

***EVALUACIÓN DEL PROCESO DE BIODEGRADACIÓN DE RESIDUOS
ORGÁNICOS DOMÉSTICOS UTILIZANDO HERMETIA ILLUCENS EN LA CIUDAD
DE BOGOTÁ***

**NICOLÁS MACIAS GIRALDO
ALLISON ALEJANDRA TORRES LOZANO**

**Proyecto Integral de grado para optar al título de
INGENIERO QUÍMICO**

Director

DIANA MARCELA CUESTA PARRA
Ingeniera Ambiental

Co – Director

FELIPE CORREA MAHECHA
Ingeniero Químico

**FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERÍA QUÍMICA
PROGRAMA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BOGOTÁ D.C.**

2022

NOTA DE ACEPTACIÓN

Nombre
Firma Director

Nombre
Presidente Jurado

Nombre Jurado

Nombre Jurado

Bogotá D.C., 20 Junio del 2022

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 MEJÍA GUZMÁN

Vicerrector Administrativo y Financiero

Dr. RICARDO ALFONSO PEÑARANDA CASTRO

Secretario General

Dr. JOSÉ LUIS MACÍAS RODRÍGUEZ

Decano Facultad de Ingenierías

Ing. NALINY PATRICIA GUERRA PRIETO

Director Programa Ingeniería Química

Dra. NUBIA LILIANA BECERRA OSPINA

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primera instancia a nuestras familias, quienes nos apoyaron durante todo este tiempo en muchos aspectos y fueron una compañía continua a lo largo de nuestra carrera profesional.

También agradecemos a los docentes que, en su correcta actividad de formación, realmente son conscientes de la labor tan importante que imparten en los estudiantes, que además de formar profesionales forman seres humanos que de aquí a mañana serán el futuro de un país, el cimiento del cambio y las oportunidades para los jóvenes.

Agradecemos a nuestra directora de proyecto de grado y a la Fundación Universidad de América por darnos las bases y cimientos de los futuros ingenieros que se enfrentarán al mundo laboral y a los verdaderos retos que se encuentran a diario en la sociedad.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mis padres Omar y Dora por el apoyo incondicional y la confianza indiscutible, quienes por medio de sus enseñanzas además de afecto criaron a una mujer con el espíritu de una profesional, inculcándome una de las primeras lecciones de vida todo es posible con la bendición de Dios, disciplina y dedicación. Le dedico este proyecto a mi compañero de tesis Nicolás un ser de bondad y lealtad, agradezco a la vida por darme el privilegio de conocerlo, a quien le agradezco enseñarme como lección de vida que las victorias no significan nada si no tienes con quien compartirlas. También quiero dedicarle este proyecto a mi amiga Lizz porque, aunque la vida no lo planeo así en mi corazón es mi familia, por último, dedico y comparto esta etapa que termina a mi compañero de vida Nicolás quien fue mi malecón contra la fuerza de cualquier adversidad, porque la expectativa de un futuro juntos fue el motor para cada momento de declive.

Somos nosotros quienes más dudamos de nuestras capacidades, cuando logras cambiar esto podemos lograr cosas inimaginables. *Alejandra Torres Lozano*

Dedico este proyecto de grado a mi familia, especialmente a mis padres Gloria y Jaime quienes fueron el pilar fundamental para continuar a lo largo de estos cinco años de formación profesional, quienes siempre me acompañaron, me recalcaron el potencial que tengo y me impulsaron para nunca desistir cuando el camino se tornaba un poco complejo. También, dedico esto a mis futuros colegas amigos que me acompañaron a lo largo del pregrado y conjuntamente formaron parte del profesional que soy hoy en día, compartiendo conocimientos, esfuerzos, lágrimas y triunfos. Por último, dedico y agradezco por mi compañera de tesis Alejandra, y más que una compañera una amiga que me regaló la vida para compartir este gran trayecto. Una persona leal, honesta, entregada y que siempre fue un apoyo incondicional que no me permitió rendirme ni dejar de creer en mis capacidades ni en mi potencial.

