

DEFINICIÓN DE LAS CONDICIONES DE OPERACIÓN PARA LA PRODUCCIÓN DE  
LARVA DE MOSCA SOLDADO NEGRA (*Hermetia Illucens*)

LINA MARIA MUÑOZ GRANADA  
MARIA SOFIA PARADA ESQUIVEL

Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO QUÍMICO

Director  
HARVEY ANDRES MILQUEZ SANABRIA  
Ingeniero Químico  
MsC Ingeniería Química  
PhD. Energías Renovables

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA  
BOGOTA D.C  
2022

**NOTA DE ACEPTACIÓN**

---

---

---

---

---

---

---

Harvey Milquez Sanabria  
**Director**

---

Diana Cuesta Parra  
**Jurado 1**

---

Gloria Nausa  
**Jurado 2**

## **DIRECTIVOS DE LA UNIVERSIDAD**

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

**Dr. MARIO POSADA GARCÍA-PEÑA**

Consejero Institucional

**Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA**

Vicerrectora Académica y de Investigaciones

**Dra. ALEXANDRA MEJIA GUZMAN**

Vicerrector Administrativo y Financiero

**Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO**

Secretario General

**Dr. JOSE LUIS MACIAS RODRIGUEZ**

Decana Facultad de Ingenierías

**Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO**

Director Programa Ingeniería Química

**Ing. NUBIA BECERRA OSPINA**

## AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, a Dios por permitirnos cumplir este sueño.

A nuestra familia por el apoyo incondicional y los consejos infaltables.

Al docente Héctor Díaz de la Universidad ECCI, por su total apoyo, entrega y dedicación durante la ejecución del proyecto.

A nuestros amigos y compañeros de estudio por siempre darnos una voz de aliento para continuar con este sueño.

Al equipo de investigación del semillero GIATME de las Universidades América y ECCI.

## DEDICATORIA

Dedico este proyecto de grado primeramente a Dios, porque me dio las herramientas necesarias para cumplir este sueño, a mis padres por su apoyo incondicional, por enseñarme a nunca desistir de mis sueños, por motivarme a ser cada día mejor y por creer en mí, a mi abuela que, aunque ya no este conmigo me dejó las mejores enseñanzas de vida y a mis tíos y tías que siempre me sacaron una sonrisa cuando más lo necesitaba. *Lina María Muñoz Granada.*

Dedico este proyecto de grado con todo el cariño a mi familia, principalmente a mis padres, quienes me apoyan en todo momento y me educaron con los mejores valores y principios, forjando la persona que soy ahora. A mis abuelos, ellos fueron el principal cimiento para la construcción de mi vida profesional, sentaron en mí las bases de la responsabilidad, compromiso y deseo de superación, en ellos encuentro un espejo en el cual me quiero reflejar pues sus virtudes infinitas me lleva a admirarlos cada día más. Y finalmente a mis tías maternas, por representar esa voz amiga en la que siempre puedo confiar y encuentro apoyo incondicional. *María Sofía Parada Esquivel.*

## TABLA DE CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
RESUMEN	10
OBJETIVOS	11
INTRODUCCIÓN	12
1. MARCO TEÓRICO	14
1.1 Larva de mosca solado negra	14
1.1.1 Generalidades	14
1.1.2 Taxonomía	14
1.1.3 Ciclo de vida	15
1.1.4 Condiciones de crecimiento	18
1.1.5 Apareamiento	19
2. CONDICIONES DE OPERACION	23
2.1 Condiciones de operación para la incubación	23
2.1.1 Temperatura	23
2.1.2 Humedad relativa	23
2.1.3 Nutrición de los primeros 5 días-sustrato de iniciación	25
2.2 Condiciones de operación para el sistema de cultivo	26
2.2.1 Temperatura	26
2.2.2 Humedad relativa	28
2.2.3 Humedad del sustrato	29
2.2.4 Relación (número de larvas / masa de sustrato) o densidad larval	30
3 SISTEMA DE INCUBACIÓN	32
3.1 Técnica para la eclosión de los huevos	32
3.1.1 Metodología para técnica la “lluvia de crías”	32
3.2 Técnica de conteo 5-dol.	36
3.2.1 Metodología para el cálculo del 5-dol	37
3.3 Curva Natalidad Vs. Tiempo	39
3.3.1. Metodología	39
3.4 Resultados sistema de incubación	41
4. SISTEMA DE CULTIVO	44
4.1 Construcción del biorreactor	44
4.1.1 Sistema de control	47
4.2 Descripción del proceso	52
4.2.1 Selección del sustrato	52
4.2.2 Acondicionamiento del sustrato	54
4.3 Diseño experimental	57
4.4. Relación C/N (Carbono/Nitrógeno)	57

4.5	Metodología	59
	4.5.1 <i>Cálculo del porcentaje de humedad</i>	60
	4.5.2 <i>Cálculo de cenizas del sustrato</i>	62
	4.5.3 <i>Sistema de cultivo o engorde</i>	63
4.6	Resultados	66
	4.6.1 <i>Porcentaje de humedad del sustrato inicial y final</i>	66
	4.6.2 <i>Cenizas del sustrato inicial y final</i>	69
	4.6.3 <i>Sistema de cultivo o engorde</i>	73
5.	CONCLUSIONES	84
	BIBLIOGRAFÍA	85
	ANEXOS	88

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Ciclo de vida de la <i>Hermetia illucens</i>	15
<b>Figura 2.</b> Huevo <i>Hermetia illucens</i> .	16
<b>Figura 3.</b> Estado larvario de la <i>Hermetia Illucens</i>	17
<b>Figura 4.</b> Huevos MSN deshidratados	24
<b>Figura 5.</b> Mezcla sustrato de iniciación	33
<b>Figura 6.</b> Montaje sustrato de iniciación más soporte.	33
<b>Figura 7.</b> Soporte con malla más palo de madera “Lluvia de crías”	34
<b>Figura 8.</b> 1g de huevos <i>Hermetia Illucens</i>	34
<b>Figura 9.</b> Colocación de huevos sobre el soporte con malla	35
<b>Figura 10.</b> Montaje “lluvia de crías”	35
<b>Figura 11.</b> Montaje en la incubadora	36
<b>Figura 12.</b> Tamizaje de sustrato de iniciación y larvas	38
<b>Figura 13.</b> Larvas tamizadas	39
<b>Figura 14.</b> Tasa de natalidad Vs. Tiempo (Número de larvas que eclosionan cada 12 horas)	42
<b>Figura 15.</b> Dimensiones de bandeja	45
<b>Figura 16.</b> Biorreactor	47
<b>Figura 17.</b> Control e instrumentación del biorreactor	48
<b>Figura 18.</b> Sistema de control	49
<b>Figura 19.</b> Humidificador ultrasónico y sensor de nivel	49
<b>Figura 20.</b> Instalación final biorreactor	50
<b>Figura 21.</b> Instalación resistencia en tubo PVC	51
<b>Figura 22.</b> Geometría de las aletas conductoras de calor	51
<b>Figura 23.</b> Método de cuarteo	55
<b>Figura 24.</b> Prensa para deshidratación manual	56
<b>Figura 25.</b> Tela tipo lona para deshidratación	56
<b>Figura 26.</b> Cuarteo de los sustratos 1 y 2	60
<b>Figura 27.</b> Mufla usada para el cálculo de humedad	61
<b>Figura 28.</b> Mufla usada para el cálculo de cenizas	63
<b>Figura 29.</b> Bandejas usadas en el sistema de cultivo	64
<b>Figura 30.</b> Biorreactor con bandejas en su interior	65
<b>Figura 31.</b> Resultados obtenidos del peso de larva en función a la relación C/N	75
<b>Figura 32.</b> Resultados obtenidos del tamaño de larva en función a la relación C/N	76
<b>Figura 33.</b> % consumido de sustrato por bandeja en el ensayo	81
<b>Figura 34.</b> % consumido de sustrato por bandeja en la réplica 1	82



**Figura 35.** % consumido de sustrato por bandeja en la réplica 2

82

### **LISTA DE TABLAS**

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1.</b> Contenido nutricional de concentrado para pollos de iniciación	25
<b>Tabla 2.</b> Contenido nutricional de concentrado para pollos de engorde	25
<b>Tabla 3.</b> Temperaturas óptimas de cultivo recopiladas en búsqueda bibliográfica	27
<b>Tabla 4.</b> Porcentajes de humedad relativa óptimos de cultivo recopilados en búsqueda bibliográfica	<b>28</b>
<b>Tabla 5.</b> Contenido de humedad óptimo	29
<b>Tabla 6.</b> Datos de Relación número de larvas/ masa de sustrato a partir de revisión bibliográfica	30
<b>Tabla 7.</b> Cronograma experimento Natalidad Vs. Tiempo	40
<b>Tabla 8.</b> Contenido 5-DOL por muestra	41
<b>Tabla 9.</b> Tipos de sustrato óptimos de cultivo recopilados en búsqueda bibliográfica	53
<b>Tabla 10.</b> Características de los residuos del comedor comunitario y la industria cervecera	54
<b>Tabla 11.</b> Proporción, masa y número de larvas por bandeja	59
<b>Tabla 12.</b> Cronograma experimento de cultivo	65
<b>Tabla 13.</b> Porcentaje de humedad de las mezclas o proporciones iniciales	66
<b>Tabla 14.</b> Porcentaje de humedad de las mezclas o proporciones finales	67
<b>Tabla 15.</b> Imágenes de las muestras finales antes de ingresar a la mufla y después de ingresar a la mufla	68
<b>Tabla 16.</b> Porcentaje de cenizas de las mezclas o proporciones iniciales	70
<b>Tabla 17.</b> Porcentaje de cenizas de las mezclas o proporciones finales	71
<b>Tabla 18.</b> Imágenes de las muestras antes de ingresar a la mufla y después de ingresar a la mufla	72
<b>Tabla 19.</b> Resultados del muestreo 1 y 2 para el ensayo, réplica 1 y réplica 2	73
<b>Tabla 20.</b> Resultados del muestreo 3 y 4 para el ensayo, réplica 1 y réplica 2	73
<b>Tabla 21.</b> Resultados del muestreo 5 y 6 para el ensayo, réplica 1 y réplica 2	74
<b>Tabla 22.</b> Seguimiento fotográfico del sustrato	77
<b>Tabla 23.</b> Seguimiento fotográfico de las larvas	<b>78</b>
<b>Tabla 24.</b> Masa consumida y % consumido por bandeja	<b>80</b>

## RESUMEN

El siguiente documento se centró en definir las condiciones de operación para la producción de larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*). Se alimentaron larvas con residuos orgánicos de alimentos pre-consumo obtenidos de la Secretaría de Integración Social de Bogotá y residuos obtenidos de la industria cervecera, a diferentes proporciones las cuales garantizan relaciones carbono/nitrógeno distintas, en un sistema controlando la temperatura y humedad relativa del aire.

Se definieron rangos de operación, el sistema de incubación, técnica de eclosión, técnica de conteo y sustrato de iniciación. Para el sistema de cultivo se explicó la construcción del biorreactor el cual cuenta con un sistema de control de temperatura y humedad relativa, densidad larval, relación C/N y acondicionamiento del sustrato.

Se planteó un diseño de experimentos con distintos niveles de relación C/N para poder evaluar en cuál se obtienen larvas de mayor longitud y mayor peso, bajo condiciones de operación constantes al interior de la incubadora. Con base a los experimentos realizados, el sustrato que logró desarrollar larvas con mayor longitud y peso, fue el sustrato con una proporción de 100% residuos orgánicos cerveceros.

**PALABRAS CLAVE:** Mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), Bioconversión, Residuos orgánicos pre-consumo, Residuos orgánicos cerveceros, Incubación, Biorreactor.

## OBJETIVOS

### Objetivo general

Determinar las condiciones de operación para la producción de larva de mosca soldado negra *Hermetia illucens* empleando un diseño experimental a escala laboratorio.

### Objetivos específicos

- Establecer bibliográficamente las condiciones de operación para la incubación y sistema de cultivo.
- Proponer un sistema de incubación donde se lleve a cabo la eclosión de los huevos de la mosca soldado negra *Hermetia illucens*.
- Definir el sistema de cultivo para la larva de mosca soldado negra *Hermetia illucens*.

## INTRODUCCIÓN

La población Bogotana ha venido creciendo rápidamente en los últimos años según estudios demográficos de población y de proyección realizados por el DANE, el número de habitantes en Bogotá pasó de 7 millones en el año 2018 a aproximadamente 8 millones en el año 2020. La generación de residuos sólidos por parte de la población crece paralelamente al crecimiento de la misma. En el 2018 la oferta de residuos sólidos ascendió a 6.308 toneladas diarias a nivel Bogotá, de las cuales 2.228 toneladas representan residuos de origen animal y vegetal (orgánicos), presentando un crecimiento del 8,8% respecto al año anterior. [1]

Actualmente el Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible reconoce varios métodos para aprovechar residuos orgánicos como: “Tratamientos biológicos, aprovechamiento alimenticio y aprovechamiento energético”. Entre los biológicos están: “Compostaje, lombricultura y digestión anaeróbica”. Algunos de los inconvenientes asociados a la técnica del compostaje radican en las emisiones generadas durante el proceso, como la formación de lixiviados, olores y polvos, también el uso de energía puede ser considerable, presentando costos importantes.

El reciclaje de material de desecho orgánico (Biorresiduos) todavía es bastante limitado, especialmente en entornos de ingresos bajos y medianos. Una alternativa viable para aplicar en este tipo de entornos es la degradación de desechos orgánicos haciendo uso de un organismo pluricelular, del reino Animalia, filo Arthropoda, clase Insecta y orden Diptera, llamado larva de mosca soldado negro (*Hermetia Illucens*). Esta tecnología consiste en alimentar a las larvas de BSF (Black soldier fly) con residuos biológicos separados. Las larvas crecen y reducen la materia prima de desecho, y al final del proceso, las larvas se recolectan y, si es necesario, se procesan posteriormente para usarlas como materia prima valiosa en la industria de alimentos para animales y más recientemente se ha empezado a pensar en alimentación humana. El residuo de desecho también puede procesarse más y venderse o usarse en el suelo como enmienda con propiedades fertilizantes.

El objetivo principal de esta tecnología es procesar los residuos biológicos de una manera eficiente con respecto a la inversión, costos operativos y espacio requerido. Al procesar los desechos biológicos, las amenazas al público, a la salud y al medio ambiente pueden reducirse notoriamente.

Este documento lo conforman cuatro capítulos, el primero recopila información bibliográfica sobre generalidades de las larvas de mosca soldado negra MSN (Mosca soldado negra), el segundo define las condiciones de operación usadas en el sistema de incubación y de cultivo, el tercero expone información referente al sistema de incubación. El cuarto y último capítulo explica detalladamente el sistema de cultivo: construcción del biorreactor, diseño de experimento, entre otros.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Larva de mosca solado negra

La mosca soldado negro *Hermetia illucens* es una de las especies que pertenece a la subfamilia Hermetiinae bajo el orden Diptera. Existen otros cuatro géneros, que son Chaetosargus, Patagiomya, Chaetohermelia y Notohermetia; pero la especie más ampliamente distribuida entre estas 5, es *Hermetia illucens*. La especie tiene una distribución cosmopolita en regiones tropicales y templadas cálidas desde regiones neo tropicales hasta australianas, neárticas, paleárticas y afro tropicales. [2]

#### 1.1.1. Generalidades

La especie *Hermetia illucens*, llamada comúnmente como Mosca Soldado Negro es un díptero de la familia Stratiomyidae y género Hermetia. Su reproducción se lleva a cabo por oviposición, la postura de los huevos es pseudo-oothecas, formando hileras de huevos en medios parcialmente cerrados. Sus huevos son cilíndricos con un milímetro de longitud aproximadamente. Al nacer las larvas, su color es crema y al crecer su color va cambiando a amarillo, hasta finalmente conseguir el color marrón en su último estado. [3]

Las larvas *Hermetia illucens* generalmente poseen seis estadios y pueden medir hasta tres centímetros de longitud. Además, cambian de coloración durante su desarrollo, variando de color blanquecino (estadios iniciales) al amarillo (estadios finales). Poseen características en la quetotaxia larval (dorsal y ventral), como posición y el tipo de cerdas, importantes para la taxonomía del grupo. Tienen hábito detritívoro y se encuentra en microambientes como plantas, frutos y carne en descomposición. [4]

#### 1.1.2. Taxonomía

Animales (Reino Animalia)

Insectos, Arácnidos y Crustáceos (Filo Arthropoda)

Hexápodos (Subfilo Hexapoda)

Insectos (Clase insecto)

Insectos Alados (Subclase Pterigota)

Moscas y Mosquitos (Orden Diptera)

Suborden Brachycera

Infraorden Orthorrhapha

Pavordeen Stratiomymorpha

Moscas Soldado (Familia  
Stratiomyidae)

Subfamilia Hermetiinae

Género Hermetia

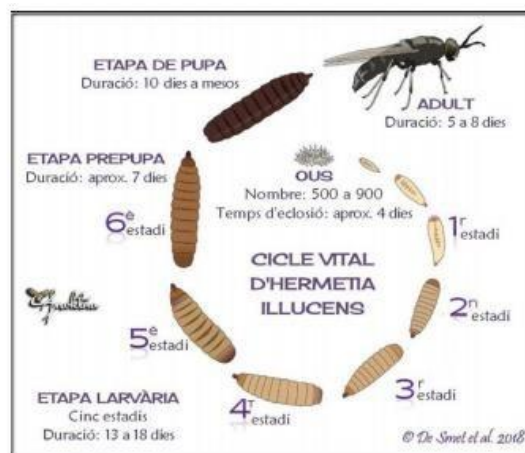
Mosca Soldado Negro (*Hermetia illucens*) [5]

### 1.1.3. Ciclo de vida

La mosca soldado negro consta de 5 etapas de vida: huevos, larvas, pupas, pre pupas y adultos. En estas etapas, de eclosión y de adultos son las más cortas, y la etapa larval y pupal son las más largas, y las que contribuyen al máximo ciclo de vida. Las larvas cuentan con una amplia gama de sustratos, pues pueden alimentarse de plantas, animales en descomposición, estiércol, raspaduras de alimento, basuras municipales y descomposición de material vegetal. [6] Como se observa en la Figura 1 el ciclo de vida de la *Hermetia illucens* consta de seis estados, donde su etapa más larga se representa en los primeros cinco estadios cuya duración es de 13 a 18 días mientras que en el último estadio se identifica la etapa de pre pupa cuya duración aproximada es de 7 días, luego de ello viene la etapa de pupa, cuya duración es menor a 10 días antes de realizar su transición a mosca.

**Figura 1.**

*Ciclo de vida de la Hermetia illucens*



**Nota.** Se observa el ciclo de vida. Tomado de Evaluación de cuatro sustratos orgánicos para la producción de larvas de hermetia illucens (dípterastratiomydae) en condiciones controladas de la irrigación majes –

pedregal, caylloma arequipa, pp. 7, Chirinos A.

1.1.2.a Huevo. Los huevos son puestos en hileras apretadas, generalmente en un intersticio para ocultarlos de la depredación y cerca de una posible fuente de alimento. Los huevos tienen geometría ovoide y miden aproximadamente 1mm de largo. Cambian de color beige a amarillo-beige durante el periodo de incubación, este proceso dura un poco más de 4 días a 27-29°C. [3] En la Figura 2 se puede apreciar una imagen real de los huevos MSN.

