencias en el porcentaje de proteína y grasas, donde el mayor contenido de proteínas se encuentra en larvas alimentadas con residuos de mercado (RM) con un valor de 61,7 % seguido de residuos domiciliarios (RD) con 61,01 % y por último residuos de restaurante (RR) con 56,8 %, en relación al contenido de grasas, las larvas de mosca obtenidos de residuos de mercado (RM) presento mayor porcentaje con 23,74 %, seguido por residuo de restaurante (RR) y finalmente residuos domiciliarios (RD) con 21,60 % y 21,20 % respectivamente.

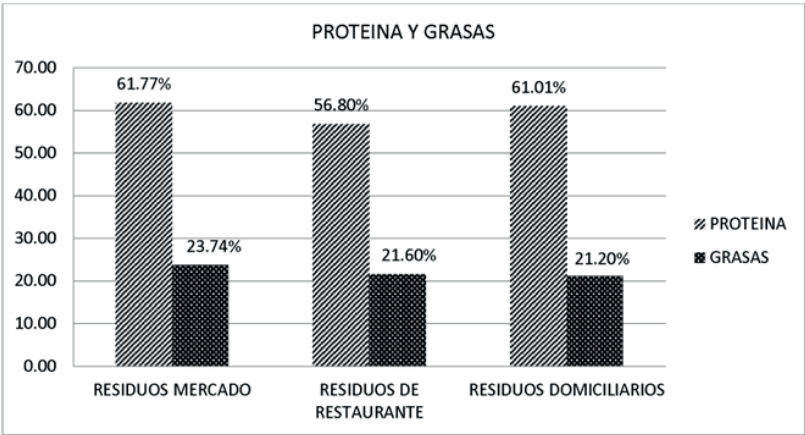


Figura 15. Contenido de proteína y grasa en larvas secas de mosca doméstica

En la Figura 16, se observa la comparación de humedad y cenizas de larvas de mosca doméstica obtenidas luego de ser aplicados en diferentes sustratos; de acuerdo a la información obtenida, el tratamiento en donde las larvas poseen mayor porcentaje de humedad se encuentra en larvas alimentadas con residuos de mercado (RM) con 5,08 % seguido de residuos domiciliarios (RD) con 5,88 % y por último residuos de restaurante (RR) con 1,81 %, en relación al porcentaje de cenizas, las larvas de mosca obtenidos de residuos domiciliarios (RD) presento mayor porcentaje de cenizas con 6,17 %, seguido por residuo de restaurante (RR) y residuos de mercado (RM) con 5,88 % y 5,29 % de cenizas respectivamente.

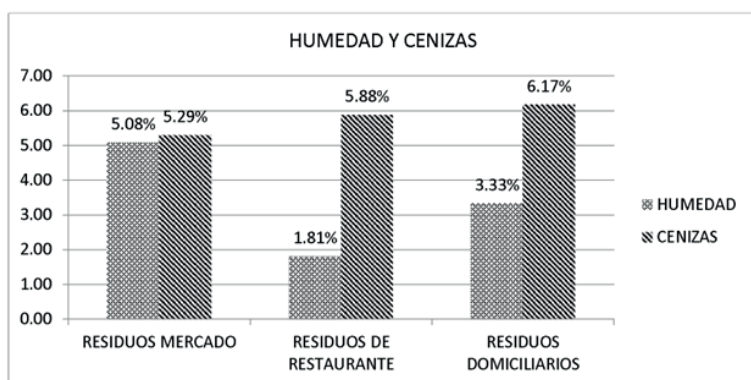


Figura 16. Humedad y cenizas en larvas secas de mosca doméstica

En la Figura 17, se observa la comparación de calcio y fósforo de larvas de mosca doméstica obtenidas luego de ser aplicados en diferentes sustratos; de acuerdo a la información obtenida, el tratamiento en donde las larvas poseen mayor porcentaje de calcio se encuentra en larvas alimentadas con residuos de restaurante (RR) y residuos domiciliarios (RD) con 0,24 % y por último residuos de mercado (RR) con 0,22 %, en relación al porcentaje de fósforo, las larvas de mosca obtenidos de

residuos domiciliarios (RD) presentó mayor porcentaje de cenizas con 0,51 %, seguido por residuo de restaurante (RR) y residuos de mercado (RM) con 0,48 % y 0,41 % de cenizas respectivamente.

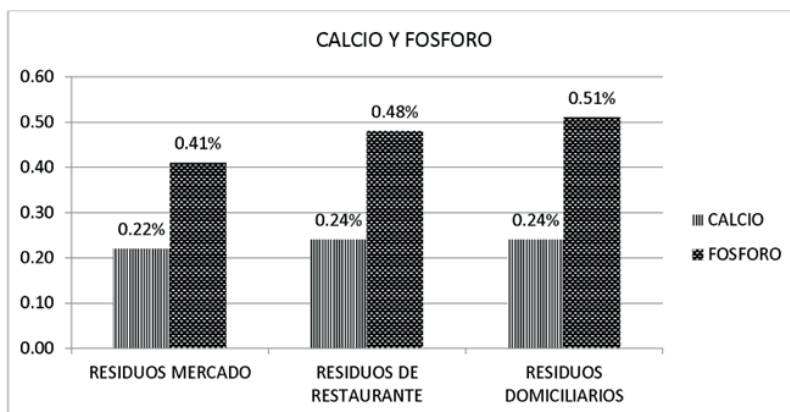


Figura 17. Calcio y fósforo en larvas secas de mosca doméstica

En la tabla 33, se observa la comparación entre análisis de la composición nutricional obtenida de larvas de mosca doméstica y datos reportados por Sheppard (2002) y Arango (2004) quienes evaluaron el contenido nutricional en larvas de mosca soldado negra; los valores reportados en esta investigación demuestran que contenido de grasas es 23,7 %, superior a los datos obtenidos por Arango (2004) con un valor de 18,8 %, e inferior a los encontrados por Sheppard (2002), quien reporto un valor entre 27,9 – 31,5 %. En relación al contenido de proteínas, las larvas de mosca doméstica, poseen un porcentaje superior con 61,8 % con respecto a los datos reportados por Sheppard (2002) y Arango (2004), con unos valores de 37 y 37,8 % respectivamente. Esta diferencia aparente se podría deber a una combinación de factores, tales como: las características de la alimentación de las larvas, la homogeneidad de la muestra, la procedencia y estado de desarrollo las larvas; estos aseveración coincide con los datos de otros estudios, Según Martínez &

Rivero (2005), lo mismo que es afirmado por Cohen (2015) y Michel et al. (2004), sostiene que la eficiencia en la transformación de materia orgánica depende de su naturaleza física y química, de los organismos y las condiciones del proceso experimental.

Tabla 33. Comparación del análisis proximal de la harina obtenida de larvas de mosca doméstica y los datos reportados por Sheppard et al. (2002) y Arango et al. (2004)

| Composición | Muestra de larvas <i>Hermetia illuscens</i> L. Obtenida por Sheppard et al. (2002) (%) | Muestra de larvas <i>Hermetia illuscens</i> L. Obtenida por Arango et al. (2004) (%) | Muestra de larvas de mosca doméstica (%) |
|-------------|----------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------|
| Humedad     | 10,0                                                                                   | 10,0                                                                                 | 5,1                                      |
| Proteína    | 36,9 – 37,8                                                                            | 37,0                                                                                 | 61,8                                     |
| Grasas      | 27,9 – 31,5                                                                            | 18,8                                                                                 | 23,7                                     |
| Cenizas     | 12,6 – 13,5                                                                            | 17,5                                                                                 | 5,3                                      |
| Calcio      | 4,3 – 4,59                                                                             | 7,6                                                                                  | 0,2                                      |
| Fósforo     | 0,54 – 0,567                                                                           | 0,6                                                                                  | 0,4                                      |

En la Tabla 34, se observa la comparación de los análisis proximales de las harinas de pescado y de las larvas de la mosca doméstica; de acuerdo a la información obtenida, se pueden resaltar las diferencias en el porcentaje de proteína y grasas de la harina de larva de mosca doméstica con respecto a la harina de pescado, en donde el contenido nutricional de larvas de mosca soldado negra es claramente superior en proteínas y grasas con 61,8 y 23,7 %, en relación a la harina de pescado con 23,7 y 10,5 % respectivamente. Los hallazgos de este estudio son consistentes; la grasa es el nutriente que mayor cantidad de energía aporta por unidad de peso, tiene un efecto en el sabor característico de la dieta, además incide en la sensación de saciedad a una comida. De acuerdo Arango et al. (2004), la harina de la larva de mosca doméstica

contiene mayor cantidad de ácidos grasos insaturados que la harina de pescado, datos corroborados por Sheppard (2002) y Ramos (2003), quien afirma que los invertebrados albergan gran porcentaje de ácidos monoinsaturados y poliinsaturados. En este caso la harina de la mosca doméstica presenta un valor superior en contenido de grasas comparado con la harina de pescado; esto hace que la harina de larvas de mosca doméstica pueda ser considerada como un ingrediente con un buen contenido calórico o energético, estos resultados proporcionan apoyo adicional a una posible aplicación como sustituto nutricional para alimentos avícola y piscícola.

Tabla 34. Comparación del análisis proximal entre la harina de las larvas de mosca doméstica y la composición bromatológica de la harina de pescado

| <b>Composición</b> | <b>Harina de larvas de mosca doméstica (%)</b> | <b>Harina de pecado (%)</b> |
|--------------------|------------------------------------------------|-----------------------------|
| Humedad            | 5,1                                            | 10,0                        |
| Proteína           | 61,8                                           | 61,0                        |
| Grasas             | 23,7                                           | 10,5                        |
| Cenizas            | 5,3                                            | 17,4                        |
| Calcio             | 0,2                                            | 4,4                         |
| Fósforo            | 0,4                                            | 2,2                         |

Las características del alimento y el hábitat de las larvas condicionan el contenido de las sales minerales de las larvas (Arango et al., 2004). Según Ramos (2003) el orden Díptera presentan una proporción elevada de elementos como el K, Ca, Fe y Mg en relación a la harina de pescado y otros suplementos nutricionales. Datos similares fueron obtenidos por Hussein et al (2017), evaluó los micronutrientes en la harina de larva, y afirmó que es una buena fuente de calcio y fósforo (0,5 % y 1,1 % respectivamente) cantidades superiores a los encontrados en esta investigación. Además, sostiene que el valor nutricional de la harina de larva es muy similar al de la harina de pescado. Contrariamente a

lo esperado, este estudio no encontró dicha proporción, al realizar la comparación entre el calcio y fósforo se observa una menor cantidad en calcio y fósforo en harina de larvas de mosca doméstica y una mayor concentración de fósforo y calcio en la harina de pescado. Estos resultados invalidan la hipótesis de Ramos (2003), finalmente valor nutricional de la harina de larva coincide estrechamente con el de la harina de pescado, por lo que es una alternativa potencialmente atractiva para su uso como ingrediente alimenticio rico en proteínas para las operaciones de ganadería y acuicultura.