Algo que creíamos en ocasiones imposible hoy se está volviendo un lindo recuerdo en nuestra vida profesional. *Nicolás Macías Giraldo.*

Las directivas de la Universidad de América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN	12
OBJETIVOS	13
INTRODUCCIÓN	14
1. MARCO DE REFERENCIA	15
1.1. Marco teórico	15
1.1.1. <i>Residuos sólidos</i>	15
1.1.2. <i>Residuos sólidos orgánicos fermentados</i>	15
1.1.3. <i>Técnicas de gestión y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos</i>	16
1.1.4. <i>Hermetia Illucens</i>	17
1.1.5. <i>Anatomía de Hermetia Illucens</i>	20
1.1.6. <i>Biodegradación de residuos orgánicos a partir Hermetia Illucens</i>	21
1.1.7. <i>Condiciones de operación en el proceso de biodegradación</i>	25
1.1.8. <i>Acondicionadores de suelo</i>	29
1.2. Marco legal	29
2. METODOLOGÍA	31
2.1. Recolección de residuos orgánicos	31
2.2. Pretratamiento de los residuos orgánicos	33
2.3. Características físicas de residuos orgánicos domésticos	34
2.3.1. <i>Determinación de la humedad</i>	34
2.3.2. <i>Determinación del porcentaje de cenizas por el método de pérdidas por volatilización</i>	35
2.3.3. <i>Determinación de pH</i>	35
2.3.4. <i>Determinación de la densidad de residuos orgánicos</i>	36
2.3.5. <i>Determinación de la densidad de lixiviados</i>	36
2.4. Diseño del reactor	36
2.5. Variables del proceso de biodegradación	37
2.5.1. <i>Relación de C/N</i>	37
2.5.2. <i>Temperatura - Variable de operación</i>	38
2.5.3. <i>Humedad - Variable de operación</i>	38
2.5.4. <i>Tasa de alimentación - Variable de operación</i>	38
2.5.5. <i>pH - Variable de control</i>	39
2.5.6. <i>Humedad del sustrato - Variable de control</i>	39
2.5.7. <i>Temperatura del sustrato - Variable de control</i>	39

2.5.8.	<i>Crecimiento larvario - Variable de control</i>	40
2.5.9.	<i>Diseño de experimentos</i>	40
2.6.	Indicadores de biodegradación	41
2.7.	Características fisicoquímicas del acondicionador de suelos	42
2.7.1.	<i>Proceso para la determinación de la capacidad de retención de agua, pH y conductividad eléctrica</i>	42
2.7.2.	<i>Análisis químico de laboratorio para acondicionador de suelos</i>	43
3.	RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	45
3.1.	Caracterización de los residuos orgánicos domésticos	45
3.1.1.	<i>Residuos en Colombia</i>	45
3.1.2.	<i>Residuos en la ciudad de Bogotá</i>	46
3.1.3.	<i>Residuos en la comuna del Mochuelo</i>	47
3.1.4.	<i>Características estudiadas de los residuos orgánicos</i>	48
3.1.5.	<i>Residuos recolectados para biodegradación</i>	51
3.1.6.	<i>Determinación de parámetros físicos</i>	52
3.1.7.	<i>Diferentes sustratos de alimentación de la experimentación</i>	62
3.2.	Variables de operación en el proceso de biodegradación	62
3.2.1.	<i>Diseño del reactor</i>	62
3.2.2.	<i>Control de variables de operación desde la cámara de control</i>	64
3.2.3.	<i>Recipientes utilizados para cada sustrato</i>	66
3.2.4.	<i>Resultados obtenidos para las dietas establecidas</i>	69
3.2.5.	<i>Comportamiento de las condiciones dentro del reactor a lo largo del tiempo</i>	88
3.3.	Propiedades fisicoquímicas de la biomasa residual obtenida	93
3.3.1.	<i>Caracterización de las biomásas residuales obtenidas después del proceso de biodegradación</i>	93
3.3.2.	<i>Análisis estadístico del diseño de experimentos</i>	104
3.3.3.	<i>Indicadores de biodegradación</i>	106
4.	CONCLUSIONES	110
	BIBLIOGRAFÍA	112
	ANEXOS	118