**Figura 2.**

*Huevo Hermetia illucens.*



*Nota.* Huevos *Hermetia illucens* de aproximadamente 4 días de vida tomado de: A. Singh, K. Kumari, “*An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review*”, pp.4

1.1.3.b Larva. Las larvas pueden alcanzar 27 mm de longitud y 6 mm de ancho, son de un color blanquecino con una pequeña cabeza saliente que contiene piezas bucales masticadoras. Las larvas pasan por seis estadios y necesitan aproximadamente 14 días para completar su desarrollo. Durante su desarrollo larvario estas son alimentadores insaciables mientras que como adultos no necesitan alimentarse debido a que dependen de las grasas almacenadas en la fase larvaria. [7]

En la etapa larval, la vida útil también es muy corta en condiciones adecuadas pues cuando las condiciones ambientales son desfavorables su actividad se ralentiza y su ciclo de vida se puede extender de 6 a 7 semanas. Existen informes donde a baja temperatura y a baja disponibilidad de alimentos, estas pueden extender su ciclo hasta 4 meses, lo que facilita la viabilidad de la población de larvas durante la escasez de alimentos, sin embargo, el desarrollo de estas y su reproducción dependen de la calidad de los alimentos. [2]



**Figura 3.**

*Estado larvario de la Hermetia  
Illucens*



*Nota.* Larvas de  
aproximadamente 13 a 18 días  
tomado de: A. Singh, K.  
Kumari, “An inclusive  
approach for organic waste  
treatment and valorisation  
using Black Soldier Flylarvae:  
A review”, pp.4

1.1.3.c Pupas. Antes de la pupación, las larvas en el sexto estadio se dispersan desde el alimento a zonas secas y protegidas, como la vegetación del suelo para así iniciar la pupación. El exoesqueleto “piel” se oscurece y en su interior se desarrolla una pupa que tarda alrededor de dos semanas en nacer. [7]

Cuando se encuentran en este último estadio es donde han alcanzado su tamaño máximo y donde son mayormente aprovechadas gracias a su contenido de proteína que varía entre 36% y el 46% y su contenido de grasas que representa el 33%, finalmente se completa su metamorfosis al cumplir aproximadamente 14 días donde ya se transforman en adultas. Se destaca que la mosca soldado negro no posee características dentro de su desarrollo que represente una amenaza hacia los seres humanos, por lo que no actúa como vector para la propagación de enfermedades. [2]

1.1.3.d Adultas. En general, tiene un tamaño promedio de 22mm para hembras y 16mm para machos, son negros a café claro, los especímenes pertenecientes a la familia Stratiomyidae presentan como característica típica en las alas una celda discal redondeada y algunas ramas de la vena M. A nivel especie estas moscas presentan el primer segmento abdominal de coloración más clara que el resto del abdomen. [8]

El sistema bucal está diseñado para no alimentarse, pues su única función como adulto es la reproducción, dos días después de emerger el adulto de la pupa, puede iniciarse el apareamiento. [7]

Las moscas adultas no suelen ser fuertes o muy activas, generalmente pasan el día descansando sobre la vegetación, Aparearse es su único fin en este estadio, puesto que no se alimentan a excepción del consumo de agua y adquieren la nutrición necesaria para la reproducción durante el desarrollo larval. Las hembras adultas solo se aparean una vez en su vida por lo que ocurre un único evento de oviposición. [6]

#### **1.1.4. Condiciones de crecimiento**

Los factores abióticos como la temperatura, la humedad relativa, la luz y otros factores como el pH y la aireación, son agentes que influyen en gran medida en la oviposición y el desarrollo de las larvas, al contar con las condiciones adecuadas permite un aumento en la eficiencia del tratamiento de larvas de mosca solado negro, así como el crecimiento y desarrollo de la especie. [2]

1.1.4.a Humedad relativa. La humedad relativa puede tener importantes efectos fisiológicos afectando al desarrollo, longevidad y la oviposición de la *Hermetia illucens*, pues de este depende la supervivencia debido a que la presencia del contenido de humedad puede dificultar la velocidad de descomposición del residuo, diversos estudios con *Hermetia illucens* determinaron que el rango óptimo para el desarrollo de la especie es de 50% a 90% de humedad relativa del aire.[9]

1.1.4.b Temperatura. Al igual que en la mayor parte de los insectos, la temperatura afecta directamente el crecimiento y desarrollo de las etapas preliminares, independientemente de la disponibilidad de alimento, el desarrollo de un insecto se puede describir mediante una curva de rendimiento térmico, donde las temperaturas mínima y máxima se denominan umbrales de desarrollo y cuando los insectos se enfrentan a entornos fuera del umbral de desarrollo este se ralentiza o detiene.

La temperatura óptima para el desarrollo biológico de la larva de mosca solado negro *Hermetia Illucens* está en un rango de 24°C a 29°C donde su temperatura optima está ubicada en 27°C permitiéndoles metabolizar diferentes nutrientes de la materia en descomposición convirtiéndose en especies euritermas. [9]

1.1.4.c Aireación. El contenido suministrado de oxígeno por medio de la aireación, debe considerarse de gran importancia para asegurar que el crecimiento de las larvas de mosca solado negro no se vea afectado negativamente por la tasa de conversión de los residuos. Haciendo uso de herramientas ingenieriles, se puede construir un ambiente adecuado para la digestión de los residuos por parte de las larvas. Manipular el contenido de aireación puede traer efectos significativos en el desarrollo de las larvas, pues se encontró que el aumento en la tasa de aireación genera un ajuste lineal del peso de las larvas y del rendimiento. El peso y rendimiento larvario máximo alcanzado es el 95% con un l aireación de 0.57 y 0.05 mL/min de aire seco. [16]

1.1.4.d pH. El pH es un parámetro intrínseco que afecta al ciclo de vida y a la supervivencia de la larva, varios estudios revelan que un pH superior a 6 es óptimo para el desarrollo y el crecimiento de la larva, no obstante el estudio sobre el efecto del pH sobre las larvas de mosca solado negro es limitado pues algunos estudios muestran que las larvas de mosca solado negro son capaces de regular el pH hasta 9 en lixiviados orgánicos, sin embargo esto tiene una relación estricta con la densidad de las larvas. Además de ello el impacto de diferentes niveles de pH en el desarrollo larvario señalan que un pH por encima de 6 hasta 10 es más apropiado para el crecimiento larvario teniendo así mayores pesos en comparación con larvas sometidas a pH 4, de igual manera diferentes estudios aclaran que las larvas son capaces de regular el pH del sustrato alcalino de 8 a 8.5 pero no el sustrato altamente ácido. [2]

### **1.1.5. *Apareamiento***

Para el apareamiento es necesario tener en cuenta que en el equipo donde se desarrollan las larvas de su estado pupa a mosca emergida, debe estar conectado a un equipo (jaula del amor) permita el paso de la luz, debido a que inicialmente el equipo para engorde es oscuro o permite en menor medida el paso de la luz, con el objetivo de incentivar al crecimiento de las larvas. [15]

En la conexión existente entre el equipo de engorde y la jaula del amor es colocada una luz cuya función es atraer a las moscas emergidas hacia la jaula del amor, la luz y el fotoperiodo son una condición de operación importante pues estas incentivan a las moscas a reproducirse, además se debe tener en cuenta que durante el periodo de adulto esta busca hidratarse, es por

ello qué la jaula del amor debe equiparse con un paño húmedo con el fin de qué la mosca se hidrate, las moscas copulan y ponen los huevos en sistemas acondicionados o en ranuras cerca de un sustrato atrayente.[15]

#### **1.1.6. Aplicación de las larvas de mosca soldado negro**

Las larvas de mosca soldado negro son muy eficientes en la conversión de biomasa a alimento humano o animal y pueden ser cosechadas fácilmente a condiciones específicas y, por supuesto, no son plaguicidas. Además, no acumulan micotoxinas ni plaguicidas en su cuerpo, tal y como afirman muchos científicos, por lo que pueden ser recomendables para el consumo humano y animal. [22]

Algunas de sus aplicaciones más comunes son:

- Producción de harina de pescado

Las larvas de mosca soldado negro son impecables descomponedores o convertidores de residuos orgánicos (o estiércol) en biomasa valiosa y pueden utilizarse como dieta suplementaria para la harina de pescado. Proporcionan beneficios nutricionales de forma más eficiente que la harina de pescado, por lo que pueden incorporarse para la elaboración de productos de la industria, sustituyendo la harina de pescado para la alimentación animal.

Cummins en su estudio “Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*)” [23] sustituyeron la tradicional harina de pescado a harina de peces con alrededor del 25% de larvas de mosca soldado negro MSN. De manera similar, Magalhaes en su estudio “Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*)” [24] concluyeron que no había diferencias en los patrones de crecimiento de la lubina europea alimentada con larvas de mosca soldado negro cuando la harina tradicional fue sustituida por alrededor del 19% de larvas de MSN.

La mayor ventaja de las larvas de MSN en la producción de piensos es que se cuenta con un

menor impacto medioambiental en comparación con cualquier otra carne animal, además cuenta con una mayor conversión de alimento en proteína. Las larvas se consideran un alimento animal de alta calidad en todo el mundo debido a su alto contenido en lípidos y proteínas. La mezcla de harina de pescado con las harinas de este insecto, proporciona una alta nutrición a los peces. [22]

- Consumo humano

Las pruebas de consumo humano de las larvas de MSN algo problemáticas. Las personas que consumen insectos como alimento apenas se molestan en saber de las especies que están comiendo o cuál es su nombre científico, ya que, por supuesto, no son entomólogos.

Un ejemplo, es la comunidad malaya de Malasia, donde la población local consume unas 60 especies de insectos y la MSN es una de ellas. Sobre la base de estudios limitados o autores se concluyó que las larvas de MSN tienen un aroma a pescado y picante y un sabor a tierra, chocolate o sabor a malta y textura fundente. El aceite tiene incluso un sabor a malta más pronunciado. Otros, por el contrario, informaron de un sabor menos intenso que puede ser provisionalmente debido a los métodos de cocción. [22]

- Biomasa para la producción de energía

Hasta la fecha, la demanda de energía y combustible ha aumentado sustancialmente y se espera que aumente más con el incremento de la población y el desarrollo. Los fósiles convencionales están en debate por cuestiones relacionadas con el cambio climático y el calentamiento global, y se ha restringido su uso. A su vez, el concepto de biodiesel (un combustible renovable) se ha popularizado en todo el mundo en las últimas dos o tres décadas.

El alto potencial de las larvas de MSN para convertir la biomasa lignocelulosa en productos valiosos ofrece una solución imperativa para la producción de biodiesel a partir de materias primas más económicas. [22]

Zheng [25] en su investigación, concluye que las larvas de MSN asistidas con microbios alimentadas con un sustrato mixto de paja de arroz y residuos sólidos de restaurantes en la proporción de 30% y 70% respectivamente, produjeron grasa de larvas de MSN que luego fue sintetizada para la producción de biodiesel. Se produjeron unos 43.8 g de biodiesel a partir de

2000 larvas sometidas a 1000 g de sustrato.

## 2. CONDICIONES DE OPERACION

Este capítulo tiene como propósito dar cumplimiento del primer objetivo planteado. Para ello, se seleccionaron las condiciones de operación para el sistema de incubación y de cultivo, teniendo en cuenta los resultados expuestos en diferentes documentos relacionados al tema como tesis, artículos, revistas y libros.

### 2.1 Condiciones de operación para la incubación

#### 2.1.1. *Temperatura*

Diversos estudios establecen experimentos basados en nueve condiciones de temperatura constante 10, 15, 20, 25, 30, 35, 37, 40 o 42 °C ( $\pm 0,03^{\circ}\text{C}$ ), esto con el fin de analizar el efecto de la temperatura en el tiempo de desarrollo y supervivencia, el tiempo de eclosión de los huevos incubados a 15°C fue de 14 días, en comparación con los incubados a 35°C, que eclosionan en 2.6 días. Después de monitorear la configuración experimental del huevo durante más de 40 días, se observó que los huevos a 10 y 42°C se colapsaron por completo y se consideran no viables. La viabilidad del huevo fue extremadamente baja por debajo del 11% de acuerdo a los estudios realizados a 15, 37 y 40°C en comparación a otras temperaturas, el mayor porcentaje de eclosión de huevos se registró a 30°C con una viabilidad del 80% y 35°C con una viabilidad de 75%. [17]

Se realizaron experimentos previos al oficial, en estos se usó una temperatura de 30°C como lo indica la bibliografía, sin embargo, no se tuvo éxito debido a que se observó una deshidratación de los huevos evitando así la eclosión (Véase Figura 4). De esta manera se fue disminuyendo la temperatura en 1°C hasta evidenciar que los huevos permanecieran en buenas condiciones físicas y que eclosionaran. Con base a esto se definió que 28°C es la temperatura adecuada para la eclosión de los huevos a las condiciones de Bogotá.

#### 2.1.2. *Humedad relativa*

Diversos estudios establecen experimentos basados en seis condiciones de humedad relativa 20, 25, 40, 50, 60 y 70 por ciento, esto con el fin de analizar el efecto de la humedad en el tiempo de desarrollo y supervivencia, teniendo en cuenta que las moscas soldado negro son extremadamente sensibles a la temperatura se hacen más receptivas a la humedad, bajos niveles de humedad provocan una pérdida de agua a través de la membrana del huevo y una mayor desecación de los mismos. [18]

Los huevos sometidos a una humedad relativa del 25% tuvieron una mayor mortalidad que los huevos sometidos a una humedad relativa del 70%, los estudios realizados logran determinar que el tiempo de eclosión de huevos a una humedad del 25% tiene un retraso del 10.3% a comparación del tiempo de eclosión de huevos a una humedad 70%, los análisis a 40%, 50% y 60% arrojan resultados semejantes a los anteriormente mencionados se dice que la humedad relativa óptima es 60% pues allí se tiene una viabilidad de eclosión óptima.[19]

Al igual que la temperatura para la humedad se realizaron experimentos previos al oficial, en estos se usó una humedad relativa de 60% como lo indica la bibliografía, sin embargo, no se tuvo éxito debido a que se observó que los huevos perdían humedad rápidamente y no eclosionaban. Al incrementar la humedad relativa a 70%, se evidenció que los huevos permanecían en buenas condiciones físicas y eclosionaban correctamente. Es por esto que se define 70% de humedad relativa como el porcentaje adecuado para la eclosión de los huevos en las condiciones de Bogotá.

**Figura 4.**

*Huevos MSN deshidratados*



**Nota.** Se muestra la deshidratación de los huevos al inicio de la experimentación



### 2.1.3 Nutrición de los primeros 5 días-sustrato de iniciación

Es necesario y de suma importancia alimentar las larvas en sus primeros cinco días de vida, con un sustrato especial que contenga alto contenido proteico para obtener una alta tasa de supervivencia una vez eclosionan de los huevos. Para esta ocasión se eligió usar como sustrato concentrado para pollos [16]. Más específicamente concentrado para pollos de iniciación, basándonos en que este tiene mayor contenido proteico que el concentrado para pollos de engorde como se evidencia comparando la Tabla 1 y Tabla 2.

Según la información suministrada por las Tablas 1 y 2, el concentrado de pollo de iniciación contiene un 2% más en su contenido proteico que el concretado de pollo de engorde.

**Tabla 1.**

*Contenido nutricional de concentrado para pollos de iniciación*

PROTEINA (MIN)	21,00%
GRASA (MIN)	2,00%
HUMEDAD (MAX)	13,00%
FIBRA (MAX)	5,00%
CENIZA (MAX)	8,00%

*Nota.* Tabla ilustrativa contenido nutricional de concentrado para pollos de iniciación de la empresa Itacol disponible en: <https://italcol.com/producto/pollito-iniciacion-abf/>

**Tabla 2.**

*Contenido nutricional de concentrado para pollos de engorde*

PROTEINA (MIN)	19,00%
GRASA (MIN)	2,50%
HUMEDAD (MAX)	13,00%
FIBRA (MAX)	5,00%
CENIZA (MAX)	8,00%

*Nota.* Tabla ilustrativa contenido nutricional de concentrado para pollos de engorde de la empresa Itacol disponible en: <https://italcol.com/producto/pollito-iniciacion-abf/>

Por otro lado, es necesario que el sustrato que se use tenga un alto contenido de agua, para que las larvas puedan desplazarse con mayor facilidad y sea más cómodo para ellas ingerirlo. Es por esta razón que se utilizó una proporción de 30% de alimento seco y 70% de agua en la mezcla para obtener el sustrato de iniciación.

## **2.2 Condiciones de operación para el sistema de cultivo**

La temperatura y la humedad son parámetros clave para el desarrollo de las larvas. Si la temperatura supera los 30 ° C y la humedad relativa es menor al 50%, se conducen tanto a las larvas como al sustrato a un periodo de deshidratación. Es por esta razón que es de suma importancia definir estas variables teniendo en cuenta aspectos como el anteriormente mencionado.

### ***2.1.1 Temperatura***

La temperatura es la variable más importante a controlar en el proceso de cultivo, debido a que garantiza la calidad microbiológica y sanidad del sustrato. Para definir el valor de esta variable a usar dentro del experimento, se recopiló información sobre temperaturas óptimas de cultivo propuestas en diferentes documentos académicos afines al tema, representadas en la Tabla 3.

**Tabla 3.***Temperaturas óptimas de cultivo recopiladas en búsqueda bibliográfica*

<b>Título del documento</b>	<b>Temperatura óptima</b>	<b>Referencia</b>
Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide, 2nd Edition Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology	24-30 ° C	Dortmans B.M.A., Egger J., Diener S., Zurbrügg C. " <i>Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by- Step Guide, 2nd Edition</i> " Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland [Accedido: 12-oct-2021]
Greenhouse gas emissions from small- scale fly larvae composting with <i>Hermetia illucens</i>	37 ° C	E. Ermolaev, C. Lalander, B. Vinnerås, " <i>Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with Hermetia illucens</i> ", Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Department of Energy and Technology, Uppsala, Sweden [Accedido: 10- sept-2021]
Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion	35 ° C	Jack Y.K. Cheng, Sam L.H. Chiu, Irene M.C. Lo, " <i>Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion</i> ", Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China. [Accedido: 12-oct-2021]
Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) <i>Hermetia illucens</i> , Stratiomyidae	25-38°C	D. Carusco, E. Devic, I. W Subamia, P. Talamond, E. Baras " <i>Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) Hermetia illucens, Stratiomyidae</i> ", Abril 2014.
Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes - A comprehensive review	27-28°C	Sunil. K, Suraj. N, Ashootosh. M, Ran. V.S and Athar. H, " <i>Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes - A comprehensive review</i> " Journal of Environmental Management, Volume 227, 1 December 2018

**Nota.** Tabla 3 contiene la recopilación bibliográfica de las temperaturas óptimas de cultivo para desarrollo y crecimiento de la larva de mosca solado negro.

Con base en la Tabla 3 y realizando un análisis de los resultados de cada documento, se definió qué la temperatura más adecuada y a la que debe operar el biorreactor, para el cultivo de larvas de mosca soldado negro es de 27 °C.

### 2.1.2 Humedad relativa

La humedad relativa es otra variable importante dentro del experimento de cultivo, debido a que puede limitar el proceso de degradación ya que, si está por debajo del 40%, la actividad microbiana es más lenta, mientras que si excede el 75% se dificulta la circulación de aire, convirtiéndose en un proceso anaeróbico, y produciendo malos olores por la putrefacción de los residuos orgánicos. Para definir el valor de esta variable a usar dentro del experimento, se recopiló información sobre humedades relativas óptimas usadas en el cultivo, propuestas en diferentes documentos académicos afines al tema, representadas en la Tabla 4.

**Tabla 4.**

*Porcentajes de humedad relativa óptimos de cultivo recopilados en búsqueda bibliográfica*

Título del documento	%HR óptimo	Referencia
Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide, 2nd Edition Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology	80%	Dortmans B.M.A., Egger J., Diener S., Zurbrügg C. "Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide, 2nd Edition" Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland [Accedido: 12-oct-2021]
Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly	60-70%	Dennis. B, Benson. M, Nicholas. K and others "Low- cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly" Waste Management, Volume 119, January 2021
Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing e A mass balance approach	70±5%	Alejandro Parodi, Imke J.M. De Boer, Walter J.J. Gerrits, "Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing e A mass balance approach", Animal Production System Group Wagening University, [Accedido: 10-sept-2021]
Biotransformación de residuos orgánicos a partir del manejo ex situ de <i>Hermetia illucens</i> (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae) como una alternativa para la gestión sostenible de los desechos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito	80±5%	Jonnathan. M, "Biotransformación de residuos orgánicos a partir del manejo ex situ de <i>Hermetia illucens</i> (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae) como una alternativa para la gestión sostenible de los desechos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito "Universidad Central del Ecuador, 2021

**Nota.** Tabla 4 recopilación bibliográfica sobre las humedades relativas óptimas de cultivo para desarrollo y crecimiento de la larva de mosca soldado negro.

De acuerdo a la Tabla 4 y realizando un análisis de los resultados de cada documento, se definió qué el porcentaje de humedad relativa más adecuado y al que debe operar el biorreactor, para el cultivo de larvas de mosca soldado negro es de 70%.