Tabla 35. Comparación del análisis proximal entre la harina de las larvas de mosca doméstica y los datos reportados por Sheppard et al. (2002) y Hussein et al. (2017)

| <b>Composición</b> | <b>Harina de larvas de mosca doméstica (%)</b> | <b>Harina de larvas de mosca doméstica Sheppard et al. (2002) (%)</b> | <b>Harina de larvas de mosca doméstica Hussein et al. (2017) (%)</b> |
|--------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Humedad            | 5,1                                            | 10                                                                    | -                                                                    |
| Proteína           | 61,8                                           | 56,7                                                                  | 59,9                                                                 |
| Grasas             | 23,7                                           | 8,1 - 13,5                                                            | 19,64                                                                |
| Cenizas            | 5,3                                            | 4,95                                                                  | 7,06                                                                 |

En la Tabla 35, se observa una comparación de los análisis proximales y microbiológicos de la mosca doméstica con los datos reportados por Sheppard (2002) y Hussein (2017), los resultados obtenidos en esta investigación demuestran que las larvas de mosca doméstica tienen niveles superiores en proteína, grasa y cenizas con valores de 61,8 % respecto a lo encontrado por Sheppard y Hussein con 56,7 y 59,9 % respectivamente; esta diferencia de valores entre la misma larva de mosca doméstica se puede deber a una combinación de factores, tales como: las características de la alimentación, la procedencia y estado de

desarrollo del insecto, estos resultados coinciden con los observados en estudios anteriores (Barragan-Fonseca et al., 2017).

#### **4.9.6. Análisis de supuestos**

Antes de analizar la información, fue importante saber si los resultados seguían una distribución normal, por lo tanto, se basó en la prueba de Shapiro-Wilk debido a que este es para muestras menores a 30 y nos indica que el valor de significancia debe ser mayor al 5 %. Esta prueba se realizó a fin de conocer si las variables de investigación tienen una distribución normal, por otro lado, también se realizó la prueba de homogeneidad de varianza de Levene con la finalidad de ver la variabilidad de los diferentes tratamientos de un factor, es decir, entre diferentes grupos con un nivel de significancia de (0,05).

Los supuestos del modelo son:

*Prueba de Normalidad de Shapiro-Wilk se contrasta las hipótesis:*

H0 = La muestra tiene una distribución normal

H1 = La muestra no tiene una distribución normal

Se muestra en la tabla 36, la prueba de normalidad de Shapiro-Wilk, podemos determinar para el índice de reducción de residuos sólidos (WRI), eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI) y las tasas de crecimiento absoluta, relativa y específica en los diferentes tratamientos con un P-valor superior al nivel de significancia de 0,05 y afirmamos que los datos provienen de una distribución normal en todos los tratamientos respectivamente, por consiguiente se optó utilizar estadística paramétrica.

*Prueba de normalidad.*

Tabla 36. Prueba de normalidad

| Prueba de normalidad de Shapiro-Wilk |             |             |                    |               |
|--------------------------------------|-------------|-------------|--------------------|---------------|
| Parámetros                           | Tratamiento | Estadístico | Grados de libertad | Significancia |
| WRI                                  | RD          | 0,998       | 3                  | 0,905         |
|                                      | RM          | 0,862       | 3                  | 0,272         |
|                                      | RR          | 0,982       | 3                  | 0,741         |
| ECI                                  | RD          | 1,000       | 3                  | 0,986         |
|                                      | RM          | 0,811       | 3                  | 0,140         |
|                                      | RR          | 0,813       | 3                  | 0,145         |
| TEC Longitud                         | RD          | 0,954       | 3                  | 0,589         |
|                                      | RM          | 0,925       | 3                  | 0,470         |
|                                      | RR          | 0,849       | 3                  | 0,239         |
| TEC Peso                             | RD          | 0,892       | 3                  | 0,361         |
|                                      | RM          | 0,973       | 3                  | 0,685         |
|                                      | RR          | 0,981       | 3                  | 0,733         |
| TRC Longitud                         | RD          | 0,953       | 3                  | 0,584         |
|                                      | RM          | 0,986       | 3                  | 0,774         |
|                                      | RR          | 0,829       | 3                  | 0,187         |
| TRC Peso                             | RD          | 0,896       | 3                  | 0,372         |
|                                      | RM          | 0,969       | 3                  | 0,661         |
|                                      | RR          | 0,996       | 3                  | 0,880         |
| TAC Longitud                         | RD          | 0,997       | 3                  | 0,903         |
|                                      | RM          | 0,984       | 3                  | 0,756         |
|                                      | RR          | 1,000       | 3                  | 0,968         |
| TAC Peso                             | RD          | 0,953       | 3                  | 0,583         |
|                                      | RM          | 0,998       | 3                  | 0,915         |
|                                      | RR          | 0,988       | 3                  | 0,787         |

*Prueba de homogeneidad de varianza de Levene se contrasta las hipótesis:*

H0 = La varianza es igual entre los grupos

H1 = La varianza no es igual entre los grupos

### *Prueba de homogeneidad.*

Tabla 37. Prueba de homogeneidad de varianza

| Prueba de homogeneidad de varianza |        |                    |               |
|------------------------------------|--------|--------------------|---------------|
| Variable dependiente               | Levene | Grados de libertad | Significancia |
| WRI                                | 0,43   | 3                  | 0,667         |
| ECI                                | 2,51   | 3                  | 0,161         |
| TEC Longitud                       | 1,82   | 3                  | 0,241         |
| TEC Peso                           | 0,47   | 3                  | 0,645         |
| TRC Longitud                       | 1,77   | 3                  | 0,249         |
| TRC Peso                           | 0,72   | 3                  | 0,525         |
| TAC Longitud                       | 2,85   | 3                  | 0,135         |
| TAC Peso                           | 2,40   | 3                  | 0,172         |

Como se muestra en la tabla 37, la prueba de homogeneidad de varianza para el índice de reducción de residuos sólidos (por sus siglas en inglés WRI), eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI) y las tasas de crecimiento absoluta, relativa y específica; muestran un P-valor superior al nivel de significancia de 0,05, entonces aceptamos la hipótesis nula y afirmamos que la varianza es igual entre los demás grupos.

Analizando los dos supuestos, la prueba de Shapiro-Wilk que nos indica que todos nuestros parámetros tienen una distribución normal y la prueba de homogeneidad de varianza de Levene afirma que la varianza es igual entre los grupos, por ende, se procedió a realizar el análisis estadístico utilizando la prueba de Tukey ( $p < 0,05$ ).

*Análisis estadístico - índice de reducción de residuos (WRI), eficiencia de conversión de alimentos (ECI) y tasas de crecimiento (TAC, TRC, TEC).*

*Índice de reducción de residuos sólidos orgánicos*

## Hipótesis estadística 1

*índice de reducción de residuos (WRI)*

H0 = No existe diferencia significativa en la reducción de residuos sólidos orgánicos

H1 = Existe diferencia significativa en la reducción de residuos sólidos orgánicos

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la tabla 38, se presenta los resultados del índice de reducción de residuos, se muestra la prueba de significancia de P-valor de 0,000 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; así mismo, esto nos indica que el tipo de residuo orgánico aplicadas en los tratamientos si influyen en la degradación. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual al 2,27 % esto nos indica que existe una relación entre el tamaño de la media y versatilidad de la variable (Vásquez y Caballero, 2011).

*Análisis de varianza paramétrica del índice de reducción de residuos sólidos (WRI).*

Tabla 38. Análisis de varianza paramétrica del índice de reducción de residuos sólidos (WRI)

| Fuente de variación | GL | SC    | CM    | F cal  | F tab | p-valor |
|---------------------|----|-------|-------|--------|-------|---------|
| Residuo orgánico    | 2  | 4,893 | 2,446 | 157,62 | 4,459 | 0,000   |
| Error               | 6  | 0,093 | 0,016 |        |       |         |
| Total               | 8  | 4,986 |       |        |       |         |

## Hipótesis estadística 2

### Eficiencia de conversión de los alimentos ingeridos (ECI)

H0 = No existe diferencia significativa en la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos de residuos sólidos orgánicos

H1 = Existe diferencia significativa en la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos de residuos sólidos orgánicos

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la tabla 39, se presenta los resultados eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI), se muestra la prueba de significancia de P-valor de 0,214 siendo mayor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis alterna y afirmamos que, no existe diferencia significativa entre los tratamientos; así mismo, esto nos indica que el tipo de residuo orgánico aplicadas en los tratamientos no influyen significativamente en la conversión de alimentos ingeridos. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual al 6,87 % esto nos indica que los datos evaluados son confiables, ya que Vásquez (1990) indica que para datos experimentales el coeficiente de variación no debe superar al 25 %.

*Análisis de varianza paramétrica de la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI).*

Tabla 39. Análisis de varianza paramétrica de la eficiencia de conversión de alimentos ingeridos (ECI)

| Fuente de variación | GL | SC     | CM    | F cal | F tab | p-valor |
|---------------------|----|--------|-------|-------|-------|---------|
| Residuo orgánico    | 2  | 6,865  | 3,433 | 2,010 | 4,459 | 0,214   |
| Error               | 6  | 10,233 | 1,705 |       |       |         |
| Total               | 8  | 17,098 |       |       |       |         |

### Hipótesis estadística 3

#### Tasa absoluta de crecimiento (TAC) en longitud

$H_0$  = No existe diferencia significativa en la tasa absoluta crecimiento en longitud de larvas de mosca doméstica

$H_1$  = Existe diferencia significativa en la tasa absoluta de crecimiento en longitud de larvas de mosca doméstica

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la tabla 40, se presenta los resultados de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en longitud de larvas de mosca doméstica, se muestra la prueba de significancia de P-valor de 0,000 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; así mismo, esto nos indica que el tipo de residuo orgánico aplicadas en los tratamientos si influyen en tasa absoluta de crecimiento. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual al 8,41 % esto nos indica que los datos evaluados son confiables, ya que Vásquez (1990), indica que para datos experimentales el coeficiente de variación no debe superar al 25 %.