### 2.1.3 *Humedad del sustrato*

Es importante que el residuo posea un contenido de agua adecuado para evitar que se deshidrate y así sea más fácil digerirlo por la larva, por esta razón se indaga bibliográficamente la cantidad de humedad reportada para el sustrato en diferentes documentos plasmados en la Tabla 5.

**Tabla 5.**

*Contenido de humedad óptimo*

<b>Título del documento</b>	<b>Contenido de humedad óptimo</b>	<b>Referencia</b>
Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide, 2nd Edition Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology	70-80 %	Dortmans B.M.A., Egger J., Diener S., Zurbrügg C. <i>“Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by- Step Guide, 2nd Edition”</i> Eawag: Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Dübendorf, Switzerland [Accedido: 12-oct-2021]
Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion	70-75%	Jack Y.K. Cheng, Sam L.H. Chiu, Irene M.C. Lo, <i>“Effects of moisture content of food waste on residueseparation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion”</i> , Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China. [Accedido: 12-oct-2021]
Material flow analysis and life cycleassessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae ( <i>Hermetia illucens</i> L.)	62%	Hanwen. G, Chengliand. J, Zhijian. Z, Wenjing L, Hongtao Wang, <i>“Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (Hermetia illucens L.)”</i> Science of The Total Environment, Volume 750,January 2021
Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes - A comprehensive review	80%	Sunil. K, Suraj. N, Ashootosh. M, Ran. V.S and Athar. H, <i>“Rapid composting techniques in Indian context and utilization of black soldier fly for enhanced decomposition of biodegradable wastes - A comprehensive review”</i> Journal of Environmental Management, Volume 227, 1 December 2018

**Nota.** Tabla 5 recopilación bibliográfica sobre el contenido de humedad óptimo de cultivo para desarrollo y crecimiento de la larva de mosca solado negro.

De acuerdo a la bibliografía recopilada en la Tabla 5 y después de analizar dichos valores, se definió que el contenido de humedad apropiado para el sustrato es del 70%.

#### 2.1.4 Relación (número de larvas / masa de sustrato) o densidad larval

Para garantizar una adecuada densidad larval dentro del experimento, se procedió a realizar una revisión bibliográfica, con el fin de recopilar relaciones “número de larvas / masa de sustrato” y definir la relación a usar dentro del proceso más conveniente.

En la siguiente tabla se compilaron datos de cinco bibliografías distintas, las cuales definen una relación número de larvas / masa de sustrato.

**Tabla 6.**

*Datos de Relación número de larvas/ masa de sustrato a partir de revisión bibliográfica*

Título del documento	Sustrato (g)	Número de larvas	Relación número de larvas / g de sustrato	Referencia
Hermetia illucens (Linnaeus) (Insecta: Diptera: Stratiomyidae)	24.000	45.000	1,875	Joseph W. Diclaro, Phillip E. Kaufman, "Hermetia illucens (Linnaeus) (Insecta: Diptera: Stratiomyidae)", University of Florida, Abril 2018. [Accedido: 12- oct-2021]
Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae Composting with Hermetia illucens	291,7	710	2,434	E. Ermolaev, C. Lalander, B. Vinnerås, "Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvaecomposting with Hermetia illucens", Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Department of Energy and Technology, Uppsala, Sweden [Accedido: 10-sept-2021]
Bioconversion efficiencies, greenhousegas and ammonia emissions during blacksoldier fly rearing e Amass balance approach	4.000	10.000	2,5	Alejandro Parodi, Imke J.M. De Boer, Walter J.J. Gerrits, "Bioconversion ef ficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during black soldier fly rearing e A mass balance approach", Animal Production System Group Wagening Univercity, [Accedido:10-sept-2021]

**Nota.** Tabla 6 recopilación bibliográfica sobre la relación número de larvas/masa de sustrato para el sistema decultivo de larva de mosca soldado negro.

Posteriormente se calculó un promedio entre los valores compilados de la relación número de larvas / masa de sustrato, el cual fue de 2,049 larvas / g de sustrato. Este dato fue el punto de referencia para seleccionar nuestra relación. Se decidió manejar dentro del experimento de cultivo una relación de 3 larvas / g de sustrato con el fin de evaluar el comportamiento y la viabilidad operativa que existe entre cambios de densidad de larval.

### 3 SISTEMA DE INCUBACIÓN

Con el fin de cumplir el objetivo 2, en el siguiente capítulo se presenta información relacionada a la experimentación realizada haciendo uso del sistema de incubación. Se explico la metodología aplicada para la eclosión de los huevos y la técnica de conteo de larvas de mosca soldado negro con el fin de plantear un sistema de incubación adecuado para la eclosión de los huevos.

Adicionalmente se describe el experimento que se realizó paralelo a la incubación con el fin de determinar en qué instante desde el momento en que se ponen a incubar los huevos, hay una mayor tasa de natalidad.

#### 3.1 Técnica para la eclosión de los huevos

La degradación de residuos con larvas de MSN es más sencilla haciendo uso de larvas uniformes es decir de misma edad y tamaño. Esto permite una mejor planificación en la entrada de los residuos, tasa de conversión y tiempo de cosecha. Por esta razón se decidió usar para nuestra experimentación la técnica llamada “lluvia de crías”, al usar la lluvia de crías, el número y edad de las larvas jóvenes en una cría de un contenedor se puede controlar y determinar [16].

Esta técnica se basa en colocar los huevos recién puestos por adultos sobre un soporte con malla y debajo de ella el sustrato de iniciación, una vez eclosionan los huevos, las larvas pasan por los orificios de la malla y caen directamente al sustrato. Para desarrollar esta técnica se hicieron uso de los siguientes materiales: una bandeja de plástico, sustrato de iniciación, agua, un soporte con malla, la cual permite una mejor distribución de las larvas recién eclosionada, 1 g de huevos de larva de mosca soldado negra, cucharas plásticas, un palo de balsa de 1/2 cm de diámetro, un pedazo de tela tipo lona y micro espátulas.

##### 3.1.1 Metodología para técnica la “lluvia de crías”

La metodología para realizar el montaje y para desarrollar la técnica de eclosión “lluvia de crías” fue la siguiente:

1. Para esta fase experimental inicialmente se preparó el sustrato de iniciación, mezclando 30 g de concentrado para pollos de iniciación como se definió en el capítulo 2 del documento,



más 70 g de agua. En la Figura 5 representa el esquema de preparación del sustrato de iniciación.

**Figura 5.**

*Mezcla sustrato de iniciación*

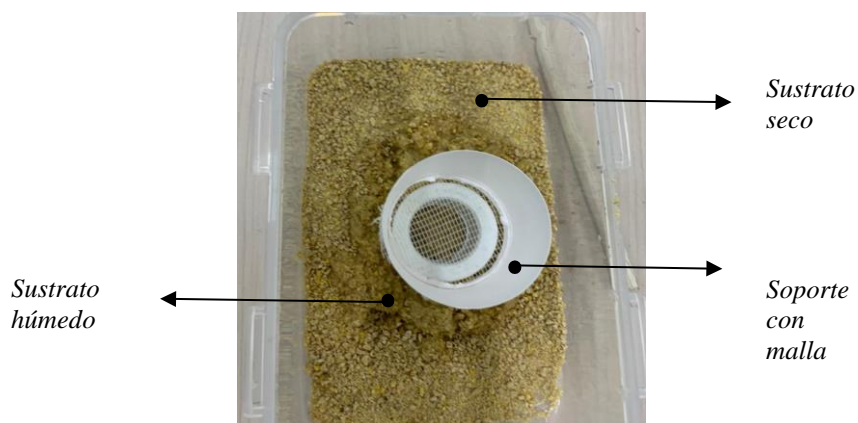


*Nota.* Corresponde a la preparación del sustrato de iniciación el cual hace parte de la nutrición de los primeros 5 días de vida de las larvas de mosca soldado negro.

2. Luego de tener el sustrato homogenizado se distribuyó dentro de la bandeja de plástico y se le adiciono alrededor concentrado de pollos de iniciación seco para evitar que la mezcla del sustrato pierda humedad y que las larvas se escapen. Seguidamente se colocó el soporte con malla. (Figura 6). A este soporte se le adiciona un palo de madera en la parte superior para soportar un pedazo de tela tipo lona, la cual se usó con el fin de evitar que los huevos se deshidraten. (Figura 7).

**Figura 6.**

*Montaje sustrato de iniciación más soporte.*



*Nota.* Representación del sustrato de iniciación y el correcto montaje para incubación

**Figura 7.**

*Soporte con malla más palo de madera “Lluvia de crías”*



*Nota.* La Figura 7 muestra el Soporte con malla y el palo de madera para la eclosión de los huevos por medio del método de “lluvia de crías”

3. Posteriormente se colocó 1 g de huevos encima del soporte, la altura entre el soporte y el sustrato debe ser entre 5-6 cm. [15] En la Figura 8 se puede apreciar una imagen de los huevos usados en el experimento y en la Figura 9 se puede observar la forma de colocación de los huevos en el soporte.

Adicional se humedeció con agua la tela y se dispuso encima del palo, se debe tener en cuenta que la tela debe quedar lo suficientemente húmeda sin llegar a generar goteo. La Figura 10 representa el montaje total del método de “lluvia de crías”.

**Figura 8.**

*1g de huevos Hermetia Illucens*



*Nota.* Representa 1 g de huevos de Hermetia Illucens, estos huevos se adquirieron en la Universidad Nacional de Colombia

**Figura 9.**

*Colocación de huevos sobre el soporte con malla*



*Nota.* Representa la colocación de los huevos de mosca solado negro sobre el soporte con malla.

**Figura 10.**

*Montaje “lluvia de crías”*



*Nota.* Representa el montaje de “lluvia de crías” en cuanto a el sustrato de iniciación, soporte y huevos.

**4.** Luego de contar con el montaje del sustrato de iniciación junto al soporte y los huevos, este se ingresó a la incubadora (Referencia: IDN-30A-EQ Marca: E&Q). Para realizar una adecuada incubación, el equipo se llevó a 28 °C y 70% de humedad relativa como se definió en la sección

2.1 del documento. El equipo con el que se contó para el experimento únicamente regulaba y mantenía constante la variable temperatura, es por esta razón que se decidió adicionar al montaje una bandeja con agua la cual permitió tener el ambiente húmedo dentro de la incubadora. En la Figura 11 se puede observar con más detalle el montaje en la incubadora.

### **Figura 11.**

#### *Montaje en la incubadora*



*Nota.* En la Figura 11 se evidencia el montaje realizado en la incubadora (Referencia: IDN-30A-EQ Marca: E&Q) donde se llevó a cabo la eclosión de los huevos de mosca soldado negro.

### **3.2 Técnica de conteo 5-dol.**

Para aumentar la tasa de supervivencia y poder contar las larvas antes de ingresarlas al sistema de cultivo, las crías se mantuvieron en un ambiente controlado y protegido durante cinco días después de la eclosión. Luego de transcurridos estos cinco días, para poder saber la cantidad de larvas que contiene cada recipiente, se implementó la técnica 5-DOL, debido a que el procedimiento de contar cada larva por su tamaño y cantidad se torna un poco extenso.

Esta técnica a grandes rasgos consiste en primero homogeneizar muy bien el contenido del recipiente, deshaciendo en su totalidad los grumos presentes en el mismo, luego, se toma una muestra aleatoria de 5 gramos y se tamiza para separar las larvas del sustrato de iniciación. Una vez tamizada la muestra se procede a contar el número de larvas. Para obtener un mejor resultado y precisión en el conteo, se repitió dicho procedimiento 3 veces. El objetivo de la técnica es hallar el factor de conversión No. de larvas/5g para posteriormente extrapolarlo en función de la masa total de cada recipiente y así saber aproximadamente la cantidad de larvas

presentes en los mismos.

*5-dol es la abreviatura de larvas de cinco días que se agregan a los residuos biológicos.*

[15]

La ecuación utilizada para hallar el número total de larvas presentes en cada recipiente fue:

**Ecuación 1.**

*Número total de larvas = factor de conversión \* peso de muestra*

Donde,

Factor de conversión: Número de larvas/5g (número de larvas presentes en 5 g de muestra) Peso de muestra: Peso total de la bandeja (con sustrato y larvas) - Peso de la bandeja (sinsustrato y larvas)

**3.1.1 Metodología para el cálculo del 5-dol**

Equipo requerido:

- Tamiz (malla de 0.5 mm).
- Cucharas plásticas.
- Recipientes para larvas y residuos.
- Balanza de precisión con vaso de plástico y vaso medidor.
- Plato y pinzas suaves

Se utiliza un tamiz manual (tamaño de malla de 0,5 mm) para tamizar todo el material en la bandeja de crías. Las partículas junto con las pequeñas larvas caerán a través del tamiz en un recipiente, mientras que las partículas de residuos más grandes y las larvas de seis días permanecen en el tamiz. El residuo más grande y las larvas que permanecen en el tamiz se colocan en una caja de plástico. De esta caja, las partículas residuales más grandes se retiran haciendo uso de micro espátula tanto como sea posible y se almacenan en otro lugar hasta que las larvas de 5-DOL sean claramente visibles (aunque algunos residuos también permanecen).  
Nota: Dar golpecitos en la pared de la caja de plástico para que las vibraciones ayuden a separar las larvas de los residuos.

1. Se retiró la bandeja de crías de seis días cumplidos del equipo. Posteriormente se homogeneizó cuidadosamente el contenido de la bandeja con una micro espátula, evitando a

toda costa infringir daños sobre las larvas.

2. Se tomó una cucharada al azar de la mezcla de 5-DOL sin grumos y se midieron 5 g de mezcla los cuales se dispusieron en el tamiz para separar el sustrato de las larvas. En la Figura 12 se pueden apreciar 5 g de mezcla separados aleatoriamente para tamizar.

**Figura 12.**

*Tamizaje de sustrato de iniciación y larvas*



*Nota.* En la figura 12 se puede observar a la manera en la que hay que se tamizo el sustrato para separar las larvas del mismo, haciendo uso de una malla con diámetro de 0.5mm.

3. Una vez tamizadas las larvas se colocaron en una superficie limpia y con una micro espátulase retiraron algunos pedazos de sustrato de iniciación que se filtraron para poder diferenciar más fáciles larvas del sustrato. En la Figura 13 se pueden observar larvas tamizadas y a su alrededor algunas partículas del sustrato de iniciación.

**Figura 13.**

*Larvas tamizadas*



*Nota..* En la figura 13 se pueden observar larvas tamizadas de 5 días de edad.

4. Finalmente se procedió a contar el número de larvas presentes en la muestra para obtener el factor de conversión No. de larvas/5g y así calcular el número total de larvas en esa bandeja extrapolando el factor.

### **3.3 Curva Natalidad Vs. Tiempo**

El objetivo principal de la construcción de la curva natalidad Vs. tiempo, es poder identificar en qué instante desde el momento en el que se colocan a incubar los huevos hasta transcurridos los 5 días destinados a la eclosión, la tasa de natalidad es mayor. Para esto fue necesario realizar un experimento paralelo a la incubación de los huevos.

#### **3.3.1. Metodología**

La metodología usada consistió en cambiar la bandeja de sustrato de iniciación cada 12 horas aproximadamente después de transcurridos 2 días desde el momento en el que se coloca 1 g de huevos a incubar, durante 5 días. De esta manera se asegura que la muestra tomada cada 12 horas contiene el número de larvas eclosionadas durante este lapso de tiempo. Al final del experimento se obtuvieron 9 muestras. La Tabla 7 representa el cronograma usado en la experimentación.

**Tabla 7.**

*Cronograma experimento Natalidad Vs. Tiempo*

Fecha	Hora	Actividad
08-10-2021	6:30 pm	Inicio del experimento
11-10-2021	6:30 pm	Recolección muestra 1
12-10-2021	7:00 am	Recolección muestra 2
	6:30 pm	Recolección muestra 3
13-10-2021	7:00 am	Recolección muestra 4
	6:30 pm	Recolección muestra 5
14-10-2021	7:00 am	Recolección muestra 6
	6:30 pm	Recolección muestra 7
15-10-2021	7:00 am	Recolección muestra 8
	6:30 pm	Recolección muestra 9
16-10-2021	6:30 pm	Conteo 5-DOL muestra 1
17-10-2021	7:00 am	Conteo 5-DOL muestra 2
	6:30 pm	Conteo 5-DOL muestra 3
18-10-2021	7:00 am	Conteo 5-DOL muestra 4
	6:30 pm	Conteo 5-DOL muestra 5
19-10-2021	7:00 am	Conteo 5-DOL muestra 6
	6:30 pm	Conteo 5-DOL muestra 7
20-10-2021	7:00 am	Conteo 5-DOL muestra 8
	6:30 pm	Conteo 5-DOL muestra 9

**Nota:** La Tabla 7 representa el cronograma programado para el seguimiento y muestreo del experimento el cual se llevó a cabo en las instalaciones de la Universidad ECCI Sede P-Bogotá.

Una vez recolectadas las muestras se procedió a realizar el conteo 5-DOL como lo plantea el cronograma y se definió el número de larvas presentes en cada muestra.



### 3.4 Resultados sistema de incubación

En la Tabla 8 se exponen los resultados obtenidos en la experimentación. El conteo 5-DOL se aplicó a cada muestra por triplicado para obtener un valor más confiable. El factor de conversión usado para cada muestra fue un promedio de los tres valores obtenidos.

El número total de larvas que eclosionaron a partir de 1 g de huevos fueron 14.010 bajo condiciones controladas de temperatura (28°C) y humedad relativa (70%).

**Tabla 8.**

*Contenido 5-DOL por muestra*

Fecha muestreo	11/10/2021			12/10/2021			13/10/2021			14/10/2021			15/10/2021		
Hora muestreo	6:30 p. m.			7:00 a. m.			6:30 p. m.			7:00 a. m.			6:30 p. m.		
Fecha de conteo 5-DOL	16/10/2021			17/10/2021			18/10/2021			19/10/2021			20/10/2021		
Hora de conteo 5-DOL	6:30 p. m.			7:00 a. m.			6:30 p. m.			7:00 a. m.			6:30 p. m.		
Muestra	1	2	3	4	5	6	7	8	9						
Peso muestra (g)	33,000	58,000	105,000	57,000	68,000	45,000	34,000	96,000	8,000						
Larvas en 5 (g)	88,000	199,000	233,000	376,000	109,000	17,000	2,000	6,000	3,000						
Larvas en 5 (g)	101,000	216,000	205,000	480,000	110,000	14,000	4,000	7,000	6,000						
Larvas en 5 (g)	92,000	186,000	213,000	409,000	98,000	16,000	2,000	3,000	2,000						
Promedio	93,670	200,330	217,000	421,670	105,670	15,670	2,670	5,330	3,670						
No. de larvas	618,200	2323,870	4557,000	4807,000	1437,070	141,000	18,130	102,400	5,870						

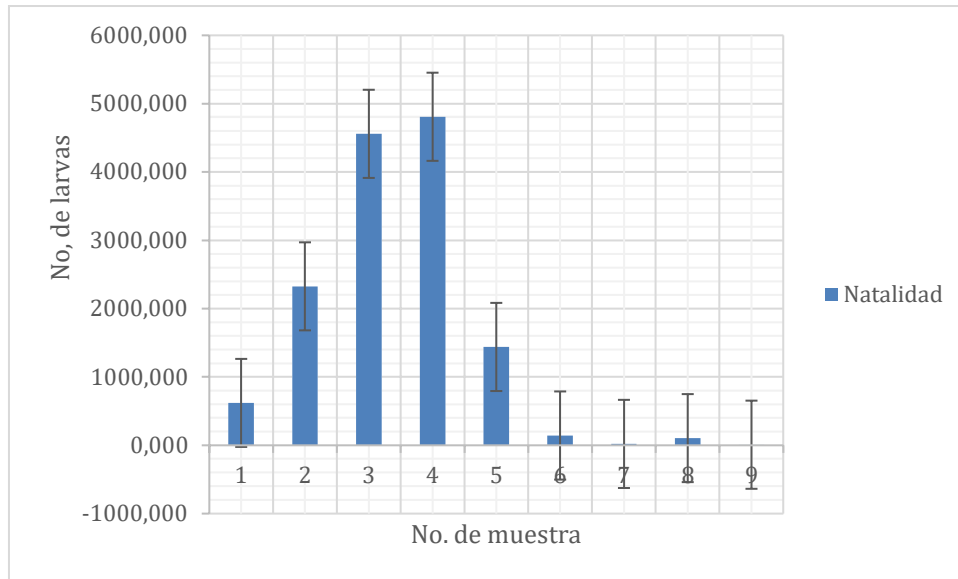
Total No. larvas haciendo uso de la técnica 5-DOL	14010,530
---	-----------

*Nota.* En la tabla 8 se pueden apreciar los resultados obtenidos en el experimento. Se obtuvieron 9 muestras, tomadas a la hora y fecha que indica la tabla. El número total de larvas se halló sumando la casilla “No. de larvas” para las 9 muestras.

Con base a la Tabla 8, se construyó la Figura 14, la cual contiene una distribución normal que representa la tasa de natalidad de las larvas en función del tiempo. Se evidencio que la mayor tasa de natalidad se dio entre los días 4 (12-10-2021 6:30PM) y 5 (13-10-2021 7:30 AM), después del día de iniciación del experimento (08-10-2021 6:30 PM).

**Figura 14.**

*Tasa de natalidad Vs. Tiempo (Número de larvas que eclosionan cada 12 horas)*



**Nota.** La Figura 14 representa el comportamiento de la tasa de natalidad de las larvas en función del tiempo.

De acuerdo a la bibliografía, se estima que la masa promedio de un huevo de larva de mosca soldado negro es de aproximadamente 25 microgramos (mcg). 1 gramo de huevos de mosca soldado negro MSN fértil y asumiendo una tasa de supervivencia y eclosión del 100% equivale aproximadamente a 40.000 larvas, sin embargo se debe tener en cuenta que no todas las nidadas de huevos cosechados son fértiles y que la viabilidad de los huevos larvales fértiles también varía, pues esta viabilidad de huevos cae precipitadamente si los huevos se exponen a hongos, a la desecación, si se congelan antes de que las larvas puedan emerger libres de la nidada de los huevos, o si se exponen a una variabilidad de temperatura. [21]

Contrastando los resultados obtenidos en la experimentación y los datos obtenidos bibliográficamente, 14.010 larvas eclosionadas en el experimento representan el 35% de las 40.000 larvas que debería haber eclosionado según la bibliografía. Cabe aclarar que, dentro de la bibliografía, las 40.000 larvas se asumen bajo conceptos de idealidad, suponiendo un porcentaje de supervivencia y eclosión del 100%, que los huevos adquiridos eran completamente fértiles y sin ninguna variabilidad de temperatura o humedad. Es necesario destacar que durante la adquisición y transporte de los huevos existieron cambios en la temperatura y humedad del ambiente, entre otros factores, que pudieron afectar su tasa de eclosión o natalidad.



## **4. SISTEMA DE CULTIVO**

El sistema de cultivo inicia con la disposición de residuos sólidos orgánicos provenientes del comedor comunitario de la localidad de Santa Fe al igual que residuos provenientes de la industria cervecera provenientes de una experimentación casera para la elaboración de cerveza, estos dos residuos fueron seleccionados como sustrato para el cultivo debido a que tienen un alto contenido de minerales, los cuales son aptos para la degradación, ya que poseen una alta viabilidad para ser transformados a través de métodos biológicos, en este caso haciendo uso de larvas de mosca solado negro dado a su capacidad de biodegradación.

Los residuos deben ser seleccionados y revisados con el fin de evitar materiales de carácter inorgánico o peligroso, luego el material netamente orgánico se acondiciona con el fin de facilitar el proceso de alimentación y descomposición por parte de las larvas. Posterior al acondicionamiento, se aplica el método de cuarteo con el objetivo de homogeneizar la mezcla de material orgánico y así obtener una muestra significativa para luego ser remitida al laboratorio y realizar pruebas fisicoquímicas que indiquen el estado inicial de los sustratos, posterior a esto se construyen 4 diferentes proporciones entre los dos sustratos, cuya razón se explica más adelante. Finalmente, estas mezclas de residuos se agregan a las bandejas junto con las larvas de 5 días, se ingresan al biorreactor y se lleva a cabo la experimentación.

En el biorreactor se tuvieron en cuenta variables como temperatura, humedad relativa y relación C/N, para garantizar un ambiente adecuado en la bioconversión y así analizar el desarrollo y crecimiento de las larvas con el fin de cumplir el objetivo 3.

### **4.1 Construcción del biorreactor**

En esta sección del documento se hablará del proceso de construcción del biorreactor y de su funcionalidad. El equipo está conformado por una caja de polietileno con tres entrepaños, una puerta móvil frontal con desplazamiento vertical, y un sistema de acondicionamiento del aire, el cual se divide en dos: La primera sección es donde se calienta el aire ambiente y la segunda sección es donde se humidifica el mismo. Tanto el biorreactor como el sistema de control de variables se construyeron manualmente.

#### 4.1.1. Materiales y dimensiones

Para la construcción del biorreactor se usaron láminas de polietileno de calibre 80, esquineros de aluminio y adhesivo Sikaflex. El biorreactor cuenta con tres entrepaños construidos en el mismo material junto con agujeros aleatorios circulares para garantizar una correcta distribución del aire, con una puerta móvil frontal con desplazamiento vertical de calibre 50.

Las dimensiones del biorreactor fueron calculadas de acuerdo al espacio ocupado por las 12 bandejas que contendrán el sustrato de engorde y las larvas, estipuladas para usarse en el experimento. Estas bandejas fueron recipientes ya disponibles en el mercado, sus dimensiones son 11.3cm x 8cm x 6cm (largo x ancho x altura) respectivamente como se puede observar en la Figura 15.

**Figura 15.**

*Dimensiones de bandeja*



**Nota.** La figura 15 evidencia el tamaño de las bandejas a usar para el engorde de la larva de mosca soldado negro. Estos recipientes se compraron a una empresa dedicada a la importación de productos plásticos y comercialización de los mismos al por mayor y al detal, en la localidad de Puente Aranda en Bogotá.

Teniendo en cuenta las dimensiones de las bandejas (Véase Figura 15), el espaciamiento definido entre ellas (a lo largo de 5.5cm y a lo ancho 4.5cm), el espaciamiento de cada entrepaño (13cm) y que se ubicaran las 12 bandejas en 3 entrepaños (4 bandejas por entrepaño), se procedió a realizar los cálculos de las dimensiones de reactor de la siguiente forma:

Dimensión del largo

$$\begin{aligned} \text{Largo} &= (\text{largo de la bandeja} * 2) + (\text{espaciamiento a lo largo} * 3) \\ \text{Largo} &= (11.3 \text{ cm} * 2) + (5.5 \text{ cm} * 3) \\ \text{Largo} &= 39.1 \text{ cm} \approx 40 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dimensión del ancho

$$\begin{aligned} \text{Ancho} &= (\text{ancho de la bandeja} * 2) + (\text{espaciamiento a lo ancho} * 3) \\ \text{Ancho} &= (8 \text{ cm} * 2) + (4.5 \text{ cm} * 3) \\ \text{Ancho} &= 29.5 \text{ cm} \approx 30 \text{ cm} \end{aligned}$$

Dimensión del alto

$$\begin{aligned} \text{Alto} &= (\text{espaciamiento de entrepaño} * 3) \\ &+ (\text{espaciamiento entre las tapas a el entrepaño próximo} * 2) \\ \text{Alto} &= (13 \text{ cm} * 3) + (3 \text{ cm} * 2) \\ \text{Alto} &= 45 \text{ cm} \end{aligned}$$

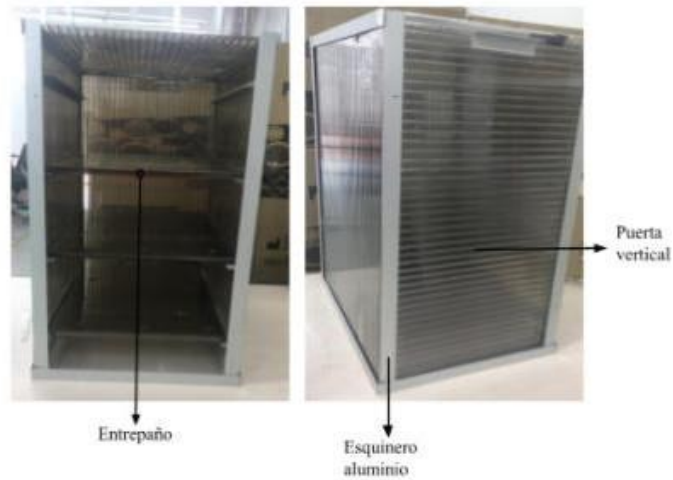
Las dimensiones obtenidas para el biorreactor fueron 30cm x 40cm x 45cm (ancho x largo x altura) respectivamente.

Nota: Los espaciamentos se definieron con el fin de facilitar el manejo de las bandejas dentro del biorreactor.

Para la construcción manual fue necesario en primera instancia cortar las láminas de polietileno de acuerdo a las medidas anteriormente mencionadas, luego de ello se unieron para formar un paralelepípedo rectangular, haciendo uso de esquineros metálicos con el objetivo de darle mayor estabilidad a la estructura y adhesivo “Sikaflex”. En la Figura 16 se puede observar el resultado final de la construcción del biorreactor y sus partes

**Figura 16.**

*Biorreactor*



*Nota.* La Figura 16 construcción manual del biorreactor para el sistema de cultivo

#### **4.1.2 Sistema de control**

El sistema de control está compuesto por un sensor DHT11, un sensor de nivel de agua, un humidificador ultrasónico, una bomba tipo pecera, un Arduino UNO, un relé de estado sólido, una protoboard, cables de conexión, una pantalla display LCD, botones y resistencias eléctricas para incubadora. En la Figura 18 y la Figura 19 se pueden observar las partes que conforman el sistema de control.

El principio de funcionamiento del sistema de control se basa en mantener las condiciones de temperatura, humedad y nivel de agua constantes durante el funcionamiento del biorreactor, el control del nivel de agua se implementó con el fin de evitar un agotamiento de agua en el reservorio al cual se le adiciono un humidificador ultrasónico, mientras que el control de temperatura y humedad diseño con el fin de mantener y establecer valores operativos constantes en el biorreactor.

El sistema de control se construyó uncialmente conectando los sensores al sistema con el fin de formar un lazo de control, el Arduino recibe una señal proveniente del DHT11 cuyos valores de temperatura y humedad son comparados con el valor de setpoint, si estos valores tanto de humedad como temperatura se encuentran por encima o por debajo del setpoint, el Arduino

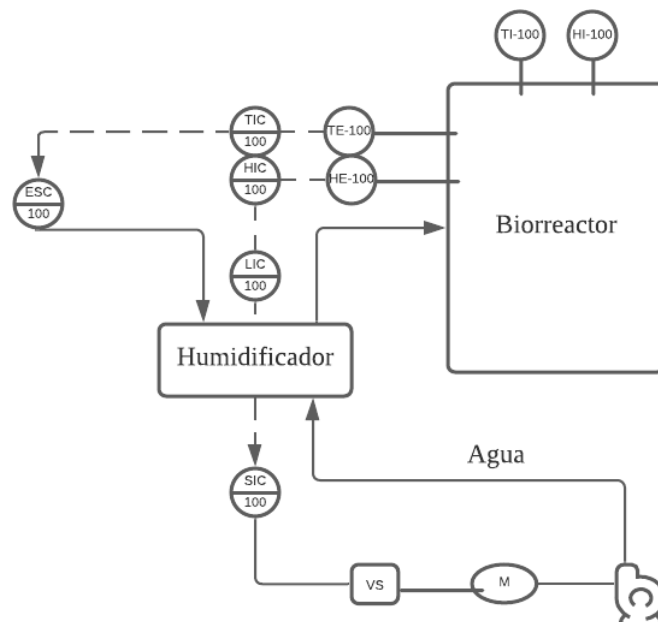
envía una señal al relé y este enciende la resistencia para incubadora o el humidificador ultrasónico de acuerdo a la comparación realizada por el mismo, estos dos elementos se desenergizan o apagan cuando el valor de las variables sea igual al de su respectivo setpoint.

En cuanto al nivel del agua, el sensor de nivel envía una señal de continuidad o discontinuidad generando un sistema normalmente abierto o normalmente cerrado es decir un 1 lógico o 0 lógico, cuando el flotador se encuentra arriba el Arduino no recibe ninguna señal para ejecutar por medio del relé, mientras que si el flotador se encuentra abajo el Arduino envía una señal al relé con el fin de accionar la bomba y permitir el llenado del reservorio de agua hasta que el flotador se encuentre en la posición de arriba, la Figura 17 evidencia el control e instrumentación de la incubadora.

En la Figura 20 se puede apreciar el montaje final del sistema de control de variables, el cual lo conforma un Arduino UNO, una protoboard, una pantalla LCD, un relé, botones para poder configurar las variables según el requerimiento y toma corrientes para energizar el sistema.

**Figura 17.**

*Control e instrumentación del biorreactor*

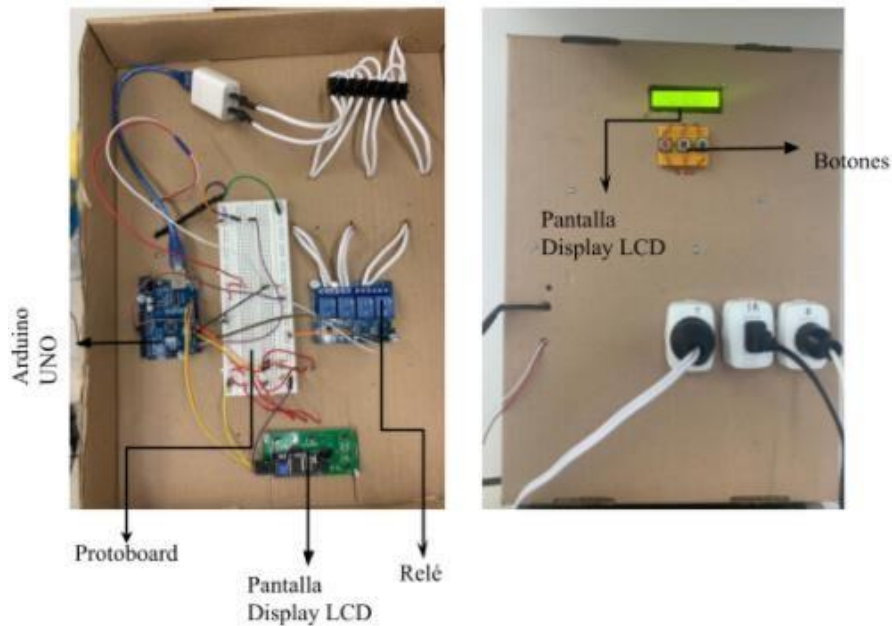


*Nota.* Representación del control e instrumentación del biorreactor.



**Figura 18.**

*Sistema de control*

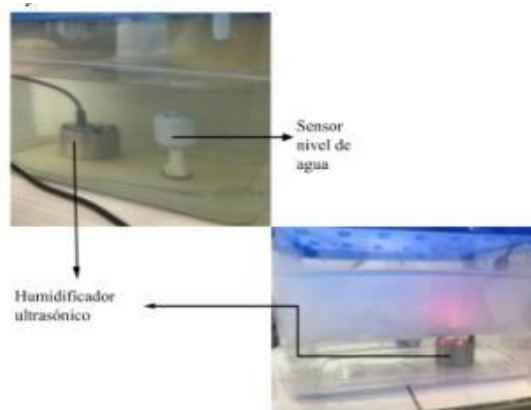


*Nota.* La Figura 18 representa el sistema de control de variables temperatura, humedad relativa y nivel de agua.

En la Figura 18 se puede apreciar el montaje del reservorio de agua, con la instalación del flotador y el humidificador ultrasónico.

**Figura 19.**

*Humidificador ultrasónico y sensor de nivel*

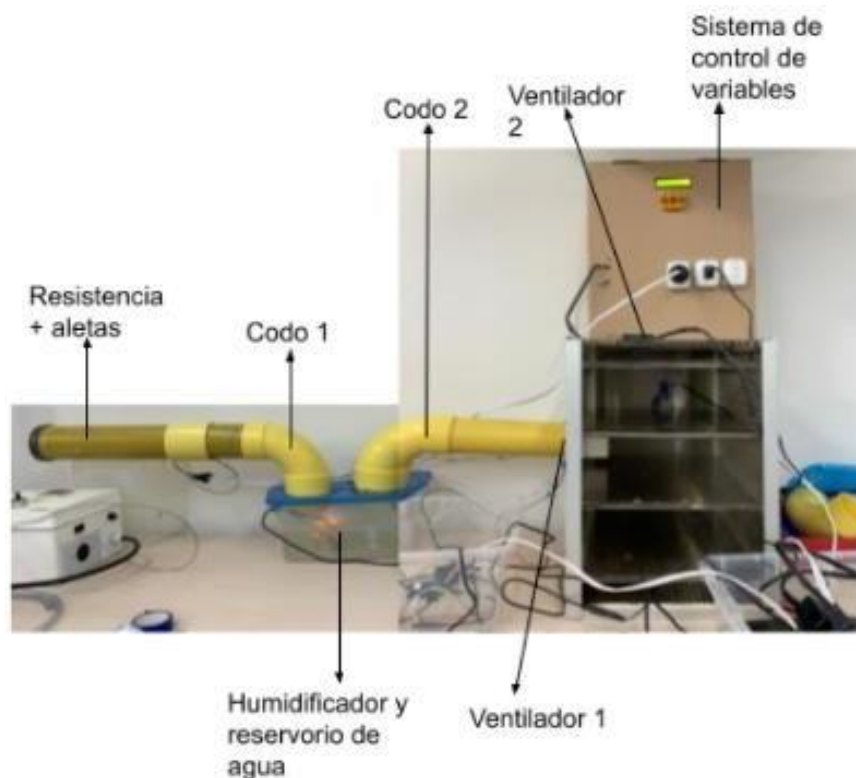


*Nota.* La Figura 19 representa el sistema de humidificación constante al igual que el sensor de nivel de agua que permite mantener constante la cantidad de agua para el humidificador.

Una vez construido el biorreactor y el sistema de control de variables, se unieron por medio de tubos de PVC de 3 pulgadas y codos de la misma medida. En la (Figura 19) se puede observar la instalación final del biorreactor. En el primer tramo de izquierda a derecha, se encuentra instalada la resistencia con unas aletas hechas manualmente con latas de cervezas, dentro del tubo (Figura 21 y Figura 22). Posteriormente se instalaron dos codos, el primero (codo 1) uniendo el tramo de la resistencia con el reservorio de agua y el segundo (codo 2) unido el reservorio de agua con el tramo que se une al biorreactor. Adicional al equipo se le instalaron dos ventiladores que se programaron para que fueran de tipo “tiro forzado”. El ventilador 1 succionaba el aire ambiente, lo hacía pasar por la resistencia, luego por el humidificador y finalmente lo introducía al biorreactor. El ventilador 2 succionaba el aire contenido en el biorreactor hacia la atmósfera.

**Figura 20.**

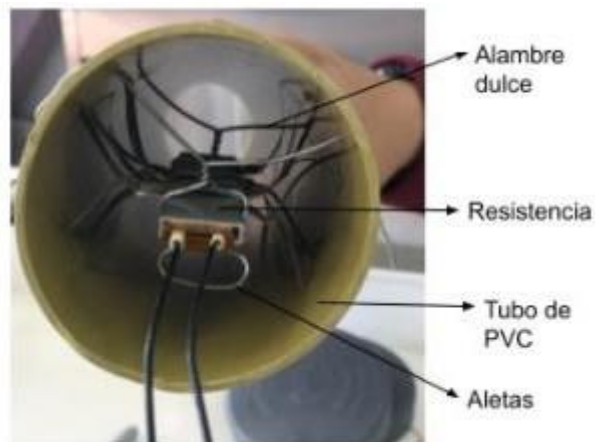
*Instalación final biorreactor*



**Nota.** La Figura 20 muestra el diseño del equipo en su estado final de funcionamiento.

**Figura 21.**

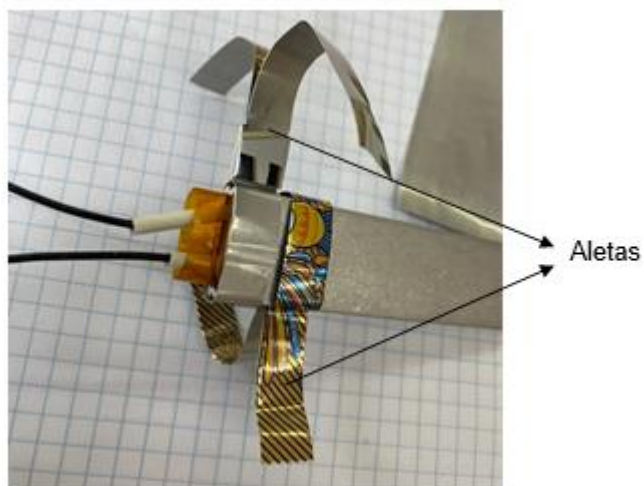
*Instalación resistencia en tubo PVC*



*Nota.* La Figura 21 representa la instalación de la resistencia térmica en el tubo PVC para esto se le abrieron orificios al tubo de PVC en los cuales se anclaron los soportes del alambre dulce metálico para amarrar la resistencia con las aletas.