Análisis de varianza paramétrica de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en longitud

Tabla 40. Análisis de varianza paramétrica de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en longitud

| Fuente de variación | GL | SC     | CM     | F cal | F tab | p-valor |
|---------------------|----|--------|--------|-------|-------|---------|
| Residuo orgánico    | 2  | 2,1275 | 1,0638 | 15,78 | 4,459 | 0,004   |
| Error               | 6  | 0,4046 | 0,0674 |       |       |         |
| Total               | 8  | 2,5321 |        |       |       |         |

## Hipótesis estadística 4

### Tasa absoluta de crecimiento (TAC) en peso

H0 = No existe diferencia significativa en la tasa absoluta crecimiento en peso de larvas de mosca doméstica

H1 = Existe diferencia significativa en la tasa absoluta de crecimiento en peso de larvas de mosca doméstica

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la tabla 41, se presenta los resultados de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en peso de larvas de mosca doméstica, se muestra la prueba de significancia de P-valor de 0,004 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; así mismo, esto nos indica que el tipo de residuo orgánico aplicadas en los tratamientos si influyen en la tasa absoluta de crecimiento. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual al 15,97 % esto nos indica que los datos evaluados son confiables, ya que Vásquez (1990), indica que para datos experimentales el coeficiente de variación no debe superar al 25 %.

*Análisis de varianza paramétrica de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en peso.*

Tabla 41. Análisis de varianza paramétrica de la tasa absoluta de crecimiento (TAC) en peso

| Fuente de variación | GL | SC     | CM    | F cal | F tab | p-valor |
|---------------------|----|--------|-------|-------|-------|---------|
| Residuo orgánico    | 2  | 2,128  | 1,064 | 15,78 | 4,459 | 0,004   |
| Error               | 6  | 0,4046 | 0,067 |       |       |         |
| Total               | 8  | 2,5321 |       |       |       |         |

## Hipótesis estadística 5

### Tasa relativa de crecimiento (TRC) en longitud

H0 = No existe diferencia significativa en la tasa relativa crecimiento en longitud de larvas de mosca doméstica

H1 = Existe diferencia significativa en la tasa relativa de crecimiento en longitud de larvas de mosca doméstica

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la tabla 42, se presenta los resultados de la tasa relativa de crecimiento (TRC) en longitud de larvas de mosca doméstica, se muestra la prueba de significancia de P-valor de 0,001 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; así mismo, esto nos indica que el tipo de residuo orgánico aplicadas en los tratamientos si influyen en tasa relativa de crecimiento. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual al 4,49 % esto nos indica que los datos evaluados son confiables, ya que Vásquez (1990), indica que para datos experimentales el coeficiente de variación no debe superar al 25 %.

### *Análisis de varianza paramétrica de la tasa relativa de crecimiento (TRC) en longitud*

Tabla 42. Análisis de varianza paramétrica de la tasa relativa de crecimiento (TRC) en longitud

| Fuente de variación | GL | SC     | CM    | F cal  | F tab | p-valor |
|---------------------|----|--------|-------|--------|-------|---------|
| Residuo orgánico    | 2  | 13,941 | 6,970 | 52,360 | 4,459 | 0,001   |
| Error               | 6  | 0,799  | 0,133 |        |       |         |
| Total               | 8  | 14,739 |       |        |       |         |

## Hipótesis estadística 6

### Tasa relativa de crecimiento (TRC) en peso

$H_0$  = No existe diferencia significativa en la tasa relativa crecimiento en peso de larvas de mosca doméstica

$H_1$  = Existe diferencia significativa en la tasa relativa de crecimiento en peso de larvas de mosca doméstica

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la tabla 43, se presenta los resultados de la tasa relativa de crecimiento (TRC) en peso de larvas de mosca doméstica, se muestra la prueba de significancia de P-valor de 0,001 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; así mismo, esto nos indica que el tipo de residuo orgánico aplicadas en los tratamientos si influyen en la tasa relativa de crecimiento. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual al 6,07 % esto nos indica que los datos evaluados son confiables, ya que Vásquez (1990), indica que para datos experimentales el coeficiente de variación no debe superar al 25 %.

### *Análisis de varianza paramétrica de la tasa relativa de crecimiento (TRC) en peso*

Tabla 43. Análisis de varianza paramétrica de la tasa relativa de crecimiento (TRC) en peso

| Fuente de variación | GL | SC     | CM     | F cal  | F tab | p-valor |
|---------------------|----|--------|--------|--------|-------|---------|
| Residuo orgánico    | 2  | 28,799 | 14,340 | 28,540 | 4,459 | 0,001   |
| Error               | 6  | 3,027  | 0,5045 |        |       |         |
| Total               | 8  | 31,826 |        |        |       |         |

## Hipótesis estadística 7

### Tasa específica de crecimiento (TEC) en longitud

#### Hipótesis estadísticas

H0 = No existe diferencia significativa en la tasa específica de crecimiento en longitud de larvas de mosca doméstica

H1 = Existe diferencia significativa en la tasa específica de crecimiento en longitud de larvas de mosca doméstica

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la tabla 44, se presenta los resultados de la tasa específica de crecimiento (TEC) en longitud de larvas de mosca doméstica, se muestra la prueba de significancia de P-valor de 0,000 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; así mismo, esto nos indica que el tipo de residuo orgánico aplicadas en los tratamientos si influyen en tasa específica de crecimiento. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual al 3,97 % esto nos indica que los datos evaluados son confiables, ya que Vásquez (1990), indica que para datos experimentales el coeficiente de variación no debe superar al 25 %.

#### *Análisis de varianza paramétrica de la tasa específica de crecimiento (TEC) en longitud*

Tabla 44. Análisis de varianza paramétrica de la tasa específica de crecimiento (TEC) en longitud

| Fuente de variación | GL | SC     | CM    | F cal | F tab | p-valor |
|---------------------|----|--------|-------|-------|-------|---------|
| Residuo orgánico    | 2  | 11,021 | 5,510 | 58,56 | 4,459 | 0,000   |
| Error               | 6  | 0,564  | 0,094 |       |       |         |
| Total               | 8  | 11,585 |       |       |       |         |

## Hipótesis estadística 8

### Tasa específica de crecimiento (TEC) en peso

H0 = No existe diferencia significativa en la tasa específica de crecimiento de larvas de mosca doméstica

H1 = Existe diferencia significativa en la tasa específica de crecimiento de larvas de mosca doméstica

Nivel de significancia Alfa= 5 % = 0,05

En la tabla 45, se presenta los resultados de la tasa específica de crecimiento (TEC) en peso de larvas de mosca doméstica, se muestra la prueba de significancia de P-valor de 0,001 siendo menor a ( $p < 0,05$ ); por lo tanto, rechazamos la hipótesis nula y afirmamos que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos; así mismo, esto nos indica que el tipo de residuo orgánico aplicadas en los tratamientos si influyen en la tasa específica de crecimiento. Por otro lado, el coeficiente de variación (CV) igual al 5,02 % esto nos indica que los datos evaluados son confiables, ya que Vásquez (1990), indica que para datos experimentales el coeficiente de variación no debe superar al 25 %.

*Análisis de varianza paramétrica de la tasa específica de crecimiento (TEC) en peso.*

Tabla 45. Análisis de varianza paramétrica de la tasa específica de crecimiento (TEC) en peso

| Fuente de variación | GL | SC     | CM    | F cal | F tab | p-valor |
|---------------------|----|--------|-------|-------|-------|---------|
| Residuo orgánico    | 2  | 18,681 | 9,341 | 32,51 | 4,459 | 0,001   |
| Error               | 6  | 1,724  | 0,287 |       |       |         |
| Total               | 8  | 20,405 |       |       |       |         |

## Conclusiones

Las larvas de la mosca doméstica (*Musca domestica* L.), son capaces de digerir y degradar residuos orgánicos de manera eficaz, el índice de reducción de residuos orgánicos varía en relación directa al tipo de residuo empleado, los residuos domiciliarios (RD) fue el mejor tratamiento con un índice de reducción de 1,167 %/día, donde las larvas degradan hasta 4 veces su peso en un periodo de vida de 9 días. En relación a la conversión de alimentos ingeridos por larvas de mosca doméstica, se demostró estadísticamente que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, siendo el mejor tratamiento residuos domiciliarios (RD) con 11,840 %.

En relación al incremento de longitud de larvas de mosca doméstica, las tasas de crecimiento absoluta (TAC), relativa (TRC) y específica (TEC) fueron significativamente diferentes ( $p < 0,05$ ) en todos los tratamientos, además el tipo de sustrato afectó significativamente la capacidad de las larvas para desarrollarse con respecto a la tasa de crecimiento, la mortalidad, y la transformación en pupas. Las diferencias observadas se relacionan directamente con el mayor contenido de proteínas en el sustrato, donde el incremento máximo diario de longitud y peso total en larvas de mosca doméstica fue de 0,333 mm/día y 2,254 mg/día con sustrato de los residuos domiciliarios (RD), cuanto mayor es la tasa de crecimiento de las larvas de mosca doméstica, más alto es el índice de reducción de residuos orgánicos.

El contenido proteico de las larvas obtenidas de la degradación fue similar en los tres sustratos de alimentación contiene un alto potencial como sustituto nutricional, se pueden resaltar las diferencias en el porcentaje de proteína y grasas, donde el mayor contenido de proteínas y grasas se encuentra en larvas alimentadas con residuos de mercado

(RM) con un valor de 61,7 % y 23,74 % respectivamente, esta diferencia se debe a una combinación de factores, tales como: las características del sustrato, tipo de larvas y las condiciones de desarrollo.