**Figura 22.**

*Geometría de las aletas conductoras de calor*



*Nota.* La figura 22 evidencia la geometría de las aletas el objetivo de construir las aletas es para que el calor se transfiera a una mayor velocidad hacia el aire ambiente y aumentar el área de contacto. Al necesitar un material conductor, se decidió reciclar latas de cerveza y usarlas para

el fin. Las aletas se instalaron a lo largo de la resistencia.

## **4.2 Descripción del proceso**

Después de construir y verificar el correcto funcionamiento del biorreactor al igual que el sistema de control de variables y de definir los valores de las condiciones de operación (temperatura y humedad relativa), se procedió a recolectar los sustratos para alimentar las larvas. El primero fue residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario de la localidad

de Santafé en Bogotá, estos contienen los sobrantes que se generan al preparar los alimentos como cáscaras, tallos, semillas, y restos de tubérculos, legumbres, verduras y frutas. El segundo fue residuos provenientes de la elaboración de cerveza casera, más específicamente malta.

Una vez recolectados y transportados los residuos al laboratorio, se acondicionan teniendo en cuenta factores como el contenido de agua y el tamaño de partícula más adecuado para las larvas. Posteriormente se planteó el diseño de experimentos que a grandes rasgos consistió en manipular la variable relación C/N del sustrato para encontrar en qué relación las larvas aumentan mayormente de peso y degradan mayor cantidad de material. Se manejaron 4 diferentes relaciones C/N en el experimento y este se hizo por triplicado.

A lo largo de la experimentación, se realizó un seguimiento a la talla (largo en cm) y peso (g) de las larvas, con el fin de graficar curvas de crecimiento en cada relación C/N. El objetivo principal del experimento es comparar 4 relaciones C/N, entre los sustratos anteriormente mencionados con el fin de alimentar las larvas y evidenciar en cual relación las larvas se desarrollan de mejor manera.

### **4.2.1. Selección del sustrato**

La siguiente tabla contiene algunos de los tipos de sustratos más usados en el cultivo de larvade mosca soldado negra *Hermetia Illucens*.

**Tabla 9.***Tipos de sustrato óptimos de cultivo recopilados en búsqueda bibliográfica*

Título del documento	Tipo de sustrato	Referencia
Common name: black soldier fly scientific name: <i>Hermetia illucens</i> (Linnaeus) (Insecta: Diptera: Stratiomyidae)	Estiércol	Joseph. W, Diclaro and Phillip. E “common name: black soldier fly scientific name: <i>Hermetia illucens</i> (Linnaeus) (Insecta: Diptera: Stratiomyidae)” University of Florida, April 2018
Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with <i>Hermetia illucens</i>	Residuos orgánicos de alimentos	E. Ermolaev, C. Lalander, B. Vinnerås, "Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with <i>Hermetia illucens</i> ", Swedish University of Agricultural Sciences (SLU), Department of Energy and Technology, Uppsala, Sweden [Accedido: 10-sept-2021]
Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion	Residuos orgánicos de alimentos pre consumo	Jack Y.K. Cheng, Sam L.H. Chiu, Irene M.C. Lo, "Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion", Department of Civil and Environmental Engineering, The Hong Kong University of Science and Technology, Hong Kong, China. [Accedido: 12-oct- 2021]
Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly	Estiércol con aserrín	Dennis. B, Benson. M, Nicholas. K and others “Low-cost technology for recycling agro-industrial waste into nutrient-rich organic fertilizer using black soldier fly” Waste Management, Volume 119, January 2021
Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae ( <i>Hermetia illucens</i> L.)	Residuos orgánicos de alimentos pre consumo + polvo de cáscara de arroz	Hanwen. G, Chengliand. J, Zhijian. Z, Wenjing L, Hongtao Wang, “Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae ( <i>Hermetia illucens</i> L.)” Science of The Total Environment, Volume 750, January 2021

**Nota.** Tabla 9 recopilación bibliográfica de los sustratos más usados en el cultivo para desarrollo y crecimiento de la larva de mosca soldado negro *Hermetia Illucens*.

Acorde a la bibliografía anteriormente mencionada en la Tabla 9 y teniendo en cuenta los resultados obtenidos por los estudios “Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion” y “ Material flow analysis and life cycle assessment of food waste bioconversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens* L.)” donde su sustrato de engorde o cultivo principal proviene residuos orgánicos pre consumo, y que concluyen que el tamaño y el peso de la larva a condiciones controladas como la humedad del sustrato y la aireación del reactor permite una buena bioconversion a causa del contenido de proteína bruta en estos residuos permitiendo un

desarrollo y crecimiento óptimo de la larva, se eligió dentro del experimento como sustrato 1, los residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario de la localidad de Santa Fe en Bogotá y como sustrato 2, residuos provenientes de la industria cervecera esto con el fin de realizar un análisis teniendo en cuenta la viabilidad del proceso haciendo uso de los mismos.

#### **4.2.2. Acondicionamiento del sustrato**

Es de suma importancia acondicionar los sustratos antes de ponerlos en contacto con las larvas, debido a que hay que ingresarlos con un contenido de agua específico y con una textura parecida a la de la papilla para que a las larvas se les facilite en gran medida digerirlos. Inicialmente se aplicó el método de cuarteo a cada muestra recién recolectada, con el fin de obtener una muestra representativa a partir de una muestra grande y poco homogénea. El método de cuarteo consiste en homogeneizar la muestra en forma de círculo y descartar dos de las cuartas partes que se oponen diametralmente como se puede observar en la Figura 23, seguido a esto se mezcla el material restante y se cuarteo de la misma manera hasta conseguir una muestra significativa de la cantidad requerida. El método de cuarteo se debe realizar por individual a cada una de las muestras, no debe mezclarse por ningún motivo el residuo de los comedores comunitarios con los residuos de la industria cervecera.

Una vez se obtuvieron las muestras representativas de cada residuo, se procedió a inspeccionar el tipo de material contenían los mismos. En cuanto a los residuos del comedor comunitario se evidencio que contenían restos de papa, zanahoria, cebolla, limón y cilantro, y los residuos cerveceros contenían en su totalidad malta, como se puede apreciar en la Tabla 10.

**Tabla 10.**

*Características de los residuos del comedor comunitario y la industria cervecera*

<b>Residuos</b>	<b>Características</b>
Papa	Los minerales que podemos encontrar en la papa incluyendo la cascara en orden decrecienteson: fosforo, ácido ascórbico, calcio y finalmente hierro, lo que enriquece el abono
Zanahoria	El fósforo, el calcio y el hierro son los minerales que podemos encontrar en este tipo de residuos que de igual manera enriquecen el abono
Cebolla	Este residuo contiene una fuente significativa de potasio, al igual que contiene calcio, magnesioy fósforo
Limón	Este residuo contiene una fuente significativa de magnesio, fósforo y ácido fólico
Cilantro	El calcio, hierro, fósforo, magnesio, potasio son los minerales que se pueden encontrar en estetipo de residuos

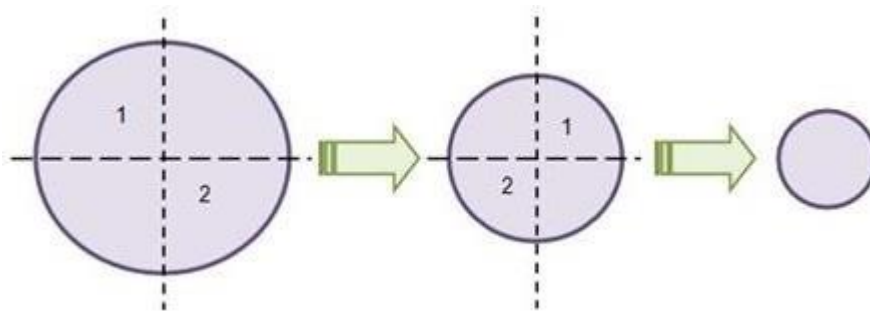
Malta	La malta es rica en minerales como hierro, potasio, fósforo, zinc y magnesio
-------	--

**Nota.** La Tabla 10 presenta características físicas y químicas de los residuos orgánicos seleccionados. Tomado de: UAESP, GUÍA TÉCNICA PARA EL APROVECHAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS A TRAVÉS DE METODOLOGÍAS DE COMPOSTAJE Y LOMBRICULTURA, p35. Requisito.

[http://www.uaesp.gov.co/images/GuiaUAESP\\_SR.pdf](http://www.uaesp.gov.co/images/GuiaUAESP_SR.pdf)

**Figura 23.**

*Método de cuarteo*



**Nota.** Método de cuarteo, procedimiento para realizar un buen método. Tomado de: Plan integral de manejo de residuos sólidos urbanos. Disponible en: <https://www.monografias.com/trabajos-pdf2/plan-integral-manejo-residuos-solidos/plan-integral-manejo-residuos-solidos2.shtml>

Luego de inspeccionar la muestra para especificar el tipo de material orgánico que contiene, se debe garantizar que no contengan materiales peligrosos, ni sustancias inorgánicas, por lo que se debe realizar una inspección física de los residuos sólidos orgánicos dados por la secretaría de integración social, así como la industria cervecera, en caso de tener algún material extraño la muestra debe retirar y desechar.

Después de analizar las muestras y garantizar que son aptas para el consumo de las larvas, se prosiguió a la reducción de tamaño de partícula haciendo uso de una licuadora. La contextura debe ser similar al de una papilla, debido a que las larvas de mosca solado negro no cuentan con piezas bucales adecuadas para romper trozos de residuos grandes.

Seguidamente se procedió a analizar el tema de la humedad del sustrato. Si la humedad es superior al 80%, deberá deshidratarse o mezclarse con otra fuente de residuos secos o

manualmente [20] hasta llegar a una humedad del 70% como se definió en la sección 2.2.3 del documento. Dado que la humedad inicial, después de licuar los residuos fue del 92%. Fue necesario realizar una deshidratación haciendo uso de una prensa manual (Figura 24) y una tela tipo lona (Figura 25) con el fin de extraer una cantidad de líquido significativo, el volumen de líquido deshidratado para los residuos de comedores comunitarios fue de 1150 cc mientras que para los residuos de la industria cervecera fue de 750 cc.

Posterior a la deshidratación se procede a tomar una muestra de 300 g de ambos residuos con el fin de ser llevados al laboratorio AGRILAB para así determinar las condiciones fisicoquímicas iniciales de los mismos, dado que los resultados por parte del laboratorio tardaban alrededor de 15 días y con el fin de dar inicio a la experimentación se procede a realizar la determinación de humedad y cenizas siguiendo las metodologías planteadas en la sección 3.5.1 y 3.5.2 del documento.

**Figura 24.**

*Prensa para deshidratación manual*



**Nota.** En la Figura 24 se puede apreciar la prensa manual para deshidratación de residuos que se usó en el experimento.

**Figura 25.**

*Tela tipo lona para deshidratación*





*Nota.* La Figura 25 muestra la tela tipo lona usada en la deshidratación de residuos.

### 4.3 Diseño experimental

Para el diseño de experimentos se implementó un análisis de la varianza con un factor, en donde se analiza el estudio factorial 1k, el cual evidencia 1 variable dependiente (variable manipulada) la cual es la relación C/N y varios niveles independientes (variables fijas) como la temperatura, la humedad relativa, la densidad larval y la humedad sustrato.

Las hipótesis planteadas para el estudio factorial 1k son:

Ho: No hay diferencias entre las medias de los diferentes grupos:  $\mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \mu_n$

Hi: Al menos un par de medias es significativamente distintas la una de la otra

### 4.4. Relación C/N (Carbono/Nitrógeno)

Como anteriormente se explicó, la variable manipulada seleccionada dentro del diseño de experimento fue la relación C/N y la razón de esta elección es debido a que esta variable es de suma importancia, ya que expresa una relación entre la cantidad de energía (carbono) y la cantidad de bloques constituidos (proteína y aminoácidos).

Con el fin de identificar cuál relación C/N para que las larvas se desarrollen de mejor manera, se definieron 4 diferentes proporciones de sustrato entre residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y residuos orgánicos de cervecería para garantizar diferentes relaciones C/N dentro del experimento. La primera proporción fue 100% sustrato de residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario, la segunda proporción fue 75% de residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y 25% de residuos orgánicos de cervecería, la tercera

proporción fue 25% de residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y 75% de residuos orgánicos de cervecería, y la cuarta proporción fue 100% residuos orgánicos de cervecería. Cada proporción se dispuso en una bandeja distinta con masas iguales de 133 g.

Por otro lado, como anteriormente se explicó, se usó una densidad larval de 3 larvas / g de sustrato en cada bandeja. Con el fin de calcular el número de larvas que se deberán agregarse a cada bandeja se usó la siguiente ecuación

Ecuación 2.

$$\text{no. de larvas} = \text{masa de sustrato (g)} * \frac{3 \text{ larvas}}{\text{g sustrato}}$$

$$\text{no. de larvas} = 133 \text{ (g)} * \frac{3 \text{ larvas}}{\text{g sustrato}}$$

$$\text{no. de larvas} = 399 \approx 400$$

Con base a los resultados de la anterior ecuación, se definió agregar aproximadamente 400 larvas a cada bandeja. Se dice aproximadamente debido a que el tamaño de las larvas de 5 días es inferior a los 0,3 cm, lo que hace difícil su manipulación y conteo, generando un margen de error.

Como en el diseño de experimento se fijó 1 ensayo y 2 réplicas, se usó un total de 12 bandejas como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 11.**

*Proporción, masa y número de larvas por bandeja*

	BANDEJA	PROPORCION	SUSTRATO 1	SUSTRATO 2	MASA 1 (g)	MASA 2 (g)	MASA TOTAL (g)	No. de larvas
ENSAYO	1	100	100%	0	133	0	133	400
	2	75-25	75%	25%	99,75	33,25	133	400
	3	25-75	25%	75%	33,25	99,75	133	400
	4	100	0	100%	0	133	133	400
REPLICA 1	5	100	100%	0	133	0	133	400
	6	75-25	75%	25%	99,75	33,25	133	400
	7	25-75	25%	75%	33,25	99,75	133	400
	8	100	0	100%	0	133	133	400
REPLICA 2	9	100	100%	0	133	0	133	400
	10	75-25	75%	25%	99,75	33,25	133	400
	11	25-75	25%	75%	33,25	99,75	133	400
	12	100	0	100%	0	133	133	400
<b>Total No. de larvas</b>								<b>4800</b>

*Nota.* La Tabla 11 muestra la proporción, masa y número de larvas que se definió para cada bandeja. Sustrato 1: residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Sustrato 2: residuos orgánicos de cervecería.

## 4.5 Metodología

Una vez construido en su totalidad el equipo, que está conformado por el biorreactor y el sistema de control de variables, se dio inicio a la experimentación apoyándose en las siguientes

metodologías.

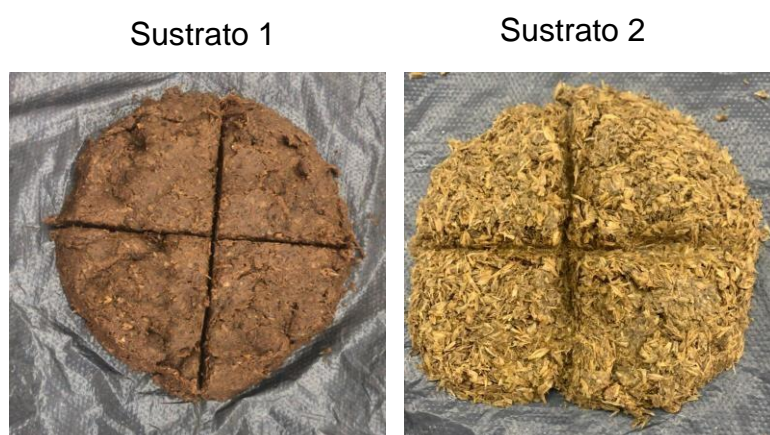
#### 4.5.1 Cálculo del porcentaje de humedad

Para el cálculo de la humedad inicial, una vez acondicionado cada sustrato se siguen los siguientes pasos:

1. Inicialmente a cada sustrato (1 Y 2) se le aplica el método de cuarteo para seleccionar una masa representativa, 500 g de residuo orgánico pre consumo de comedor comunitario y 500 g de residuo orgánico de la industria cervecera.

**Figura 26.**

*Cuarteo de los sustratos 1 y 2*



**Nota.** En la Figura 26 las muestras representativas son las que se encuentran opuestas entre sí. Sustrato 1: Residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Sustrato 2: Residuos orgánicos de cervecería.

2. Posteriormente se formaron las 4 mezclas o proporciones mencionadas anteriormente para realizar el experimento de cultivo.
3. Para la muestra 1, se consignó el valor del peso del vidrio de reloj vacío, luego se taró la balanza analítica y se pesaron 10 g de la proporción 100% sustrato 1. Para la muestra 1.1, se realizó el mismo procedimiento que para la muestra 1, ya que esta es una réplica de la misma.
4. Para la muestra 2, se consignó el valor del peso del vidrio de reloj vacío, luego se taró la balanza analítica y se pesaron 10 g de la proporción 75% sustrato 1 y 25% sustrato 2.
2. Para la muestra 2.1, se realizó el mismo procedimiento que para la muestra 2, ya que esta es una réplica de la misma.
5. Para la muestra 3, se consignó el valor del peso del vidrio de reloj vacío, luego se taró la balanza analítica y se pesaron 10 g de la proporción 25% sustrato 1 y 75% sustrato 2.

2. Para la muestra 3.1, se realizó el mismo procedimiento que para la muestra 3, ya que esta es una réplica de la misma.
6. Para la muestra 4, se consignó el valor del peso del vidrio de reloj vacío, luego se taró la balanza analítica y se pesaron 10 g de la proporción 100% sustrato 2. Para la muestra 4.1, se realizó el mismo procedimiento que para la muestra 4, ya que esta es una réplica de la misma.
7. Una vez marcadas y pesadas todas las muestras, se llevaron la mufla a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. En la Figura 27 se puede observar el equipo que se utilizó para este ensayo, por temas de disponibilidad de equipos en el laboratorio, se tuvo que hacer el experimento en una mufla y no en un horno desecador. Sin embargo, la mufla se llevó a las condiciones de operación requeridas para el ensayo.

**Figura 27.**

*Mufla usada para el cálculo de humedad*



*Nota.* La Figura 27 representa la mufla marca Terrígeno, modelo 08, serie 2103, donde se llevó a cabo el proceso de secado a 105°C durante 24 horas.

8. Pasadas las 24 horas se registró el peso final de todas las muestras.
9. Teniendo los valores del peso húmedo (inicial) y peso seco (final) de las muestras, se calculó la humedad con la siguiente ecuación:

Ecuación 3

$$\%Humedad = \frac{Peso\ húmedo - Peso\ seco}{Peso\ húmedo} * 100$$

Para calcular la humedad final del sustrato se siguieron los mismos pasos, exceptuando el paso 1, donde el cuarteo se les realizó a las 4 muestras con cada mezcla o proporción de los sustratos finales y tamizados (remoción de larvas).