### **Recomendaciones**

Considerar opciones de post tratamiento, dado que los resultados de pH de los residuos orgánicos demuestran que el sustrato procesado por las larvas de mosca doméstica cuenta con las características apropiadas para ser composteado o utilizado como materia prima en lumbricultura.

Realizar nuevos estudios sobre el uso de organismos saprófitos del ecosistema andino como hongos, bacterias y lombrices para transformar la materia orgánica en proteína de alto valor.

Evaluar la viabilidad de las larvas obtenidas de la degradación de residuos orgánicos, ya que los resultados muestran un alto potencial como sustituto nutricional, además ampliar los datos sobre el valor nutritivo de las especies de insectos comestibles y su contribución a los seres humanos y animales, desarrollo de nuevos modos de integrar los insectos en las dietas de una amplia gama de consumidores a través de la creación de productos basados en insectos, así como procedimientos sanitarios que permitan garantizar la seguridad de alimentos.

Mejorar la mecanización, la automatización, el procesamiento y la logística con la finalidad de reducir los costos de producción a un nivel comparable con otras fuentes de bioconversión.

# Capítulo 5

## 5. Estudio del tratamiento biológico de residuos orgánicos en Ecuador.

La gestión sostenible de residuos orgánicos es fundamental en la actualidad, desafío que consiste en la valorización de los residuos, la investigación y el desarrollo de nuevas tecnologías. Si bien los gobiernos de América latina y el caribe han realizado un gran esfuerzo para abordar estos desafíos en los últimos años, queda mucho trabajo por hacer para lograr las metas de la agenda 2030 (Savino et al., 2018). Esto se debe principalmente a que las metas de los Objetivos de Desarrollo Sostenible (ODS) en esta área son ambiciosas. ODS 11- “Ciudades y comunidades sostenibles” tiene como objetivo lograr lo siguiente para 2030 “reducir el impacto ambiental negativo generado en las ciudades per cápita, con especial atención a la calidad del aire y la gestión de los residuos municipales y de otro tipo”. Asimismo, el ODS 12, “Producción y Consumo Responsables”, incluye entre sus metas “reducir significativamente la generación de residuos a través de la prevención, reducción, reciclaje y reutilización” (Nations, 2016). Reducir el desperdicio de alimentos y las pérdidas de alimentos en las cadenas de producción y suministro es otra meta de este ODS (Landells et al., 2022). Sin duda, el logro de estos objetivos requiere sinergias entre los gobiernos y los diferentes sectores y/o actores involucrados en la gestión de los residuos sólidos urbanos RSU, fortaleciendo las prácticas de separación de residuos y brindando un marco legal que apunte a promover alternativas de gestión y reciclaje de residuos (de Miguel et al., 2021).

De igual forma, es necesario implementar estrategias que conduzcan a un modelo de desarrollo alternativo y más sustentable. En este sentido, la economía circular (EC) y la bioeconomía (BE) se han

convertido en herramientas clave para alejarse de las prácticas tradicionales de producción y consumo lineal (International Advisory Council on Global Bioeconomy, 2020; Schröder et al., 2020). Estos Modelos de Producción Sostenible y Circular (MPCS) priorizan la gestión eficiente de los recursos y la reincorporación de residuos a los procesos productivos para evitar pérdidas de materiales valiosos y reducir los impactos ambientales (European Environment Agency, 2018). Bajo el enfoque MPCS se promueve la reducción de residuos que van a vertederos (Schröder et al., 2020). Asimismo, la conversión de residuos en productos valiosos (enmiendas orgánicas, alimentación animal, bioenergía, biocombustibles) contribuye al desarrollo de nuevos mercados. Al mismo tiempo, genera incentivos económicos y reducciones de emisiones de gases de efecto invernadero (de Miguel et al., 2021). La fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos constituye una importante materia prima en el contexto de los Modelos de Producción Sostenible y Circular (Pavolová et al., 2020).

Se han desarrollado una serie de instrumentos estratégicos y normativos relacionados con la bioeconomía. Estos planes, programas y/o políticas están relacionados con la bioenergía, la biotecnología, la tecnología, la innovación y continúan acciones específicas relacionadas con la reducción y/o valorización de residuos. El informe de la Consejo Asesor Internacional sobre Bioeconomía Global señala que varios de estos países, principalmente Argentina, Brasil y Ecuador, han trabajado en el desarrollo de estrategias específicas; sin embargo, el proceso de adopción ha sido lento (IACGB, 2020).

La generación de residuos en áreas urbanas del Ecuador representa el 70 % de la producción total de residuos a nivel nacional, y el 84,7 % de los residuos es una mezcla de materiales que requiere un esfuerzo considerable para su clasificación y que en su mayoría va directamente

a los rellenos sanitarios (INEC, 2020). Los residuos sólidos domésticos representan una proporción significativa de los residuos sólidos urbanos, y la cantidad crece cada año (INEC, 2020; Wang et al., 2018). Se estima que para el 2025 la generación de residuos sólidos urbanos en Ecuador será de 18 041 ton\*día-1 (Ibarra-López et al., 2020) esto debido a que su legislación en materia de gestión ambiental es muy reciente en el Ecuador, no es muy estricta, siendo inaplicable en la mayoría de los casos (Zghair & Ali, 2017).

Ecuador aún no ha logrado implementar prácticas de gestión sostenible de residuos en sus 220 Municipios. Durante décadas, las prácticas precarias de manejo de residuos sólidos en Ecuador han generado impactos ambientales en zonas con alta biodiversidad donde se contaminan el suelo, el agua y el aire (Del Hierro-Calvachi, 2016), una realidad resaltante es que en la Región de Chimborazo, más del 80 % de los residuos sólidos municipales generado son dispuestos al medio ambiente debido a la falta de una estrategia de gestión eficiente de residuos (Jara-Samaniego et al., 2017). Además, con base en la información proporcionada por el Ministerio del Medio Ambiente, se determinó que cada habitante del Ecuador tiene una producción per cápita promedio nacional (PPC) de 0,7 kg/habitante/día de residuos sólidos, de los cuales el 55,65 % son corresponde a residuos orgánicos (Solíz et al., 2020). Debido a los patrones cambiantes de estilo de vida y la modernización del país es necesario se profundicen nuevos enfoques en los tratamientos existentes de los residuos sólidos urbanos.

## **5.1. Estudios e Investigaciones previas en Ecuador**

En Ecuador, existe escasa información científica publicada sobre la bioconversión de residuos orgánicos basada en invertebrados, además existe un vacío en el conocimiento sobre el uso de harinas de insecto

como alternativa nutricional, sin embargo, en este apartado, solo vamos a destacar aquellos estudios cuyo nivel de aporte es el más reciente. A continuación, se muestran algunos acercamientos teóricos en torno al objeto de estudio. El estudio de Del Hierro et al., (2021) desarrolló en climas tropicales rurales una de las investigaciones más recientes de Ecuador en tema de bioconversión utilizando la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) para transformar diferentes tipos de sustratos diferentes: verduras, frutales, carne, estiércol de cerdo y residuos domésticos mixtos. Los resultados de la investigación presentaron un porcentaje de bioconversión del 77,66 % para la prueba de control, seguido de un 55 % para el sustrato de residuos orgánicos domésticos (fuente), las larvas de mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) mostraron un mejor comportamiento en residuos orgánicos mixtos y una mayor supervivencia en sustratos blandos con pequeños gránulos; siendo esta una de las pocas alternativas de bioconversión experimentados en Ecuador.

El estudio de Morales-Quintana (2021) evaluó la biotransformación de residuos orgánicos con larvas de *Hermetia illucens* como alternativa a la falta de modelos adecuados de gestión sostenible de residuos en el sector de la agricultura y la alimentación urbana. Para ello, se determinaron las tasas de bioconversión larvaria de tres residuos orgánicos diferentes, evaluando la eficiencia de reducción y el tiempo de desarrollo del ciclo de vida, en un pequeño ensayo a 100 mg/larva/día: 1 Restos de frutas y verduras (RFV), 2 Restos animales y vísceras (RAV), 3 Restos de comida de restaurante (RCR) y una nutrición controlada por Alimento para pollos (APP). Finalmente, la mayor eficiencia de conversión se logró con APP a una tasa de bioconversión de 6,57 % y una tasa de conversión alimenticia de 7,22 %, sin embargo, se lograron las mayores tasas de reducción de peso residual y prepupal con RAV al 55,76 %

y 107,39 g, respectivamente. Además, el tiempo de crecimiento más corto en APP fue de 81,37 días, lo que representa el sustrato ideal para su crecimiento, en contraste con los residuos que tardaron de 92,6 a 100,6 días. La hipótesis mostró que la tasa de biotransformación y el tiempo del ciclo de vida de *H. illucens* variaron según la dieta con la que se criaron y concluyó con un valor de  $p < 0,05$  por variable que la especie ofrece grandes oportunidades como una alternativa de solución para la gestión sostenible de los residuos orgánicos.

En el estudio de Garzón & Mesías (2019) determinaron la calidad bromatológicas de las larvas de mosca doméstica, evaluar la eficiencia de conversión de biorresiduos en proteína y grasa viva, y determinar el índice de larvas de mosca doméstica como una alternativa viable en la producción de alimentos para animales. Las larvas se secaron durante diez días hasta un contenido de humedad de 12-14 %. La conversión de biorresiduos en larvas vivas mostró una eficiencia del 12,7 %. Se encontró que las larvas de mosca tenían un alto valor nutricional de 49,03 % de proteína y 35,06 % de grasa. Las larvas de mosca son de mayor calidad que la harina de pescado, por lo que pueden ser consideradas como una alternativa sostenible en la producción de alimentos para animales.

# Capítulo 6

## 6. Residuos orgánicos y su erradicación mediante larvas de *Musca Domestica*

Uno de los panoramas más preocupantes a nivel global es el incremento de residuos, sobre todo en ciudades con enormes cantidades de habitantes, muchas de estas ciudades como nunca se han visto en la necesidad de acrecentar su producción, cuestión preocupantes, pues debido a esto, la demanda de alimentos y la cría de animales han traído una gran producción de residuos como respuesta a la modernización que cada día crece sin ningún tipo de control, esto sin mencionar que las ciudades traen el flujo de otros habitantes que buscan mejorar sus condiciones de vida, aunado a ello, el agotamiento de recursos y por supuesto, el daño ecológico, que de igual manera, también se ve afectado. No obstante, y como se decía líneas arriba, el incremento acelerado de residuos ha dejado a su paso enormes estragos no solo porque estos pueden generar más contaminación, sino porque este escenario es propicio para la aparición de vectores y con ellos, enfermedades que afectan de manera gradual la salud de los seres humanos.

Si bien como se sostuvo en el presente trabajo, el empleo de larvas de mosca puede contribuir a erradicar a los residuos, es también oportuno señalar que las larvas de estos insectos pueden ser aprovechados con fines que hasta hace unos años atrás era impensable. Se habla, claro está, de la producción de alimentos con fines netamente agrícolas o agropecuarios. Por otro lado, que sirvan de alimentos de otras especies y, de este modo, contribuya a ciclos altamente favorables no solo para la economía, sino desde dimensiones ambientales. No cabe duda que la *musca domestica* ha sido crucial en la vida del hombre ya que esta ha sido a través de los años, un importante agente que, si bien por un lado,

transmite enfermedades al hombre, por el otro, ha sido determinante en la erradicación de residuos, tal y como ha sido sistematizado en el presente estudio, lo cual es loable las competencias que este insecto puede llegar a tener en un futuro, como se dijo en anteriores apartados donde su incidencia no sea solo devastadora, sino más bien aprovechable, desde las dimensiones biológicas e incluso productivas. En relación a este último punto, los insectos son una de las fuentes más potenciales, ya sea para el consumo netamente humano o en la generación de alimentos para otras especies, por ejemplo, el empleo de las larvas de mosca doméstica como fuente de proteínas en la alimentación animal que se puede bien aprovechar en una variedad de sustratos, tales como las excretas de otras especies, y que la población la consideran residuos, estos se podrían aprovechar ya que las larvas de estos insectos y al entrar en contacto con ellas, disminuye de forma significativa tanto la humedad como el olor desagradable características de las excretas frescas (Teotia y Miller citados por Casanovas et al., 2021).

Durante décadas el mundo ha venido enfrentando duros tropiezos en torno a la eliminación de los residuos que buena parte es responsabilidad de las sociedades quienes en su afán por desarrollarse a través de la tecnificación y el progreso han olvidado que la contaminación es una bomba de tiempo, cada día con menos tiempo para las generaciones futuras. De allí que el aprovechamiento sostenido sea mediante el empleo de diversas formas con el fin de erradicar o al menos para el debido control de los residuos, en aras, por supuesto de la supervivencia y la vida en el planeta.

Las mosca domestica forma parte de una de las especies más cuesta arriba para hacerle frente, así como para controlar en el amplio abanico de vectores existentes en el mundo animal, atacando el hábitat del hombre. La mayoría de este grupo díptero, por lo general, ha venido

atacando diversos lugares donde habita el hombre, puesto que son capaces de convivir en su mismo terreno, de allí que se les considere sinantrópicas, por sus elevados niveles de contaminación no solo a los alimentos, sino a otras especies.

Si bien el presente estudio ha sabido establecer miramientos acerca de la erradicación de residuos empleando larvas de mosca doméstica, ha sido también una investigación en torno a las cuantiosas pérdidas en cuanto a biodiversidad y ecosistemas varios. Estas pérdidas a nivel mundial han sido significativas, fuera de los costes de producción que de igual modo han padecido los estragos dejados por la contaminación ambiental.

# Bibliografía

Abreus, J. y Bravo, Y. (2021). Gestión de los residuos sólidos urbanos como potencialidad energética en el desarrollo local del municipio Cienfuegos. *Revista Científica, Cultura, Comunicación y Desarrollo*, 6(1), 73-81. <https://rccd.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/280>

Álvarez, N. y Carballo, N. (2021). Metodología, diseño, población y muestra: Del manejo de los residuos orgánicos en actividades agropecuarias. *Revista Ambientis Occidentales*, 3, 42-51. <http://revistas.unellez.edu.ve/index.php/ambientis/article/view/1259>

Aquino-Gil, M. O., Aquino-Gil, M. A., Aquino-Gómez, V. M., Soto-López, G., & Andres-Rodriguez, C. (2013). Aprovechamiento de la proteína del estado larvario de la mosca comun *Musca domestica* para la elaboración y evaluación de alimento para codorniz (Instituto). Retrieved from <http://www.entomologia.socmexent.org/revista/2012/AGR/Agroecología.pdf>

Arango, G. P., Vergara, R. A., & Mejía, H. (2004). Analisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de *Hermetia illuscens* L. (diptera:stratiomyiidae) en angelópolis-antioquia. *Revista Facultad Nacional de Agronomía*, 57(2), 2491–2500. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/refame/article/view/24234>

Association of Official Analytical Chemists [AOAC]. (2019). *Official Methods for Analysis of the Association of Official Analytical Chemists*, 21th edition. Arlington, VA, 1141 pp. Retrieved from <https://www.worldcat.org/title/official-methods-of-analysis-of-aoc-international/oclc/1083121776>

- Aubert de la Parra, I., Martínez, J. J., & Borbolla, G. (2001). Efecto del ensilaje y la biodegradación con larva de mosca sobre las características nutricionales y bacterianas de la excreta de cerdo. *Mediagraphic*, 32(4), 249-256. <https://www.medigraphic.com/pdfs/vetmex/vm-2001/vm014b.pdf>
- Ballesteros, M., Hernández, M., de la Rosa, I., Mañón, M. y Carreño, M. (2018). Crecimiento microbiano en pilas de compostaje de residuos orgánicos y biosólidos después de la aireación. *Revista Centro Azúcar*, 45, 1-10. <http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S2223>
- Barragan-Fonseca, K. B., Dicke, M. y van Loon, J. (2018). Influence of larval density and dietary nutrient concentration on performance, body protein, and fat contents of black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 166(9), 761-770. <https://doi.org/10.1111/eea.12716>
- Bartra, J. y Delgado, J. (2020). Gestión de Residuos Sólidos Urbanos y su Impacto Medioambiental. *Ciencia Latina. Revista Multidisciplinar*, 4(2), 993-1008. <https://ciencialatina.org/index.php/cienciala/article/view/135>
- Baza, C. y Alvarado, V. (2016). Categorización de las variables inherentes a la responsabilidad social empresarial sobre los residuos sólidos urbanos de PET generados por las empresas refresqueras en México empleando el índice de severidad de Mendenhall. *Análisis Económico*, 31(76), 123–139. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=41344590007>
- Beas, H. (2015). Control microbiológico del desarrollo larvario de moscas (*Musca domestica*) en excretas bovinas. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstre>

- Bonso, N. K. (2013). Bioconversión of Organic Fraction of Solid Waste Using the Larvae of The Black Soldier Fly (*Hermentia illucens*). Facultad de Ingeniería-Universidad Kwame Nkrumah de Ciencia y Tecnología, Kumasi-Ghana. <http://ir.knust.edu.gh/bitstream>
- Bustamante, Y. (2014). Gestión de residuos sólidos biodegradables para el logro de la ecoeficiencia en la universidad. *Revista de Investigación de la Facultad de Ciencias Administrativas, UNMSM*, 17-II (34), 73-79. <https://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/administrativas/article/download/11696/10486/40807>
- Casal, J., & Mateu, E. (1992). Tipos de muestreo. *Rev. Epidem. Med. Prev.*, 339(8784), 63. [https://doi.org/10.1016/0140-6736\(92\)90193-7](https://doi.org/10.1016/0140-6736(92)90193-7)
- Casanovas, E., Suárez, A. y Álvarez, A. (2021). Rendimiento de larvas de moscas (*Musca Domestica* L.) con diferentes proporciones de germen de maíz y heces fecales porcinas. *Revista Científica Agroecosistemas*, 9 (2), 13-18. <https://aes.ucf.edu.cu/index.php/aes/article/view/463>
- Castañeda-Torres, S. y Rodríguez-Miranda, J. (2017). Modelo de aprovechamiento sustentable de residuos sólidos orgánicos en Cundinamarca, Colombia. *Universidad y Salud*, 19(1), 116-125. DOI: <http://dx.doi.org/10.22267/rus.171901,75>
- CCA. (2017). Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal.
- Cerón, A. (2016). Bioconversión de biomasa vegetal para uso industrial. [Online] México Ciencia y Tecnología. Available at:: <http://www.cienciamx.com/index.php/ciencia/ambiente/11769-bioconversion-de-biomasa-vegetal-para-uso-industrial> [Accessed 15 Oct. 2019].

- Chávez, C., López, F., Palate, X. y Jacome, C. (2021). Potencialidad de Biocombustibles a partir de Residuos Orgánicos. *Revista Scientific*, 6(21), 21-39. <https://doi.org/10.29394/Scientific.issn.2542-2987,2021,6,21,1,21-39>
- Chil-Núñez, I., Martins, P., Escalona-Arranz, J., Guisado, F. y de Carvalho, M. (2020). Larvicide and insecticide activity of the essential oil of *Ocimum sanctum* var. *cubensis* in the control of *Musca domestica* (Linnaeus, 1758), under laboratory conditions. *Amazonia, Investiga*, 9(34), 24-33. DOI: <https://doi.org/10.34069/AI/2020,34,10,3>
- Čičková, H., Pastor, B., Kozánek, M., Martínez-Sánchez, A., Rojo, S., & Takáč, P. (2012). Biodegradation of Pig Manure by the Housefly, *Musca domestica*: A Viable Ecological Strategy for Pig Manure Management. *PLoS ONE*, 7(3), e32798. doi:10.1371/journal.pone.0032798
- Cohen, A.C. (2015). *Insect Diets: Science and Technology*. (2da Edición). CRC Press, London, UK. <https://doi.org/10.1201/b18562>
- Comisión para la Cooperación Ambiental [CCA]. (2017). Caracterización y gestión de los residuos orgánicos en América del Norte, informe sintético, Comisión para la Cooperación Ambiental, Montreal, 52 pp. Retrieved from <http://www3.cec.org/islandora/en/item/11770-characterization-and-management-organic-waste-in-north-america-white-paper-es.pdf>
- Corbalá-Bermejo, J., Vargas-Magaña, J., López-Téllez, N., Lastra-del Rivero, C., Cu-Contreras, J. y Castollo-Salas, J. (2019). Uso de proteína derivada de larvas de mosca doméstica (*Musca domestica*) para el cultivo de tilapia (*Oreochromis niloticus*).