#### **4.5.2      *Cálculo de cenizas del sustrato***

Para el cálculo de las cenizas iniciales de los sustratos, una vez acondicionado cada uno (Sustrato 1: residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y Sustrato 2: residuos orgánicos de cervecería.) y de haber formado las 4 mezclas o proporciones mencionadas en la sección 3.4.2 del documento para realizar el experimento de cultivo, se siguieron los siguientes pasos:

1. Para la muestra 1, se consignó el valor del peso del crisol vacío, luego se taró la balanza analítica y se pesaron 10 g de la proporción 100% sustrato 1. Para la muestra 1.1, se realizó el mismo procedimiento que para la muestra 1, ya que esta es una réplica de la misma.
2. Para la muestra 2, se consignó el valor del peso del crisol vacío, luego se taró la balanza analítica y se pesaron 10 g de la proporción 75% sustrato 1 y 25% sustrato 2. Para la muestra 2.1, se realizó el mismo procedimiento que para la muestra 2, ya que esta es una réplica de la misma.
3. Para la muestra 3, se consignó el valor del peso del crisol vacío, luego se taró la balanza analítica y se pesaron 10 g de la proporción 25% sustrato 1 y 75% sustrato 2. Para la muestra 3.1, se realizó el mismo procedimiento que para la muestra 3, ya que esta es una réplica de la misma.
4. Para la muestra 4, se consignó el valor del peso del crisol vacío, luego se taró la balanza analítica y se pesaron 10 g de la proporción 100% sustrato 2. Para la muestra 4.1, se realizó el mismo procedimiento que para la muestra 4, ya que esta es una réplica de la misma.
5. Una vez marcadas y pesadas todas las muestras, se llevan la mufla a una temperatura de 550 °C durante 24 horas. En la Figura 28 se puede observar el equipo que se utilizó para este ensayo.

**Figura 28.**

*Mufla usada para el cálculo de cenizas*



*Nota.* La Figura 28 representa la mufla marca Terrígeno, modelo MM27, serie 0116, donde se llevó a cabo el proceso de cenizas a 550°C durante 24 horas.

1. Pasadas las 24 horas se registró el peso final de todas las muestras.
2. Teniendo los valores del peso muestra seca (peso del crisol vacío - peso del crisol seco) y peso muestra húmeda (peso del crisol vacío - peso del crisol húmedo) de las muestras, se calculó las cenizas con la siguiente ecuación:

$$\%Cenizas = \frac{\text{Peso muestra seca} * 100}{\text{Peso muestra húmeda}}$$

Para Para calcular las cenizas finales del sustrato se siguieron los mismos pasos, exceptuando que las muestras se tomaron de los sustratos o proporciones finales al terminar el experimento.

#### **4.5.3 Sistema de cultivo o engorde**

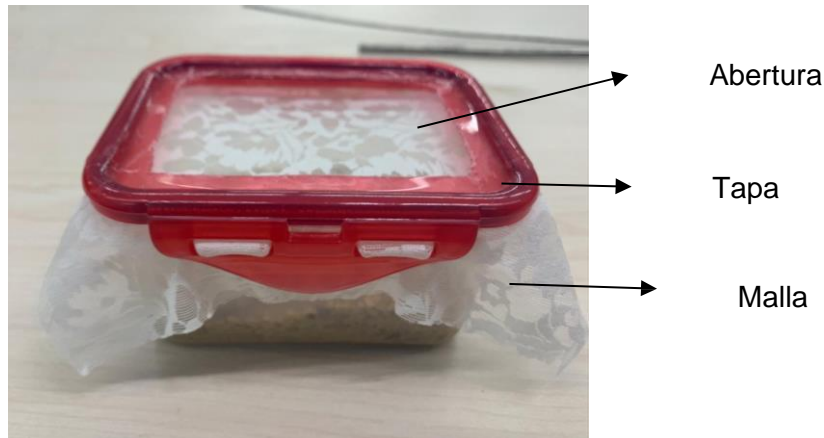
Inicialmente se acondicionaron los dos sustratos seleccionados (Sustrato 1: residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y Sustrato 2: residuos orgánicos de cervecería) como se describe en la sección 3.3.2 del documento. Luego se prepararon las 4 mezclas o proporciones estipuladas en la sección 3.4.2 del documento. Como el experimento se realizó con 1 ensayo y

2 réplicas, se prepararon 3 grupos de muestras, cada uno con las 4 proporciones definidas, para un total de 12 muestras. (Ver Tabla 11).

Cada mezcla se depositó en una bandeja diferente. A las tapas de las bandejas se les realizó una abertura con el fin de incorporar una malla, la cual permitió el paso de aire al interior de la bandeja como se observa en la Figura 29.

**Figura 29.**

*Bandejas usadas en el sistema de cultivo.*



*Nota.* En la Figura 29 se puede observar las bandejas usadas para el sistema de cultivo, fue necesario implementar una tapa en las bandejas, debido a que existía una alta probabilidad de que las larvas se escaparan del recipiente.

Posteriormente como se definió adicionar una masa de 133 g de sustrato a cada bandeja, se multiplicó esta masa por el factor de conversión “3 larvas / g de sustrato” indicado en la sección 3.4.1 del documento, dando como resultado 400 larvas por bandeja. Este fue el número aproximado de larvas que se adiciono a cada bandeja.

Una vez tapadas y marcadas las bandejas, se ingresaron al biorreactor como se puede observaren la Figura 30.



**Figura 30.**

*Biorreactor con bandejas en su interior*



*Nota.* En la Figura 30 se puede observar las bandejas al interior del biorreactor. En cada entrepaño se dispusieron 4 bandejas para un total de 12 bandejas ingresadas.

El experimento inició el día 19-10-2021 y finalizó el día 02-11-2021. Durante el experimento se realizó un seguimiento a cada bandeja como lo indica el cronograma de la Tabla 12.

**Tabla 12.**

*Cronograma experimento de cultivo*

Fecha	Hora	Actividad
19-10-2021	10:00 am	Inicio del experimento y toma de muestreo 1
22-10-2021	10:00 am	Muestreo 2
25-10-2021	10:00 am	Muestreo 3
27-10-2021	10:00 am	Muestreo 4
20-10-2021	10:00 am	Muestreo 5
2-11-2021	10:00 am	Muestreo 6 y finalización del experimento (tamizar larvas del sustrato).

*Nota.* Tabla 12 cronograma experimento sistema de cultivo o engorde de larva de mosca soldado negro.

El muestreo se aplicó a cada una de las 12 bandejas de la siguiente manera:

1. Se retira la bandeja del biorreactor, se verifica el número de bandeja, se libera la tapa de la bandeja y se homogeneiza con una micro espátula cuidadosamente el sustrato con las larvas.
2. Se separan de la bandeja un equivalente al 5% del total de larvas que contiene la bandeja. En este caso como todas las bandejas contienen aproximadamente 400 larvas, se separaron 20 larvas aleatoriamente. (Se debe verificar que las larvas reiteradas de la bandeja estén completamente limpias sin ningún exceso de sustrato en su cuerpo).
3. Una vez separadas las 20 larvas, se pesan en una balanza analítica cada una por separado y se registran dichos valores.
4. Se disponen las mismas 20 larvas del paso 3 en una hoja milimetrada, para medir su largo y se registran dichos valores.
5. Se ingresan las 20 larvas a su bandeja de origen, para luego ingresar esta al biorreactor.

El anterior procedimiento se aplicó a las 15 bandejas en los días estipulados en el cronograma.

El día que finalizó el experimento (2-11-2021), después de muestrear cada bandeja, se procedió a separar las larvas de cada sustrato haciendo uso de un tamizador.

## 4.6 Resultados

### 4.6.1 Porcentaje de humedad del sustrato inicial y final

Para el cálculo de la humedad del sustrato al inicio del experimento, se siguió la metodología mencionada en la sección 3.5.1 del documento, los datos obtenidos se pueden observar en la Tabla 13.

**Tabla 13.**

*Porcentaje de humedad de las mezclas o proporciones iniciales*

Datos	Muestra 1	Muestra 1.1	Muestra 2	Muestra 2.1
Peso vidrio reloj vacío (g)	27,831	30,353	23,553	16,063
Peso vidrio reloj húmedo (g)	39,908	53,208	33,504	26,142
Peso vidrio reloj seco (g)	30,956	37,010	26,377	19,086
Peso muestra húmeda (g)	12,077	22,855	9,951	10,079
Peso muestra seca (g)	3,126	6,656	2,824	3,022
% Humedad	74,121	70,875	71,623	70,013

**Tabla 13..** Continuación

<b>Datos</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 3.1</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 4.1</b>
Peso vidrio reloj vacío (g)	15,981	28,533	34,328	28,533
Peso vidrio reloj húmedo (g)	25,967	37,474	43,156	37,474
Peso vidrio reloj seco (g)	20,848	32,814	38,519	32,639
Peso muestra húmeda (g)	9,986	8,941	8,828	8,941
Peso muestra seca (g)	4,867	4,281	4,190	4,106
% Humedad	51,264	52,124	52,533	54,077

*Nota.* Tabla 13 datos experimentales tomados en el laboratorio para cálculo de humedad de los sustratos antes de iniciar el experimento. La muestra 1 y 1.1 manejan una proporción de 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Las muestras 2 y 2.2 manejan una proporción de mezcla de 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario, las muestras y 25% residuos orgánicos cerveceros. Las muestras 3 y 3.1 manejan una proporción o mezcla de 75% residuos orgánicos cerveceros y 25% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Las muestras 4 y 4.1 manejan una proporción del 100% residuos orgánicos cerveceros.

Para el cálculo de la humedad de los sustratos al final del experimento, se siguió la metodología mencionada en la sección 3.5.1 del documento, los datos obtenidos se pueden observar en la Tabla 14.

**Tabla 14.**

*Porcentaje de humedad de las mezclas o proporciones finales*

<b>Datos</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 1.1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 2.1</b>
Peso vidrio reloj vacío (g)	16,063	14,086	23,556	17,949
Peso vidrio reloj húmedo (g)	26,083	24,162	33,550	28,000
Peso vidrio reloj seco (g)	19,230	17,211	26,766	21,186
Peso muestra húmeda (g)	10,020	10,076	9,994	10,051
Peso muestra seca (g)	3,166	3,125	3,210	3,237
% Humedad	68,398	68,988	67,879	67,791

<b>Datos</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 3.1</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 4.1</b>
Peso vidrio reloj vacío (g)	21,959	16,119	17,098	22,067
Peso vidrio reloj húmedo (g)	31,968	26,250	27,124	32,177
Peso vidrio reloj seco (g)	26,089	20,307	21,282	26,313
Peso muestra húmeda (g)	10,009	10,131	10,026	10,110
Peso muestra seca (g)	4,130	4,188	4,184	4,245
% Humedad	58,738	58,659	58,270	58,007

*Nota.* Tabla 14 datos experimentales tomados en el laboratorio para cálculo de humedad de los sustratos al final del experimento. La muestra 1 y 1.1 manejan una proporción de 100% residuos

orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Las muestras 2 y 2.2 manejan una proporción de mezcla de 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario, las muestras y 25% residuos orgánicos cerveceros. Las muestras 3 y 3.1 manejan una proporción o mezcla de 75% residuos orgánicos cerveceros y 25% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Las muestras 4 y 4.1 manejan una proporción del 100% residuos orgánicos cerveceros.


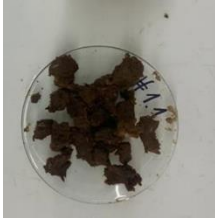


Acorde a las tablas 13 y 14, se evidencia que las muestras 1 y 1.1, las cuales contenían una proporción de sustrato del 100% residuos orgánicos pre consumo provenientes de comedor comunitario y las muestras 2 y 2.1, las cuales contenían una proporción de sustrato de 75% residuos orgánicos pre consumo provenientes de comedor comunitario y 25% residuos orgánicos cerveceros, presentaron una disminución de la humedad a lo largo de experimento. Este comportamiento se pudo haber generado debido a la ubicación de la bandeja dentro del biorreactor, ya que las bandejas que se disponían en el entrepaño del medio, quedaban en contacto directo con el flujo de aire que liberaba el ventilador y que venía del calentamiento y humidificación, posiblemente generando un fenómeno de secado.

También se evidencia que las muestras 3 y 3.1, las cuales contenían una proporción de sustrato de 75% residuos orgánicos cerveceros y 25% residuos orgánicos pre consumo provenientes de comedor comunitario, y las muestras 4 y 4.1, las cuales contenían una proporción de sustrato del 100% residuos orgánicos cerveceros, presentaron un aumento en la humedad del sustrato a lo largo de experimento. Este comportamiento es posible que se haya desarrollado debido a la condensación de agua que se generaba sobre la superficie de la bandeja debido a la ubicación dentro del biorreactor y los choques térmicos ocasionados por la interacción entre la temperatura al interior del biorreactor y la temperatura ambiente.

Adicionalmente en la Tabla 15, se pueden apreciar imágenes de las muestras y sus respectivas réplicas, antes y después de ingresarlas a la mufla

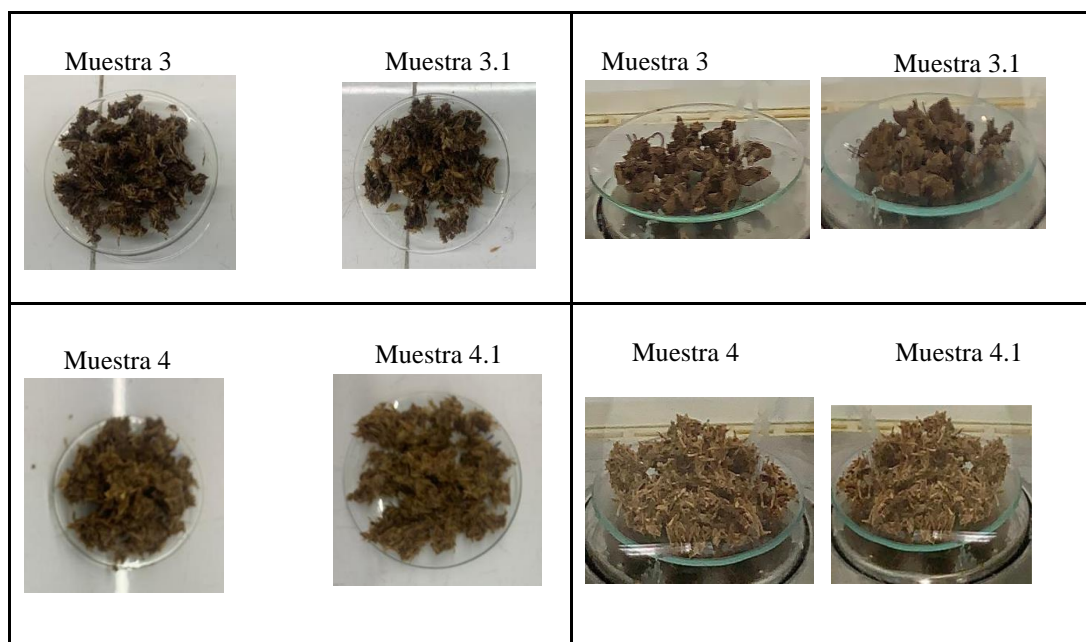
**Tabla 15.**

*Imágenes de las muestras finales antes de ingresar a la mufla y después de ingresar a la mufla*

Antes de ingresar a la mufla		Después de ingresar a la mufla	
Muestra 1 	Muestra 1.1 	Muestra 1 	Muestra 1.1 
Muestra 2	Muestra 2.1	Muestra 2	Muestra 2.1



**Tabla 15.** Continuación



**Nota.** Se presentan imágenes de las muestras de sustrato y sus réplicas antes y después de ser ingresadas a la mufla con el fin de obtener un % de humedad como característica fisicoquímica.

Nota: Ver anexo 1 para observar análisis iniciales fisicoquímicos de la muestra de residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y Anexo 2 para observar análisis iniciales fisicoquímicos de la muestra de residuos orgánicos de la industria cervecera.

#### **4.6.2 Cenizas del sustrato inicial y final**

Para el cálculo de cenizas del sustrato al inicio del experimento, se siguió la metodología mencionada en la sección 3.5.2 del documento, los datos obtenidos se pueden observar en la Tabla 16.

**Tabla 16.***Porcentaje de cenizas de las mezclas o proporciones iniciales*

<b>Datos</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 1.1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 2.1</b>
Peso crisol vacío (g)	42,168	18,986	45,265	25,255
Peso crisol húmedo (g)	52,186	28,968	54,854	35,265
Peso crisol seco (g)	42,285	19,108	45,374	25,370
Peso muestra húmeda (g)	10,018	9,982	9,589	10,011
Peso muestra seca (g)	0,117	0,122	0,109	0,115
% Cenizas base seca	1,170	1,220	1,135	1,146
<b>Datos</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 3.1</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 4.1</b>
Peso crisol vacío (g)	41,536	41,713	43,263	49,562
Peso crisol húmedo (g)	51,156	52,158	53,215	59,721
Peso crisol seco (g)	41,637	41,824	43,366	49,668
Peso muestra húmeda (g)	9,620	10,446	9,952	10,160
Peso muestra seca (g)	0,101	0,111	0,103	0,107
% Cenizas base seca	1,045	1,065	1,030	1,050

*Nota.* Tabla 16 datos experimentales tomados en el laboratorio para cálculo de cenizas de los sustratos antes de iniciar el experimento. La muestra 1 y 1.1 manejan una proporción de 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Las muestras 2 y 2.2 manejan una proporción de mezcla de 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario, las muestras y 25% residuos orgánicos cerveceros. Las muestras 3 y 3.1 manejan una proporción o mezcla de 75% residuos orgánicos cerveceros y 25% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Las muestras 4 y 4.1 manejan una proporción del 100% residuos orgánicos cerveceros.

Para el cálculo de las cenizas de los sustratos al final del experimento, se siguió la metodología mencionada en la sección 3.5.1 del documento, los datos obtenidos se pueden observar en la Tabla 17.

**Tabla 17.***Porcentaje de cenizas de las mezclas o proporciones finales*

<b>Datos</b>	<b>Muestra 1</b>	<b>Muestra 1.1</b>	<b>Muestra 2</b>	<b>Muestra 2.1</b>
Peso crisol vacío (g)	32,664	16,982	30,563	26,255
Peso crisol húmedo (g)	42,688	26,994	40,621	36,266
Peso crisol seco (g)	32,866	17,184	30,766	26,447
Peso muestra húmeda (g)	10,024	10,012	10,058	10,011
Peso muestra seca (g)	0,202	0,202	0,202	0,192
% Cenizas base seca	2,018	2,018	2,012	1,915

<b>Datos</b>	<b>Muestra 3</b>	<b>Muestra 3.1</b>	<b>Muestra 4</b>	<b>Muestra 4.1</b>
Peso crisol vacío (g)	43,536	42,186	49,166	47,176
Peso crisol húmedo (g)	53,649	52,158	59,284	57,335
Peso crisol seco (g)	43,784	42,437	49,387	47,444
Peso muestra húmeda (g)	10,113	9,972	10,119	10,159
Peso muestra seca (g)	0,248	0,250	0,221	0,268
% Cenizas base seca	2,450	2,509	2,185	2,640

*Nota.* Tabla 17 datos experimentales tomados en el laboratorio para el cálculo de cenizas de los sustratos al final del experimento. La muestra 1 y 1.1 manejan una proporción de 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Las muestras 2 y 2.2 manejan una proporción de mezcla de 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario, las muestras y 25% residuos orgánicos cerveceros. Las muestras 3 y 3.1 manejan una proporción o mezcla de 75% residuos orgánicos cerveceros y 25% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario. Las muestras 4 y 4.1 manejan una proporción del 100% residuos orgánicos cerveceros.





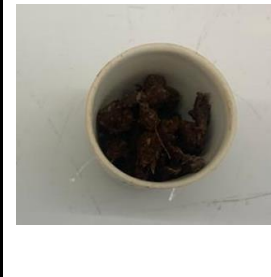


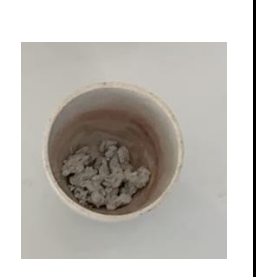
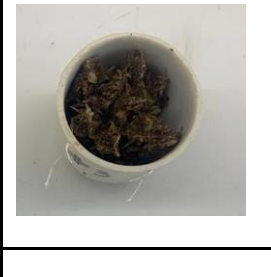
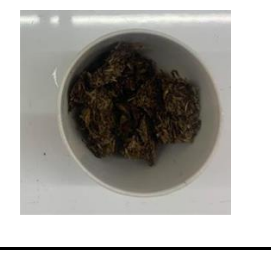


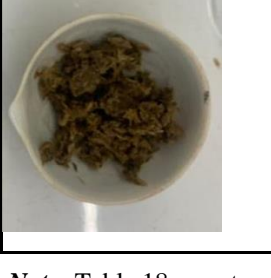



Acorde a las tablas 16 y 17, comparando los datos iniciales y finales del experimento, se evidencia que todas las muestras finales, presentaron un aumento porcentual aproximadamente del 100% o el doble en los valores de cenizas. Este comportamiento se pudo haber generado debido a que las cenizas representan todo el material orgánico que no fue consumido por las larvas, en este caso se debe tener en cuenta que las excretas generadas por las larvas hacen parte de este material, el cual incrementa a medida que la larva degrada el residuo y excreta los materiales que no son útiles para ella.