Revista Iberoamericana de Ciencias, 6(1), 1-10. <http://www.reibci.org/publicados/2019/feb/2500103.pdf>

De Miguel, C., Martínez, K., M., P., & Kohout, M. (2021). Economía circular en América Latina y el Caribe. CEPAL, 401, 11–20. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/>

articulo?codigo=5771932&info=resumen&idioma=SPA%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/

articulo?codigo=5771932&info=resumen&idioma=ENG%0Ahttps://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5771932

Del Hierro-Calvachi, A. (2016). Solid waste management in Ecuador: current practices and future challenges of anaerobic bioconversion of organic waste for agricultural purposes. AGRIS, 2019. <https://minerva-access.unimelb.edu.au/handle/11343/92010>

Del Hierro, A. G., Anrango, M. J., Ortiz, D., & Sánchez, L. (2021). Captura y cría de la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) para la biodegradación de desechos orgánicos en Puerto Quito, Ecuador. Ecuadorian Science Journal, 5(3), 341–354. <https://doi.org/10.46480/esj.5.3.164>

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

Diener, S., Zurbrügg, C., & Tockner, K. (2009). Conversion of organic material by black soldier fly larvae: Establishing optimal feeding rates. Waste Management and Research, 27(6), 603–610. <https://doi.org/10.1177/0734242X09103838>

- Faz, L. y Meneses, P. (2007). Monitoreo de la mosca doméstica, *Musca doméstica* en Zootecnia y evaluación del control de roedores en la unidad de aves en Zamorano, Honduras. [tesis de pregrado, Ciencia y Producción Agropecuaria. Zamorano, Honduras]. Repositorio Institucional. <https://bdigital.zamorano.edu/bitstream/11036/760/1/T2522.pdf>
- Flores, J. (2021). Propuesta de una planta para el tratamiento de residuos orgánicos en la ciudad de Tambogrande. Ingeniería y sus alcances, *Revista de investigación*, 5(12), 111-122. <https://doi.org/10.33996/revistaingenieria.v5i12.78>
- Garzón, L. y Mesías, D. (2019). Evaluación de calidad bromatológica de grasa y proteína obtenida de larva de mosca (Doméstica), para un uso sostenible en la industrial alimenticia peruana. [tesis de pregrado, Universidad Técnica de Cotopaxi, Latacunga, Ecuador]. <http://repositorio.utc.edu.ec/handle/27000/5247>
- González, J., Jiménez, R., Castellanos, L., Martin, C., Ramírez, F. y Grillo, H. (2016). Algunos aspectos de la ecología y la biología de *Asyndetus* sp., biorregulador de la mosca común. *Centro Agrícola*, 43 (3), 30-36. <http://scielo.sld.cu/pdf/cag/v43n3/cag04316.pdf>
- Green, TR y Popa, R. (2012). Enhanced Ammonia Content in Compost Leachate Processed by Black Soldier Fly Larvae. *Bioquímica aplicada y biotecnología*, 166 (6), 1381-1387. DOI: 10.1007 / s12010-011-9530-6
- Ground, C., Permana, A. D., Esther, J., & Eka, N. R. (2018). Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Fed on Spent Growth of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) Larvae Fed on Spent Coffee Ground. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/187/1/012070>

- Guerrero, L. A., Maas, G., & Hogland, W. (2013). Solid waste management challenges for cities in developing countries. *Waste Management*, 33(1), 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.09.008>
- Guzmán, T., Pérez, O., Valdés, O. (2020). Biodegradación de residuos sólidos urbanos utilizando cultivos microbianos y biofiltro estático de *Eisenia foética*. *Tecnología Química*, 40(1), 81-92. <http://scielo.sld.cu/scielo>
- Henry, M., Gasco, L., Piccolo, G., & Fountoulaki, E. (2015). Review on the use of insects in the diet of farmed fish : Past and future. *Animal Feed Science and Technology*, 203, 1–22. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2015.03.001>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación.
- Hoornweg, D., & Bhada, P. (2012). What a Waste : A Global Review of Solid Waste Management. Urban development series;knowledge papers no. 15. World Bank, Washington, DC. © World Bank. Retrieved from <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/17388>
- Huamaní, C., Tudela, J. y Huamaní, A. (2020). Gestión de residuos de la ciudad de Juliaca – Puno – Perú. *Journal of High Andean Research*, 22(1), 49-56. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2020.541>

- Hussein, M., Pillai, V. V., Goddard, J. M., Park, H. G., Kothapalli, S., Ross, D. A., ... Selvaraj, V. (2017). Sustainable production of housefly ( *Musca domestica* ) larvae as a protein-rich feed ingredient by utilizing cattle manure. 1–19. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171708>
- Ibáñez-Bernal, S. y Sandoval-Ruiz, C. (2021). Los enviados de Belcebú: moscas y mosquitos (Diptera) exóticos con interés médico y veterinario en México. *Revista Científica Multidisciplinaria de Prospectiva*, 28(1), 1-17. DOI: <https://doi.org/10.30878/ces.v28n1a8>
- Ibarra-López, B. E., Narváez-Castro, M. L., & De la Rosa, A. (2020). Análisis De La Disposición De Los Desechos Sólidos Y Generación De Biogas En El Relleno Sanitario De Ambato, Ecuador. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales. Investigación, Desarrollo y Práctica*, 13(3), 988. <https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2020.13.3.68441>
- Inciso, E. y Castro, J. (2007). Evaluación de *Spalangia endius* y *Muscidifurax* sp. (Hymenoptera, Pteromalidae) como controladores de *Musca Domestica* en el Perú. *Revista Peruana de Biología*, 13(3), 237-242. <http://www.scielo.org.pe/scielo>
- INEC, I. N. de E. y C. (2020). Gestión de Residuos Sólidos - Boletín Técnico N° 01-2017-GAD Municipales. Dirección de Estadísticas Agropecuarias y Ambientales. Asociación. [https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas\\_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin\\_tecnico.pdf](https://www.ecuadorencifras.gob.ec/documentos/web-inec/Estadisticas_agropecuarias/espac/espac-2018/Boletin_tecnico.pdf)
- Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI]. (2016). Registro Nacional de Municipalidades 2015. Instituto Nacional de Estadística e Informática, 1–24. Retrieved from <https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/boletines/renamu-marzo-2016.pdf>

International Advisory Council on Global Bioeconomy. (2020). Global Bioeconomy Policy Report (IV): A decade of bioeconomy policy development around the world. International Advisory Council on Global Bioeconomy., Iv, 4–165.

Jaime-Huaman, E., Vega-Cisneros, J., Pumaleque-Sucasaca, R., Quispe-Callasi, F. y Vallejos-Chamaya, C. (2021). Caracterización y cuantificación de residuos sólidos en la comunidad rural Vitis, Lima, Perú. *The Biologist*, 19(2), 261-269. DOI: <https://doi.org/10.24039/rtb20211921177>

Jara-Samaniego, J., Pérez-Murcia, M. D., Bustamante, M. A., Paredes, C., Pérez-Espinosa, A., Gavilanes-Terán, I., López, M., Marhuenda-Egea, F. C., Brito, H., & Moral, R. (2017). Development of organic fertilizers from food market waste and urban gardening by composting in Ecuador. *PLoS ONE*, 12(7), 1–17. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0181621>

Javela, L. y Carreño, R. (2017). Análisis microbiológicos en macerados de la mosca doméstica *Musca domestica* como portador de agentes microbianos el restaurante de la venada de la Universidad Surcolombiana sede central Neiva-Huila. *ENTORNOS*, 30(1), 113-123.

Khalid, A., Arshad, M., Anjum, M., Mahmood, T., & Dawson, L. (2011). The anaerobic digestion of solid organic waste. *Waste Management*, 31(8), 1737–1744. <https://doi.org/10.1016/J.WASMAN.2011.03.021>

Kinasih, I., Putra, R. E., Permana, A. D., Gusmara, F. F., Nurhadi, M. Y., & Anitasari, R. A. (2018). Growth performance of Black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) fed on some plant based organic

wastes. HAYATI Journal of Biosciences, 25(2), 79–84. <https://doi.org/10.4308/hjb.25.2.79>

Landells, E., Naweed, A., Pearson, D. H., Karunasena, G. G., & Oakden, S. (2022). Out of Sight , Out of Mind : Using Post-Kerbside Organics Treatment Systems to Engage Australian Communities with Pro-Environmental Household Food Waste Behaviours. Sustainability. <https://doi.org/https://www.mdpi.com/2071-1050/14/14/8699>

Larraín, P. & Salas, C., (2008). House Fly (*Musca domestica* L.) (Diptera Muscidae) Development in Different Types of Manure. Chilean journal of agricultural research, 68(2), 192-197. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-58392008000200009>

León-Gómez, H., Cruz-Vega, C., Dávila-Pórcel, R ., Velasco-Tapia, F. y Chapa-Guerrero, J. (2015). Impacto del lixiviado generado en el relleno sanitario municipal de Linares (Nuevo León) sobre la calidad del agua superficial y subterránea. Revista Mexicana de Ciencias Geológicas, 32(3), 514-526. <http://www.scielo.org.mx/scielo>

Limas, M. y Blanco, J. (2017). Prácticas de consumo-desecho de residuos sólidos domiciliarios en Ciudad Juárez en 2014. Iztapalapa. Revista de ciencias sociales y humanidades, 38(83), 97-132. <https://dx.doi.org/10.28928/revistaiztapalapa>

Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., & Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products : a review with focus on low- and middle- income settings. 81–130. <https://doi.org/10.1007/s11157-017-9422-5>

- López-Vega, M., Ramírez-González, S. y Santos-Herrero, R. (2020). Predicción de la generación de lixiviados en rellenos sanitarios de Residuos Sólidos Urbanos en la ciudad de Santa Clara Cuba. *Tecnología Química*, 41(1), 47-59. <http://scielo.sld.cu/scielo.php>
- Manurung, R., Supriatna, A., Esyanthi, R. R., & Putra, R. E. (2016). Optimal feed rate for biomass production. ~ 1036 ~ *Journal of Entomology and Zoology Studies*, 4(4), 1036–1041. <http://www.entomoljournal.com/archives/2016/vol4issue4/PartK/4-3-163-796.pdf>
- Martínez, Y. y Rivero, C. (2005). Evaluación de diferentes métodos para determinar las fracciones de metales pesados presentes en el suelo. *Revista Ingeniería UC.*, 12(3), 14–20. Retrieved from <https://www.redalyc.org/pdf/707/70712303.pdf>
- Medrano, M., Rivera, F., Guevara, J., Espinosa, R. y García, A. (2021). Persistencia de microorganismos patógenos en biosólidos porcinos provenientes de reactores anaeróbicos. *Revista Sociedades rurales, producción y medio ambiente*
- Meneguz, M., Schiavone, A., Gai, F., Dama, A., Lussiana, C., Renna, M., & Gasco, L. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5776–5784. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127>
- Meraz, A., López, A., García, C., Torres, J. y García, A. (2019). Distribución potencial de *Musca doméstica* en el municipio de Jesús María, Aguascalientes, con el uso de escenarios de cambio climático. *Revista Mexicana de Ciencias Pecuarias*, 10(1), 14-29. <http://dx.doi.org/10.22319/rmcp.v10i1.4241>

- Mertenat, A., Diener, S., & Zurbrugg, C. (2019). Black Soldier Fly biowaste treatment – Assessment of global warming potential. *Waste Management*, 84, 173–181. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.11.040>
- Michel, F. C., Jerome, R., Pecchia, J., & Keener, harnold M. (2004). Mass and Nutrient Losses During the Composting of Dairy Manure Amended with Sawdust or Straw Mass and Nutrient Losses During the Composting Of Dairy Manure Amended with Sawdust or Straw. *Researchgate*, 37–41. <https://doi.org/10.1080/1065657X.2004.10702201>
- Minera, S. (2017). Residuos: clasificación, riesgos y contaminación. *Seguridad Minera. Revista Seguridad Minera*. <https://www.revistaseguridadminera.com/operaciones-mineras/residuos-clasificacion-riesgos-contaminacion/>
- Ministerio del Ambiente [MINAM]. (2015). Guía metodológica para elaborar e implementar un programa de segregación en la fuente y recolección selectiva de residuos sólidos municipales. Lima, Perú. <https://redrrss.minam.gob.pe/material/20150302175316.pdf>
- Modak, P., Wilson, D.C., & Velis, C. (2015). Chapter 3: Waste Management: Global Status. In: Wilson, DC, (ed.) *Global Waste Management Outlook*. UNEP, pp. 51-88. ISBN 978-92-807-3479-9. <https://doi.org/10.18356/765baec0-en>
- Moissant de Román, E., Tkachuk, O. y Roman, R. (2004). Detección de agentes bacterianos en adultos de *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) recolectadas en Maracay, Estado Aragua, Venezuela. Estudio preliminar. *ENTOMOTRÓPICA*, 19(3), 161-164.

- Montgomery, D. C. (2004). *Diseño y Análisis de Experimentos*. Limusa Wiley. Retrieved from [https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o\\_y\\_an%C3%A1lisis\\_de\\_experimentos\\_Douglas\\_C.\\_Montgomery](https://www.academia.edu/9101936/Dise%C3%B1o_y_an%C3%A1lisis_de_experimentos_Douglas_C._Montgomery)
- Montoya, A., Valencia, S., Sánchez, A. y Vélez, J. (2018). Valoración de los residuos de la Comuna Dos de Bello (Antioquía), como sistema alternativo de aprovechamiento. *Cuaderno Activa*, 10(1), 67-86. <https://ojs.tdea.edu.co/index.php/cuadernoactiva/article/view/494>
- Morales-Quintana, J. (2021). Biotransformación de residuos orgánicos a partir del manejo ex situ de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae) como una alternativa para la gestión sostenible de los desechos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito. In Universidad Central de Ecuador. [http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/23015/1/UCE-FCB-MORALES\\_JONNATHAN.pdf](http://www.dspace.uce.edu.ec/bitstream/25000/23015/1/UCE-FCB-MORALES_JONNATHAN.pdf)
- Municipalidad Provincial de San Román Juliaca [MPSR]. (2005). Plan Director de Juliaca 2004 – 2015. Oficina del Plan Director de Juliaca [archivo PDF], Retrieved from [http://eudora.vivienda.gob.pe/observatorio/pdu\\_municipalidades/JULIACA/PDU-JULIACA.pdf](http://eudora.vivienda.gob.pe/observatorio/pdu_municipalidades/JULIACA/PDU-JULIACA.pdf)
- Muñoz, C. y Morales, R. (2018). Generación de residuos en las unidades económicas comerciales y de servicios. *Estudios Demográficos y Urbanos*, 33(3), 773-767. DOI: <http://dx.doi.org/10.24201/edu.v33i3.1804>
- Muñoz, D. y Rodríguez, R. (2015). Agentes bacterianos y parasitarios en adultos de la mosca común *Musca doméstica* recolectadas en el Peñón, estado Sucre, Venezuela. *Revista Científica*, 25(2), 159-166. <https://www.redalyc.org/pdf/959/95935857010.pdf>

- Naranjo, P., Villalón, P. y Ruiz, H. (2021). Estudio de caso. Compostaje sustentable en base a residuos orgánicos de los mercados municipales del cantón Pastaza. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, 4(2), 2126-2133. DOI: 10.34188/bjaerv4n2-045
- Nations, U. (2016). *Transforming Our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*. Department of Economic and Social Affairs, 12–14. <https://doi.org/10.1201/b20466-7>
- Nguyen, T. T. X., Tomberlin, J. K., & Vanlaerhoven, S. (2013). Influence of Resources on *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development. *Journal of Medical Entomology*, 50(4), 898–906. <https://doi.org/10.1603/me12260>
- Oonincx, D. G. A. B., Van-Broekhoven, S., Van-Huis, A., & Van-Loon, J. J. A. (2015). Feed conversion, survival and development, and composition of four insect species on diets composed of food by-products. *PLoS ONE*, 10(12), 1–20. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0144601>
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA]. (2015). *Fiscalización ambiental en residuos sólidos de gestión municipal*. Lima. (1er edición): Biblioteca Nacional del Perú. [webmaster@oefa.gob.pe](mailto:webmaster@oefa.gob.pe)
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2013). *Manual de compostaje del agricultor, Experiencias en América Latina*. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Santiago. <http://www.fao.org/3/a-i3388s.pdf>

- Paritosh, K., Yadav, M., Mathur, S., Balan, V., & Liao, W. (2018). Organic Fraction of Municipal Solid Waste : Overview of Treatment Methodologies to Enhance Anaerobic Biodegradability. 6(August), 1–17. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2018.00075>
- Pavolová, H., Lacko, R., Hajduová, Z., Šimková, Z., & Rovňák, M. (2020). The circular model in disposal with municipal waste. A case study of Slovakia. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 17(6). <https://doi.org/10.3390/ijerph17061839>
- Pedraza, S. y Hernández, L. (2019). Disminución del tiempo de obtención de abono orgánico mediante vermicompostaje como método de estabilización de un residuo en proceso de compostaje. *Avances. Investigación En Ingeniería*, 16(1), 52-63. DOI: <https://doi.org/10.18041/1794-4953/avances.1,5439>
- Pieterse, E., & Pretorius, Q. (2014). Nutritional evaluation of dried larvae and pupae meal of the housefly (*Musca domestica*) using chemical-and broilerbased biological assays. *Animal Production Science*, 54(3), 347-355. <https://doi.org/10.1071/AN12370>
- Plaza, G. y Zapata, O. (2011). Residuos y salud: Tartagal - Salta. *Revista de Ciencia y Tecnología*, 13(16), 35-43. <http://www.scielo.org.ar/scielo>
- Quiceno, J., Bastidas, X., Rojas, D. y Bayona, M. (2010). La mosca doméstica como portador de patógenos microbianos, en cinco cafeterías del norte de Bogotá. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 13 (2), 23-29.

- Quispe, J. (2020). Determinación de la Eficiencia en la Gestión de Residuos Sólidos en las Municipalidades Distritales de la Región de Puno-Perú. *Ciencia Latina. Revista Multidisciplinar*, 4(2), 476-512.
- Quispe, J., Guevara, M., Marca, V., Mamani, V. y Marca, H. (2020). Estimación de la disposición a pagar por un sistema de recolección mejorado de residuos sólidos domésticos en la ciudad de Juliaca- 2020. *Ciencia&Desarrollo*, 19(1), 77-87. DOI: 10.33326/26176033,2020,26,935
- Ramos, E. J. (2003) Insectos como fuente de proteína y sus aplicaciones. En Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología (30: 2003: Cali). Memorias del XXX Congreso de la Sociedad Colombiana de Entomología. Cali: SOCOLEN, p. 38.
- Rivers, D.B. & Dahlem, G.A. (2013). *The Science of Forensic Entomology*. Wiley-Blackwell, Chichester, UK. <https://books.google.com/books>
- Robles, M. B. (2015). Evaluación de parámetros de temperatura, ph y humedad para el proceso de compostaje en la planta de tratamiento de residuos sólidos orgánicos de la municipalidad provincial de Leoncio Prado [práctica pre profesional, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio Institucional. <https://www.unas.edu.pe>
- Rojas, N., Acuña, Y. y Ramírez-Duque, A. (2020). Tendencias y alternativas para la gestión de residuos sólidos orgánicos en unidades militares del Ejército Nacional de Colombia. En Castro, A. y Arango, I. (Editores). *Miradas de innovación, sostenibilidad y desarrollo en torno a la gestión ambiental en el*

Ejército Nacional de Colombia. (1er Edición). Escuela Militar de Cadetes “General José María Córdova” Departamento de Investigación, Desarrollo Tecnológico e Innovación. <https://doi.org/10.21830/9789585318342>

Rosas, C., Urbina, M., Espinoza, H., Reyes, C. y Zuloeta, J. (2021). Manejo Integral de los residuos sólidos y el impacto en la salud pública. (1er edición): Savez Editorial. Ecuador. <https://savezeditorial.com/index.php/savez/article/view/25>

Ruano-Roca, J., Carrasco-Baeza, M. y Ángel-Sahagún, C. (2017). VIRULENCIA DE *Bacillus thuringiensis* NATIVAS DE GUANAJUATO, MÉXICO SOBRE LARVAS DE *Musca domestica* Jóvenes en la ciencia. Revista de divulgación científica, 3(2), 49-53.