Adicionalmente en la Tabla 18, se pueden apreciar imágenes de las muestras y sus respectivas réplicas, antes y después de ingresarlas a la mufla.



**Tabla 18.**

*Imágenes de las muestras antes de ingresar a la mufla y después de ingresar a la mufla*

Antes de ingresar a la mufla		Después de ingresar a la mufla	
Muestra 1 	Muestra 1.1 	Muestra 1 	Muestra 1.1 
Muestra 2 	Muestra 2.1 	Muestra 2 	Muestra 2.1 
Muestra 3 	Muestra 3.1 	Muestra 3 	Muestra 3.1 
Muestra 4 	Muestra 4.1 	Muestra 4 	Muestra 4.1 

**Nota.** Tabla 18 muestras de sustrato y sus réplicas antes y después de ser ingresadas a la mufla con el fin de obtener un % cenizas como característica fisicoquímica

Nota: Ver anexo 1 para observar análisis iniciales fisicoquímicos de la muestra de residuos



orgánicos pre consumo del comedor comunitario y Anexo 2 para observar análisis iniciales fisicoquímicos de la muestra de residuos orgánicos de la industria cervecera

#### 4.6.3 Sistema de cultivo o engorde

Después de seguir la metodología propuesta en la sección 3.5.3 del documento, se obtuvo una tabla bastante extensa en formato Excel, con todos los valores recopilados durante el experimento. Por motivos prácticos se reorganizaron los valores en una tabla resumen con únicamente los promedios obtenidos de los valores registrados para las respectivas 20 larvas de cada bandeja, como se puede apreciar en las Tablas 19, 20 y 21.

**Tabla 19.**

*Resultados del muestreo 1 y 2 para el ensayo, réplica 1 y réplica 2.*

		Muestreo 1		Muestreo 2		
Fecha		19/10/2021		Fecha 22/10/2021		
Hora		10:00 a. m.		Hora 10:00 a. m.		
	Bandeja	Promedio largo (cm)	Promedio peso (g)	Bandeja	Promedio largo (cm)	Promedio peso (g)
ENSAYO	1	0,575	0,010	1	0,735	0,019
	2	0,625	0,010	2	0,740	0,016
	3	0,645	0,011	3	0,695	0,016
	4	0,655	0,010	4	0,685	0,015
Replica 1	5	0,620	0,011	5	0,735	0,023
	6	0,650	0,012	6	0,695	0,018
	7	0,635	0,012	7	0,700	0,020
	8	0,545	0,012	8	0,710	0,019
Replica 2	9	0,650	0,011	9	0,795	0,022
	10	0,690	0,018	10	0,890	0,036
	11	0,650	0,013	11	1,010	0,039
	12	0,650	0,015	12	0,880	0,034

**Nota.** Valores promedio de largo y peso para el muestreo 1 y 2 con sus respectivas réplicas.

**Tabla 20.**

*Resultados del muestreo 3 y 4 para el ensayo, réplica 1 y réplica 2*

		Muestreo 3		Muestreo 4		
Fecha		25/10/2021		Fecha 27/10/2021		
Hora		10:00 a. m.		Hora 10:00 a. m.		
	Bandeja	Promedio largo (cm)	Promedio peso (g)	Bandeja	Promedio largo (cm)	Promedio peso (g)
ENSAYO	1	1,360	0,083	1	1,420	0,089
	2	1,420	0,071	2	1,555	0,097
	3	1,540	0,089	3	1,600	0,108
	4	1,565	0,123	4	1,665	0,135
Replica 1	5	1,270	0,073	5	1,264	0,078
	6	1,320	0,085	6	1,480	0,089
	7	1,615	0,136	7	1,665	0,142
	8	1,450	0,125	8	1,620	0,127
Replica 2	9	1,250	0,077	9	1,310	0,099
	10	1,285	0,084	10	1,470	0,105
	11	1,410	0,100	11	1,520	0,113
	12	1,459	0,139	12	1,720	0,142

*Nota.* Tabla 20 valores promedio de largo y peso para la muestra 3 y 4 consus respectivas réplicas.

**Tabla 21.**

*Resultados del muestreo 5 y 6 para el ensayo, réplica 1 y réplica 2*

		Muestreo 5		Muestreo 6			
		Fecha	29/10/2021	Fecha	2/11/2021		
		Hora	10:00 a. m.	Hora	10:00 a. m.		
		Bandeja	Promedio largo (cm)	Promedio peso (g)	Bandeja	Promedio largo (cm)	Promedio peso (g)
ENSAYO	1	1,385	0,088	1	1,360	0,073	
	2	1,585	0,116	2	1,475	0,083	
	3	1,520	0,104	3	1,580	0,097	
	4	1,635	0,126	4	1,500	0,101	
Replica 1	5	1,275	0,066	5	1,250	0,055	
	6	1,485	0,092	6	1,425	0,086	
	7	1,500	0,115	7	1,425	0,085	
	8	1,575	0,123	8	1,585	0,115	
Replica 2	9	1,355	0,071	9	1,430	0,075	
	10	1,465	0,106	10	1,430	0,094	
	11	1,480	0,100	11	1,430	0,078	
	12	1,570	0,129	12	1,595	0,117	

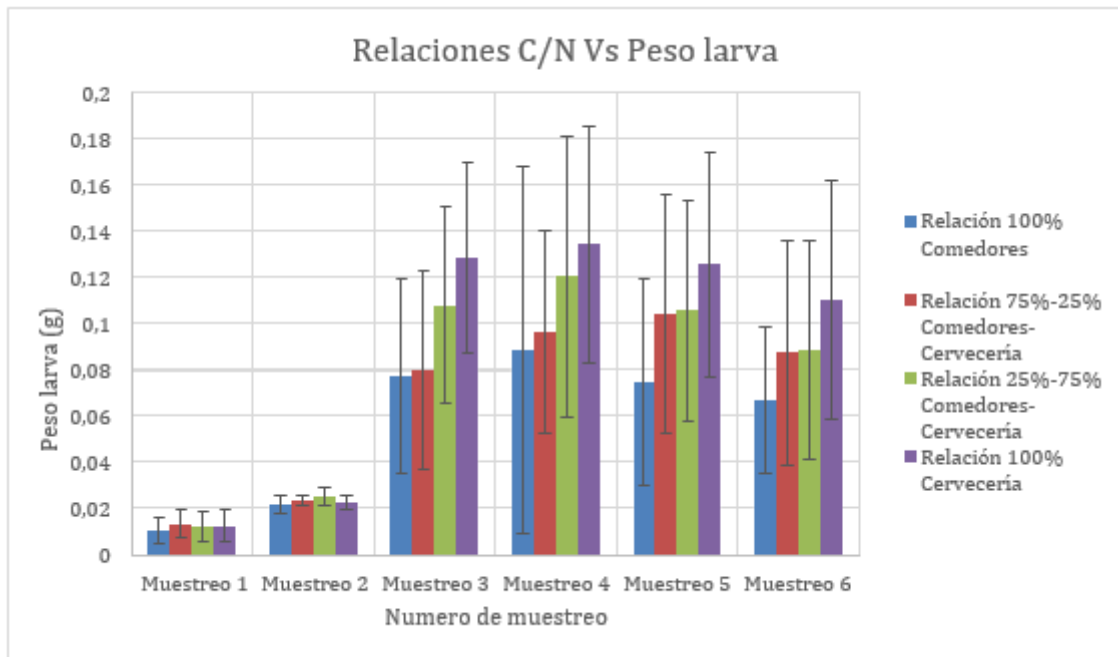
*Nota.* En la Tabla 21 valores promedio de largo y peso para la muestra 5 y6 con sus respectivas réplicas.

Acorde a las Tablas 19, 20 y 21, se evidencia que las larvas lograron un mayor peso ( $\pm 1,2$  g) y longitud ( $\pm 1,5$  cm) en las bandejas 4, 8 y 12, las cuales contenían una proporción de sustrato del 100% residuos orgánicos cerveceros. Por otro lado, se evidencia que lograron un menor peso ( $\pm 0,7$  g) y longitud ( $\pm 1,3$  cm) en las bandejas 1, 5 y 9, las cuales contenían sustrato del 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario

Con base en las Tablas 19, 20 y 21 y de acuerdo al diseño de experimentos propuesto se construyeron las Figuras 31 y 32, las cuales representan una comparación de la longitud y peso de la larva obtenido (al final del experimento) en función de la configuración “relación C/N” estipulada en la sección 3.4.2 del documento

**Figura 31.**

*Resultados obtenidos del peso de larva en función a la relación C/N*

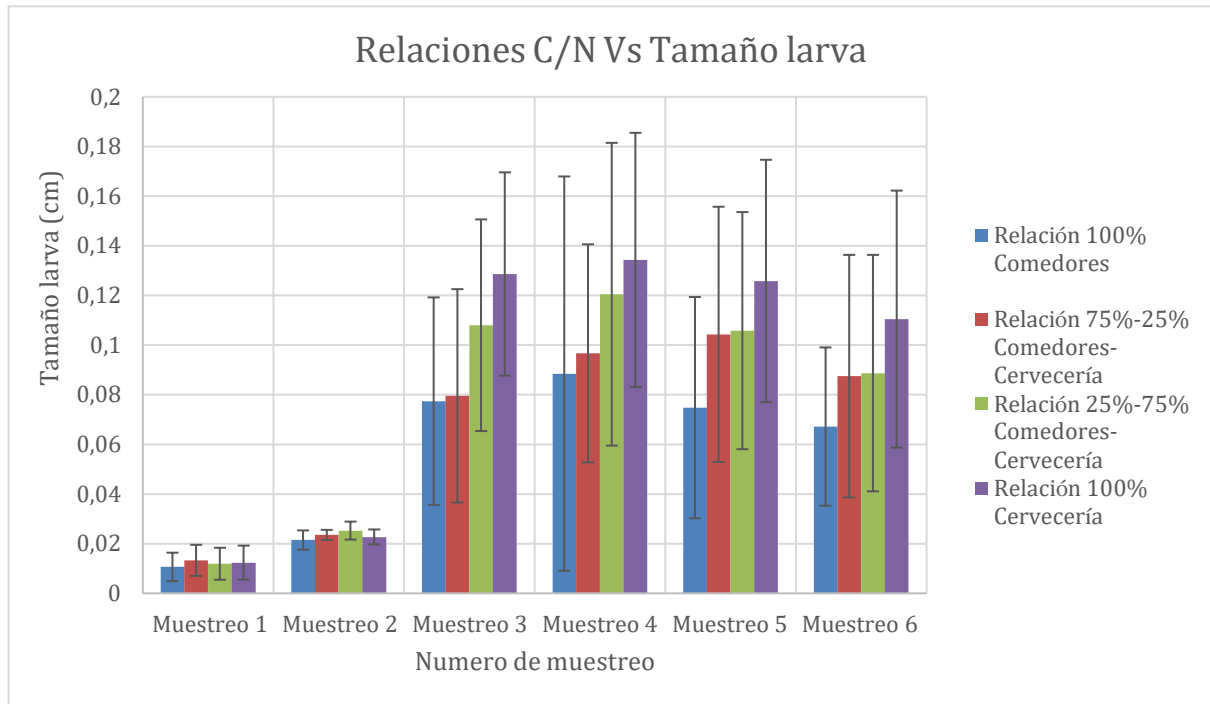


**Nota.** La Figura 31 evidencia los resultados obtenidos durante la experimentación, del peso de las larvas en función a las configuraciones de relación C/N implementadas en el experimento.

Acorde a la Figura 31, se evidencia que las larvas presentaron un mayor peso en el muestreo 4, el cual se realizó ocho días después del inicio del experimento. Adicionalmente se observa que en las muestras con sustrato 100% residuos orgánicos cerveceros, se registraron los valores más altos de peso y en las muestras con sustrato 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario, se registraron los valores más bajos de peso, comparando estos con el resto de proporciones.

**Figura 32.**

*Resultados obtenidos del tamaño de larva en función a la relación C/N*






**Nota.** La Figura 32 evidencia resultados obtenidos del tamaño larva respecto a la configuración de relación C/N anteriormente mencionada.

Acorde a la Figura 32, se evidencia que las larvas presentaron una mayor longitud en el muestreo 4, el cual se realizó ocho días después del inicio del experimento. Adicionalmente se observa que al final del experimento, en las muestras con sustrato 100% residuos orgánicos cerveceros, se registraron los valores más altos de longitud y en las muestras con sustrato 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario, se registraron los valores más bajos de longitud, comparando estos con el resto de proporciones.

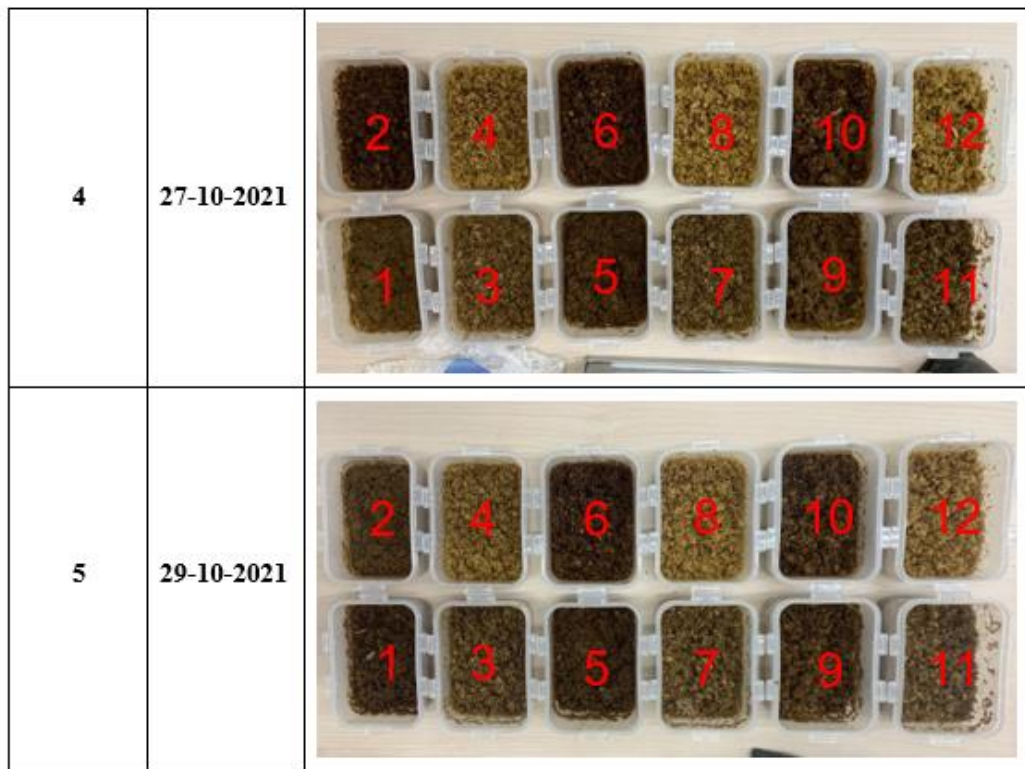
En la tabla 22 se puede observar la evolución fotográfica de las bandejas y sus respectivos sustratos a lo largo del experimento. Se evidencio que a medida que transcurría el tiempo, el color de los sustratos se fue tornando más oscuro.

**Tabla 22.**

*Seguimiento fotográfico del sustrato*

Muestreo	Fecha	Sustratos
1	19-10-2021	
2	22-10-2021	
3	25-10-2021	

**Tabla 22.** Continuación











*Nota.* La Tabla 22 evidencia el seguimiento fotográfico de los sustratos implementados para el engorde la larvade mosca soldado negro

En la tabla 23 se puede observar la evolución fotográfica de las larvas puestas sobre hojas milimétricas a lo largo del experimento. Se evidencio que a medida que transcurría el tiempo, el color de las larvas se tornó más oscuro.

































**Tabla 23.**

*Seguimiento fotográfico de las larvas*

Bandeja /Fecha	25-10-2021	27-10-2021	29-10-2021	2-11-2021
1				
2				



**Tabla 23.** Continuación

3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				

**Tabla 23.** Continuación



*Nota.* La Tabla 23 evidencia el seguimiento fotográfico de las larvas en términos de talla, las larvas seleccionadas para la toma fotográfica fueron seleccionadas aleatoriamente

Por otro lado, se pesó el sustrato final de cada bandeja para estimar la masa consumida por las larvas, también se realizó un conteo final para verificar el número de larvas real en cada bandeja, el cual debía ser aproximadamente 400 larvas según los cálculos realizados en la sección 3.4.1 y 3.4.2 del documento. Con estos datos se construyó la Tabla 24.

**Tabla 24.**

*Masa consumida y % consumido por bandeja*

	Bandeja	Proporción	Sustrato 1	Sustrato 2	Masa 1 (g)	Masa 2 (g)	Masa inicial total (g)	Mas final total (g)	Masa consumida (g)	% consumido	No. de larvas
ENSAYO	1	100	100%	0	133,000	0,000	133,000	55,000	78,000	58,647	436,000
	2	75-25	75%	25%	99,750	33,250	133,000	19,000	114,000	85,714	425,000
	3	25-75	25%	75%	33,250	99,750	133,000	30,000	103,000	77,444	445,000
	4	100	0	100%	0,000	133,000	133,000	33,000	100,000	75,188	439,000
REPLICA 1	5	100	100%	0	133,000	0,000	133,000	60,000	73,000	54,887	449,000
	6	75-25	75%	25%	99,750	33,250	133,000	15,000	118,000	88,722	421,000
	7	25-75	25%	75%	33,250	99,750	133,000	26,000	107,000	80,451	423,000
	8	100	0	100%	0,000	133,000	133,000	24,000	109,000	81,955	444,000
REPLICA 2	9	100	100%	0	133,000	0,000	133,000	45,000	88,000	66,165	447,000
	10	75-25	75%	25%	99,750	33,250	133,000	18,000	115,000	86,466	403,000
	11	25-75	25%	75%	33,250	99,750	133,000	32,000	101,000	75,940	448,000
	12	100	0	100%	0,000	133,000	133,000	29,000	104,000	78,195	440,000
										Total de larvas	5220,000

*Nota.* La Tabla 24 muestra la masa total de ingreso al experimento, así como la masa consumida durante el mismo representando un % consumido por las larvas de mosca soldado negro además de ello evidencia el número total de larvas en el experimento

De acuerdo a la Tabla 24, se evidencia que el porcentaje de consumo de sustrato más alto por parte de las larvas, se logró en las bandejas 2, 6 y 10, las cuales contenían una proporción de sustrato del 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y 25% residuos orgánicos cerveceros. También se evidencia que el conteo final de larvas fue mayor a la inicial,

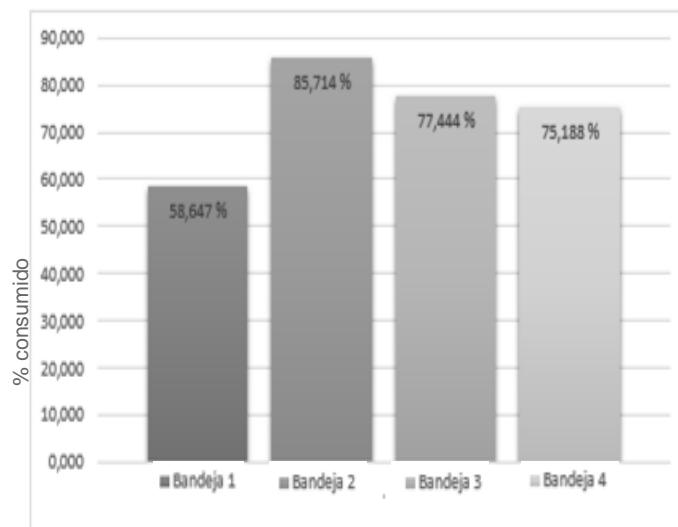


esto debido a que las larvas de 5 días tienen una longitud menor a 0,5 mm, haciendo difícil su manipulación, diferenciación y conteo. Es posible que al momento de ingresar a cada bandeja las 400 larvas estipuladas en la sección 3.4.1 y 3.4.2 del documento al inicio del experimento, se hayan agregado más por motivos de difícil diferenciación.