Ruiz, C. (2018). Control de la proliferación de mosca común (*Musca Domestica*) con microorganismos eficaces (EM) en el botadero municipal de la ciudad de Celedín. [tesis de maestría, Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú]. Repositorio institucional. <http://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2254>

Rumpold, B. A., & Schlüter, O. K. (2013). Potential and challenges of insects as an innovative source for food and feed production. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*, 17, 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2012.11.005>

Sáez, A. y Urdaneta, J. (2014). Manejo de residuos sólidos en América Latina y el Caribe, *Omnia*, 20(3), 121-135. <https://www.redalyc.org/pdf/737/73737091009.pdf>

- Salas, C. & Larraín, P. (2012). Identificación y control integrado de moscas con importancia médica y veterinaria presente en la Región de Arica y Parinacota, Chile. 72 p. Boletín INIA N 2249. Instituto de Investigacione Agropecuaria. Centro Regional de Investigación Intihuasi, La Serena, y Centro de Investigación del Desierto y Altiplano, Ururi. Arica, Chile. Retrieved from <http://www.inia.cl/wp-content/uploads/Boletines/NR38538.pdf>
- Salas, R., Apaza, Y. y Paredes, E. (2021). Evaluación del uso de larvas de Mosca doméstica (*Musca domestica* L.) como tratamiento biológico de residuos orgánicos municipales. *Revista de Iniciación Científica*, 7(1), 71-83. DOI: <https://doi.org/10,33412/rev-ric.v7,1,3063>
- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., & Savastano, D. (2016). Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*. *Journal of Cleaner Production*. 140. <https://doi.org/10,1016/j.jclepro.2016,06,154>
- Sánchez, H. and Capinera, J. (2017). house fly - *Musca domestica* Linnaeus. [online] Entnemdept.ufl.edu. Available at: [http://entnemdept.ufl.edu/creatures/urban/flies/house\\_fly.HTM#dist](http://entnemdept.ufl.edu/creatures/urban/flies/house_fly.HTM#dist) [Accessed 6 Nov. 2019].
- Saragi, E. S., & Bagastyo, A. Y. (2015). Reduction of Organic Solid Waste By Black Soldier Fly ( *Hermetia illucens* ) Larvae. The 5th Environmental Technology and Management Conference. Green Technology towards Sustainable Environment Bandung, Indonesia, 978–979. <https://www.ijcmas.com/8-1-2019/S.N.%20Rindhe,%20et%20al.pdf>

- Savino A., G., S., C., Q., & M.C., C. (2018). Waste Management Outlook for Latin America and the Caribbean. Companion to Historiography, 728–758.
- Scheinberg, A., Wilson, D.C., & Rodic, L. (2015). Solid Waste Management in the World's Cities. UN-Habitat's Third Global Report on the State of Water and Sanitation in the World's Cities, London.London.
- Scriber, J. y Slansky, J. F. (1981). The nutritional ecology of immature insects. *Revista anual de entomología*, 26, 183 – 211. DOI: <https://doi.org/10.1146/annurev.en.26.010181.001151>
- Sheppard, D. C., Tomberlin, J. K., Joyce, J. A., Kiser, B. C., & Sumner, S. M. (2002). Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae): Table 1. *Journal of Medical Entomology*, 39(4), 695–698. <https://doi.org/10.1603/0022-2585-39.4.695>
- Schröder, P., Albaladejo, M., Alonso Ribas, P., MacEwen, M., & Tilkanen, J. (2020). Liberando la economía circular en América Latina y el Caribe. Chatham House, 73. <https://www.chathamhouse.org/sites/default/files/2021-01/2021-01-13-spanish-circular-economy-schroder-et-al.pdf>
- Siri, A., Scorsetti, A.C., Dikgolz, V.E., Lopez, C.C., Lastra, C. (2005). Natural infections caused by the fungus *Beauveria bassiana* as a pathogen of *Musca domestica* L. in the Neotropic. *Biological Control*, 50, 937–940. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10526-005-1888-3>
- Smetana, S., Palanisamy, M., Mathys, A., & Heinz, V. (2016). Sustainability of insect use for feed and food: Life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 137. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.148>

- Solíz, M., Durango, J., Solano, J., & Yépez, M. (2020). Cartografía de los residuos sólidos en Ecuador. In Universidad Andina Simon Bolivar (Vol. 1, Issues 978-9942-837-29-5). <https://www.no-burn.org/wp-content/uploads/Cartografia-residuos-sólidos-Ecuador-2020.pdf>
- Studt-Solano, N. M. (2010). Uso de larvas de mosca soldado negro (*Hermetia illucens*) para el manejo de residuos municipales orgánicos en el campus de la Universidad Earth, Instituto tecnológico de Costa Rica. <https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/695>
- Torretta, V., Ferronato, N., Katsoyiannis, I. A., & Tolkou, A. K. (2017). Tecnologías novedosas y convencionales para el tratamiento de lixiviados de vertederos: una revisión. *Sustainability*, 9(1),1–39. DOI: <https://doi.org/10,3390/su9010009>
- Traviezo, L., Alejos, M., Antonini, M., Escobar, C., Pérez, M., Pérez, F., Ramírez, D., Tovar, A. y Najul, M. (2018). Contaminación enteroparasitaria de moscas capturadas en el municipio Palavecino, estado Lara, Venezuela, 2017. *Revista Médica del Uruguay*, 34(4). <http://dx.doi.org/10,29193/rmu.34,4.4>
- Trujillo, E., Valencia, C., Alegría, M., Sotelo, A. y Césare, M. (2019). Producción y caracterización química de biochar a partir de residuos sólidos avícolas. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 85(4), 489-504. <http://dx.doi.org/10,37761/rsqp.v85i4,262>
- Trulli, E., Ferronato, N., Torretta, V., Piscitelli, M., Masi, S., & Mancini, I. (2017). Sustainable mechanical biological treatment of solid waste in urbanized areas with low recycling rates. *Waste Management*, 71, 556-564. <https://doi.org/10,1016/j.wasman.2017,10,018>

- Tschirner, M., & Simon, A. (2015). Influence of different growing substrates and processing on the nutrient composition of black soldier fly larvae destined for animal feed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 249–259. <https://doi.org/10.3920/JIFF2014,0008>
- Ujvari, B., Wallman, J. F., Madsen, T., Whelan, M., & Hulbert, A. J. (2010). Comparative Biochemistry and Physiology, Part a Experimental studies of blow fly (*Calliphora stygia*) longevity : A little dietary fat is beneficial but too much is detrimental. *Comparative Biochemistry and Physiology, Part A*, 154(3), 383–388. <https://doi.org/10.1016/j.cbpa.2009.07.012>
- Vargas M. J. (2012). Producción y Composición de Residuos Sólidos de los Mercados de Abastos de la Ciudad de Juliaca. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano. Puno].
- Vásquez, E. y Caballero, A. (2011). Inconsistencia del coeficiente de variación para expresar la variabilidad de un experimento en un modelo de análisis de varianza. *Cultivos Tropicales*, 32 (3): 42-45. <http://scielo.sld.cu/pdf/ctr/v32n3/ctr06311.pdf>
- Villacide, J., Masciocchi, M., & Lantschner, V. (2016). Serie de divulgación sobre insectos de importancia ecológica, económica y sanitaria (Grupo de ecología de poblaciones de insectos INTA EEA Bariloche). [https://inta.gob.ar/sites/default/files/12\\_-\\_boletin\\_mosca\\_domestica\\_para\\_web.pdf](https://inta.gob.ar/sites/default/files/12_-_boletin_mosca_domestica_para_web.pdf)
- Villegas, H. (2017). Mosca doméstica Biología y Control. *Artrópodos y Salud*, 8(2), 11-29. [http://www.fumigacionesbw.com/documentos/pdf/Mosca\\_Domestica\\_biologia\\_control.pdf](http://www.fumigacionesbw.com/documentos/pdf/Mosca_Domestica_biologia_control.pdf)

- Villegas-Cornelio, V. y Laines, J. (2017). Vermicompostaje: avances y estrategias en el tratamiento de residuos sólidos orgánicos. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 8(2), 393-406.
- Vitorino de Souza, M. A., Montenegro, S., Faceli, K., & Casadei, V. (2017). Technologies and decision support systems to aid solid-waste management : a systematic review. 59, 567–584. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.10.045>
- Wang, Z., Dong, X., & Yin, J. (2018). Antecedents of urban residents' separate collection intentions for household solid waste and their willingness to pay: Evidence from China. *Journal of Cleaner Production*, 173, 256–264. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.09.223>
- Wootton, R. F. (1991). *Ecology of Teleost Fishes*. Fish and Fisheries. Series Y. Chapman & Hall, 2-6 Bodanz Row, London SE 1 8HN. 404.
- Yangali, J., Vásquez, M., Huaita, D. y Baldeón, M. (2021). Comportamiento ecológico y cultura ambiental, fomentada mediante la educación virtual en estudiantes de Lima – Perú. *Revista de Ciencias Sociales*, 27(1), 385-398. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7817706>



Universidad  
Nacional  
de Loja

## **Residuos sólidos, ¿Aprovechamiento o erradicación mediante larvas de mosca doméstica?**

La presente investigación se enfoca en desarrollar nuevas técnicas de aprovechamiento de los residuos sólidos orgánicos; asimismo, permitir establecer ventajas ambientales y económicas, tales hallazgos van orientados hacia dos grandes núcleos de trabajo los cuales forman parte del presente estudio.

El primero de estos, estriba en un enfoque ambiental, ya que este implica la disminución en el volumen de los residuos orgánicos generados por las diferentes actividades, dando como resultado preliminar un aprovechamiento de los mismos al ser utilizados como alimento para las larvas; El segundo núcleo, estriba, en el enfoque económico, ya que implica la producción de larvas ricas en nutrientes para su posterior uso como materia prima en la producción de alimento para animales de corral principalmente, aumentando la rentabilidad del sistema. Ambos enfoques son tan relevantes y que fueron los centros de atención en el presente estudio.