Con base a los datos obtenidos en la Tabla 24, se construyeron las Figuras 32, 33 y 34, las cuales comparan el porcentaje de consumo de sustrato por larvas para el ensayo y sus réplicas en cada bandeja.

**Figura 33.**

*% consumido de sustrato por bandeja en el ensayo*

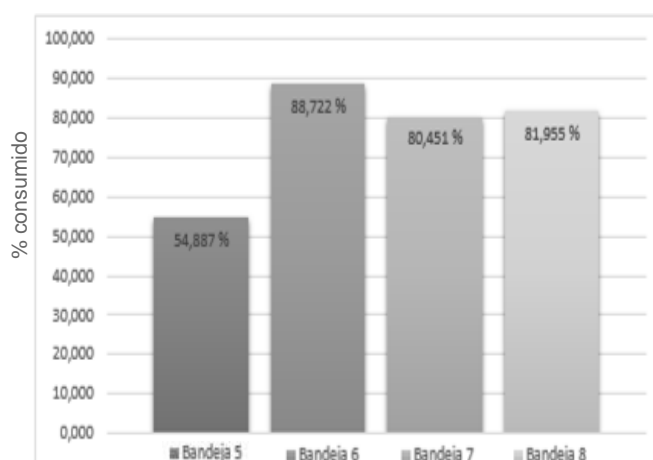


**Nota.** La Figura 33 presenta la cantidad de sustrato consumido por las larvas en el ensayo.

De acuerdo a la Figura 33, se evidencia que el porcentaje de consumo de sustrato más alto por parte de las larvas, se logró en la bandeja 2, la cual contenían una proporción de sustrato del 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y 25% residuos orgánicos cerveceros. También se evidencio que el porcentaje de consumo de sustrato más bajo por parte de las larvas, se logró en la bandeja 1, la cual contenía una proporción de sustrato del 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario.

**Figura 34.**

*% consumido de sustrato por bandeja en la réplica 1*

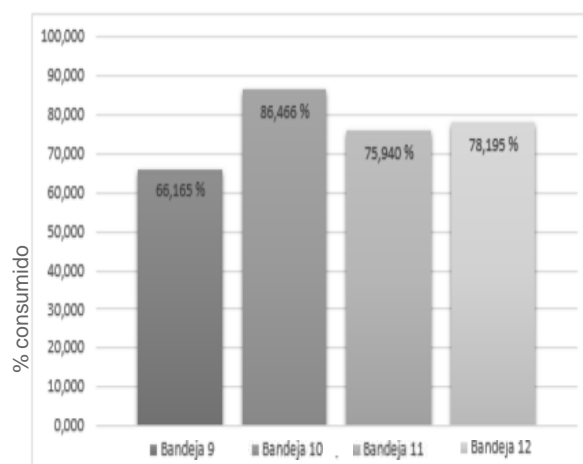


**Nota.** La Figura 34 evidencia la cantidad de sustrato consumido por las larvas en la réplica 1.

De acuerdo a la Figura 34, se evidencia que el porcentaje de consumo de sustrato más alto por parte de las larvas, se logró en la bandeja 6, la cual contenía una proporción de sustrato del 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y 25% residuos orgánicos cerveceros. También se evidencio que el porcentaje de consumo de sustrato más bajo por parte de las larvas, se logró en la bandeja 5, la cual contenían una proporción de sustrato del 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario.

**Figura 35.**

*% consumido de sustrato por bandeja en la réplica 2*



**Nota.** La Figura 35 evidencia la cantidad de sustrato consumido por las larvas en la réplica 2

De acuerdo a la Figura 35, se evidencia que el porcentaje de consumo de sustrato más alto por parte de las larvas, se logró en la bandeja 10, las cuales contenían una proporción de sustrato del 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y 25% residuos orgánicos cerveceros. También se evidencio que el porcentaje de consumo de sustrato más bajo por parte de las larvas, se logró en la bandeja 9, la cual contenían una proporción de sustrato del 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario.

De acuerdo con los resultados obtenidos en el experimento de cultivo, se infiere que si el objetivo es obtener algún tipo de subproducto como los mencionados en la sección 1.1.6 del documento a partir de las larvas, lo mejor es lograr un mayor peso en las larvas que un mayor rendimiento en el consumo del sustrato.

## 5. CONCLUSIONES

Las principales y más importantes condiciones de operación que se definieron con base a revisión bibliográfica, para el diseño y desarrollo del experimento fueron la temperatura y humedad del aire para la incubación de los huevos, las cuales fueron 28 °C y 70% respectivamente, la temperatura y humedad del aire dentro del biorreactor en el sistema de cultivo, las cuales fueron 27 °C y 70% respectivamente, un rango de contenido de agua o humedad para el sustrato el cual fue (70%) y una densidad larval de 3 larvas / g de sustrato, adicional se definieron factores como el tipo de sustrato, el acondicionamiento del mismo y la relación C/N.

La mayor tasa de natalidad en el experimento de incubación, se presenta después de transcurridos 4 a 5 días, una vez puestos a incubar los huevos, bajo condiciones controladas de temperatura (28 °C) y humedad relativa (70%).

Se obtuvo un total de 14.010 larvas a partir de 1 g de huevos de mosca *Hermetia Illucens* bajo condiciones controladas de temperatura (28 °C) y humedad (70%).

El sustrato que logró desarrollar larvas con mayor longitud y peso, fue el sustrato con una proporción de 100% residuos orgánicos cerveceros y una relación C/N de 21. El sustrato que desarrolló larvas con menor longitud y peso, fue el sustrato con una proporción de 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y una relación C/N de 31, ambos a temperatura de 27 °C y humedad relativa de 70%.

El sustrato que logró desarrollar un mayor porcentaje de consumo por parte de las larvas, fue el sustrato con una proporción de 75% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario y 25% residuos orgánicos cerveceros. El sustrato que desarrolló un menor porcentaje de consumo por parte de las larvas fue, el sustrato con una proporción de 100% residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario, ambas a temperatura de 27 °C y humedad relativa de 70%.

Se evidenció un potencial biotransformador por parte de las larvas, al colocarlas en contacto con residuos orgánicos pre consumo del comedor comunitario de la localidad de Santafé y de residuos orgánicos cerveceros, previamente acondicionados, bajo condiciones de operación constantes, temperatura (27 °C) y humedad relativa (70%). Siendo esta una alternativa viable para la gestión sostenible de residuos orgánicos.

El porcentaje de humedad del sustrato es una variable fundamental debido a que puede limitar el proceso de degradación, si está por debajo del 40%, la actividad microbiana es más lenta, mientras que si excede el 75% se dificulta la circulación de aire, convirtiéndose en un proceso anaeróbico, produciendo malos olores por la putrefacción de los residuos orgánicos y sometiendo a las larvas a condiciones de estrés que no favorecen el desarrollo de las mismas, además, dificulta el proceso de separar las larvas del sustrato al final de experimento por la textura del sustrato.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] J. Oviedo, R. Ramirez, M. Gonzales, S. Moreno, D. Monroy, J. Solano, J. Palcios, “*Economía Circular-Primer Reporte 2020*”, DANE, 2020.
- [2] A. Singh, K. Kumari, “*An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review*”, *Journal of Environmental*, septiembre 2019.
- [3] D. Carusco, E. Devic, I. W Subamia, P. Talamond, E. Baras “*Technical handbook of domestication and production of diptera Black Soldier Fly (BSF) Hermetia illucens, Stratiomyidae*”, Abril 2014.
- [4] C. Aguirre, Y. Alexandra “*Estudio del ciclo biológico de Hermetia Illucens (Diptera: Stratiomyidae) bajo las condiciones de laboratorio en la irrigación majes, caylloma arequipa*”, Universidad Católica de Santa María, 2019.
- [5] I. A. Lizarazo, G. D. Silva, “*DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MODELO DE COSECHADOR DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO, Hermetia illucens, (DIPTERA: SARCOPHIDAE) EN EL MUNICIPIO DE PIEDECUESTA, SANTANDER, COLOMBIA*” Tesis pregrado, Producción Agroindustrial, Universidad industrial de Santander, Bucaramanga, 2013.
- [6] H. Cickova, G. L. Newton, R. C. Lacy, M. Komzaneck, “*The use of fly larvae for organic waste treatment*”, *Waste Management*, 2015.
- [7] J.W. Diclaro y P.E. Kaufman, “*Black soldier fly Hermetia illucens Linnaeus (Insecta: Diptera: Stratiomyidae)*”, EENY 461, Jun 2009. [En línea]. Disponible: <https://edis.ifas.ufl.edu/pdf%5CIN%5CIN83000.pdf> [Acceso: Junio 15,2021]
- [8] J.M. Giraldo, V.N Rodriguez, P. M. Benavidez. “*Uso potencial de Hermetia illucens (linnaeus) (Diptera: Stratiomyidae) para la transformación de pulpa de café: Aspectos biológicos*”, *Revista Cenicafe*, 2019
- [9] F.P.Gobbi. “*Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de Hermetia illucens (L.,1758)(Diptera: Stratiomyidae)*”. Bases para la producción masiva en Europa, Universidad de Alicante, Diciembre 2012.
- [10] E. Peñalosa, M. Castillo, B. Cardenas, S. Rodriguez, A. Acosta, G. Avila, H. Duarte, E. Roncancio, J.L. Cuervo, A. Sandoval, N. Martinez, L.P. Gonzales, A.F. Torres, D. Sanabria, “*Guía Técnica para el Aprovechamiento de Residuos Orgánicos A Través de Metodologías de Compostaje y Lombricultura*”, ALCALDÍA MAYOR DE BOGOTÁ SECRETARÍA DISTRITAL DE HÁBITAT, Unidad Administrativa Especial de Servicios Públicos- UAESP, Mayo, 2018
- [11] L. A. Sep-Villada y J. A. Alv-Torres, “*Manual de aprovechamiento de residuos orgánicos a través de sistemas de compostaje y lombricultura en el Valle de*

- Aburrá*”.
- Medellín, 2013, Medellín, feb 2013. [En línea].  
 Disponible: <http://www.earthgreen.com.co/descargas/manual-compostaje.pdf> [Acceso: mayo 9, 2020]
- [12] Associació Catalana d’Enginyeria Sense Fronteres, “*MANUAL DE PRODUCCIÓN DE COMPOST*”, ASOPRECO, Octubre 2018.
- [13] Biblioteca agroecológica, “*Fertilización*”. [En línea]. Disponible: <https://biblioteca.fundesiram.info/biblioteca.php?id=4767> [Acceso: Agosto 3, 2021]
- [14] (Dakota del Norte), “*El compostaje. 1ª parte Agricultura*”. [En línea]. Disponible: Directorio de empresas, artículos, cultivos y negocios agrícolas. <https://www.infoagro.com/abonos/compostaje.htm> [Acceso: Agosto 9, 2021]
- [15] B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen y C. Zurbrügg, “*Black Soldier Fly Biowaste Processing A Step-by-Step Guide*”. Switzerland: Financial support from the Swiss Agency for Development and Cooperation (SDC) and the Swiss State Secretariat for Economic Affairs (SECO), 2017.
- [16] S. Hansol, K. Kiatkittinpong, C. Yinn, C. Seong, M. Kee, P. Loke. “*A Review on Insights for Green Production of Unconventional Protein and Energy Sources Derived from the Larval Biomass of Black Soldier Fly*”, Processes MDPI, Abril 2020
- [17] Chia SY, Tanga CM, Khamis FM, Mohamed SA, Salifu D, Sevgan S, et al. (2018) “*Temperaturas umbral y requisitos térmicos de la mosca soldado negra Hermetia illucens : implicaciones para la producción en masa*”. PLoS ONE 13 (11): e0206097. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0206097>
- [18] Park, Haeree H., “*Black Soldier Fly Larvae Manual*” (2016). Student Showcase. 14. Retrieved from [https://scholarworks.umass.edu/sustainableumass\\_studentshowcase/14](https://scholarworks.umass.edu/sustainableumass_studentshowcase/14)
- [19] Holmes, L. A., S. L. Vanlaerhoven, and J. K. Tomberlin. “*Relative Humidity Effects on the Life History of Hermetia Illucens (Diptera: Stratiomyidae)*.” Environ Entomol Environmental Entomology 41.4 (2012)
- [20] H. Her-Castillo, “Plazas de mercado en Bogotá, generadoras de residuos y desarrollo”, Congreso nacional del medio ambiente, 2014. P 8-9. Disponible: <http://www.conama.org/conama/download/files/conama2014/CT%202014/1896711446.pdf> [Acceso: Noviembre 5, 2021]
- [21] Foros de Black Soldier Fly (BSF) | Preguntas y respuestas y comentarios. *Aplicaciones Black Soldier Fly | Reciclaje de desechos alimentarios*. Disponible en: <https://www.dipterra.com/qas> [Acceso: Noviembre 5, 2021].
- [22] A. Singh, K. Kumari, “*An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae*” , Elsevier: Journal of Environmental Management, Environmental impact and Sustainability Division CSIR-NEERI, Nagpur, 4020, India, Academy of Scientific and Innovative Research (AcSIR), Ghaziabad, 201002, India.
- [23] Cummins, V.C., Rawles, S.D., Thompson, K.R., Velasquez, A., Kobayashi, Y., Hager, J., Webster, C.D., 2017. Evaluation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae meal as partial or total replacement of marine fish meal in practical diets for Pacific white shrimp

(*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture* 473, 337–344. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2017.02.022>.

- [24] Magalhaes, R., Sánchez-Lopez, A., Leal, R.S., Martínez-Llorens, S., Oliva-Teles, A., Peres, H., 2017. Black soldier fly (*Hermetia illucens*) pre-pupae meal as a fish meal replacement in diets for European seabass (*Dicentrarchus labrax*). *Aquaculture* 476, 79–85. <https://doi.org/10.1016/J.AQUACULTURE.2017.04.021>.
- [25] Li, Q., Zheng, L., Qiu, N., Cai, H., Tomberlin, J.K., Yu, Z., 2011a. Bioconversion of dairy manure by black soldier fly (Diptera: stratiomyidae) for biodiesel and sugar production. *WasteManag.* 31 (6), 1316–1320. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2011.01.005>.

## **ANEXOS**



## ANEXO 1 RECOMENDACIONES

- Para el sistema de incubación es necesario contar con un equipo que garantice una temperatura y humedad predeterminada y constante a lo largo de la experimentación.
- Para la medición de talla o largo de las larvas, se recomienda hacer uso de un calibrador.
- Al momento de realizar el conteo 5-DOL, se recomienda homogeneizar la muestra suavemente con una micro espátula, para evitar lastimar las larvas.
- Cuando se ingresa a cada bandeja la densidad larval especificada, se debe ser muy cuidadoso a la hora de contar el número de larvas, debido a que las larvas de 5 días denacidas tienen una longitud inferior a 2mm, tornando complicada la diferenciación de las mismas, lo que puede ocasionar el ingreso de un número de larvas mayor o menor al especificado dentro de las bandejas.
- En la etapa de cultivo es necesario homogeneizar y rociar de agua con un atomizador a los sustratos constantemente, con el fin de airear las muestras y evitar la pérdida de humedad excesiva.
- Se recomienda realizar más ensayos, variando el tipo de sustrato, implementando más relaciones C/N, variando la temperatura y humedad relativa del aire dentro del biorreactor, e implementar diferentes diseños de experimentos con diferentes modelos y más réplicas.
- Se recomienda para futuras experimentaciones, realizar un balance de materia con respecto al aire que ingresa al biorreactor y la mezcla de gases que sale del mismo.
- Se recomienda para futuras experimentaciones, contar con una recopilación de datos automática dentro del sistema de control de variables, para poder realizar un mejor seguimiento de los mismos.
- Se recomienda desarrollar futuras investigaciones relacionadas con posibles metodologías que se puedan implementar para la obtención de productos terminados o de valor agregado a partir de las larvas de mosca soldado (*Hermetia Illucens*). Como por ejemplo harinas proteicas, aceites o biocombustibles, entre otras.
- Se recomienda desarrollar futuras investigaciones relacionadas a los factores que afectan la tasa de natalidad de los huevos y hacer cálculo de tasa de mortalidad de los huevos.
- Proponer un sistema para la captura de los gases que genera el proceso de bioconversión.

**ANEXO 2**  
**RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO REPORTADOS POR EL**  
**LABORATORIO ABRILAB, PARA LOS RESIDUOS ORGÁNICOS PRE CONSUMO DEL COMEDOR**  
**COMUNITARIO**

Identificación Suministrada	RESIDUOS ORGANICO PRE CONSUMO - COMEDOR COMUNITARIO SANTAFE	Lote / Bloque	19-10-2021	
Fuente del Material /	NO ESPECIFICADO	Contrato N°		
Descripción Física	SÓLIDO CAFÉ CLARO	Condiciones recepción	CONFORME	
<b>CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO</b>				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Referencia
Humedad	N.A.	66.0	%	70 °C / Gravimétrico / NTC 5167
pH	pH	4.88	Unidades de pH	Pasta de saturación / Potenciométrico / NTC 5167
Conductividad Eléctrica	CE	8.61	dS/m	Pasta de saturación / Conductimétrico / NTC 5167
Retención de Humedad	Ret. Hum.	53.9	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167
Cenizas	N.A.	1.17	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167
Perdidas por Volatilización	N.A.	32.8	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167
Capacidad de Intercambio Catiónico	CIC	21.4	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167
Densidad Real (En Base Seca)	N.A.	0.571	g/cm3	Directo / Gravimétrico / NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	10.8	%	Sin. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	31	Adimensional	Relación matemática
<b>CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL</b>				
Nitrógeno Total	NT	0.354	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	0.354	%	Micro-Kjeldahl / Volumétrico / NTC 370
<b>Observaciones a los resultados:</b>		<b>Convenciones:</b>		
NINGUNO		N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sin. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Via Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopia de Absorción Atómica / EAA Espectroscopia de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopia de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas		

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

### ANEXO 3

## RESULTADOS DE CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO REPORTADOS POR EL LABORATORIO ABRILAB, PARA LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DE LA INDUSTRIA CERVECERA

<b>Identificación Suministrada</b>	<b>RESIDUOS DE LA INDUSTRIA CERVECERA</b>	<b>Lote / Bloque</b>	<b>19-10-2021</b>	
<b>Fuente del Material /</b>	<b>NO ESPECIFICADO</b>	<b>Contrato N°</b>		
<b>Descripción Física</b>	<b>SÓLIDO BEIGE</b>	<b>Condiciones recepción</b>	<b>CONFORME</b>	
<b>CARACTERIZACIÓN DE MATERIAL ORGÁNICO SÓLIDO</b>				
<b>Variable</b>	<b>Expresión / Sigla</b>	<b>Resultados</b>	<b>Unidades</b>	<b>Extractante/Técnica/Referencia</b>
Humedad	N.A.	56.3	%	70 °C / Gravimétrico / NTC 5167
pH	pH	4.45	Unidades de pH	Pasta de saturación / Potenciométrico / NTC 5167
Conductividad Eléctrica	CE	2.97	dS/m	Pasta de saturación / Conductimétrico / NTC 5167
Retención de Humedad	Ret. Hum.	54.3	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167
Cenizas	N.A.	1.03	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167
Perdidas por Volatilización	N.A.	42.7	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167
Capacidad de Intercambio Catiónico	CIC	17.3	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167
Densidad Real (En Base Seca)	N.A.	0.663	g/cm <sup>3</sup>	Directo / Gravimétrico / NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	15.0	%	Sin. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	21	Adimensional	Relación matemática
<b>CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL</b>				
Nitrógeno Total	NT	0.730	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	0.730	%	Micro-Kjeldahl / Volumétrico / NTC 370
<b>Observaciones a los resultados:</b>		<b>Convenciones:</b>		
NINGUNO		N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sin. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Via Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopia de Absorción Atómica / EAA Espectroscopia de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopia de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas		

---- Fin del Reporte de Resultados Analíticos ----