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Etapas típicas del ciclo de vida de Black Soldier Fly	18
Figura 2. Clasificación taxonómica de <i>Hermetia Illucens</i>	20
Figura 3. Anatomía general de <i>Hermetia Illucens</i>	21
Figura 4. Segundo proceso de cuarteo realizado para la muestra recolectada in situ	32
Figura 5. Método de deshidratación pasiva para residuos	34
Figura 6. Residuos generados, dispuestos y aprovechados en 6 municipios del país	45
Figura 7. Municipios que realizan aprovechamiento y/o tratamiento por tipo de material	46
Figura 8. Empaque y rotulado de residuos frescos utilizados para las dietas de alimentación de la experimentación	54
Figura 9. Empaque y rotulado de residuos cocidos utilizados para las dietas de alimentación de la experimentación	59
Figura 10. Empaque y rotulado de residuos cárnicos / proteínas utilizadas para las dietas de alimentación de la experimentación	60
Figura 11. Empaque y rotulado de residuos de poda y césped utilizados para las dietas de alimentación de la experimentación	61
Figura 12. Recámara de aireación dentro del reactor	63
Figura 13. Recámara de biodegradación del reactor	64
Figura 14. Biorreactor dispuesto para la experimentación	66
Figura 15. Recipientes dispuestos con cada una de las dietas de alimentación	67
Figura 16. Recipientes dispuestos en la estructura de soporte	67
Figura 17. Montaje de estructura y recipientes dentro del reactor	68
Figura 18. Evidencia fotográfica del crecimiento larvario en la dieta uno (residuos frescos)	73
Figura 19. Evidencia fotográfica del crecimiento larval en la dieta dos (residuos cocidos)	76
Figura 20. Evidencia fotográfica del crecimiento larval en la dieta tres (residuos cárnicos / proteína)	80
Figura 21. Evidencia fotográfica del crecimiento larval en la dieta cuatro (residuos mixtos)	83
Figura 22. Crecimiento larvario por tratamiento de experimento	85
Figura 23. Variables de control por tratamiento de experimentación	86
Figura 24. Cambio de la temperatura dentro del reactor con respecto al tiempo	89
Figura 25. Cambio de la humedad dentro del reactor con respecto al tiempo	90
Figura 26. Representación del cambio de emisión de gases dentro del reactor con respecto al tiempo	91
Figura 27. Evidencia fotográfica del cambio del sustrato con respecto al tiempo	94
Figura 28. Porcentaje de consumo para cada dieta utilizada en la experimentación	107

Figura 29. Índice de reducción de desechos para cada dieta utilizada en la experimentación 108

Figura 30. Tasa de supervivencia para cada uno de las dietas utilizadas en la experimentación 109

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Tabla comparativa de organismos vivos que realizan procesos de degradación de residuos	23
Tabla 2. Parámetros de operación para procesos de degradación de residuos	28
Tabla 3. Parámetros de aceptación o rechazo para un acondicionador de suelo	43
Tabla 4. Residuos caracterizados según la necesidad de los investigadores	49
Tabla 5. Características de los residuos recolectados para la alimentación	52
Tabla 6. Caracterización física realizada a los sustratos utilizados para la investigación	53
Tabla 7. Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos para residuos frescos u orgánicos domésticos	56
Tabla 8. Caracterización de la fracción mineral realizada por el laboratorio externo para residuos frescos u orgánicos domésticos	57
Tabla 9. Porcentaje de residuos destinados para cada uno de los tratamientos de alimentación de BSFL en el proceso de biodegradación	62
Tabla 10. Variables de control y crecimiento larvario cualitativos para residuos frescos u orgánicos domésticos	70
Tabla 11. Variables de control y crecimiento larvario cualitativos para residuos cocidos	74
Tabla 12. Variables de control y crecimiento larvario cualitativos para residuos cárnicos / proteína	77
Tabla 13. Variables de control y crecimiento larvario cualitativos para residuos mixtos	80
Tabla 14. Caracterización física realizada a la biomasa residual obtenida después del proceso de biodegradación para cada uno de los tratamientos	95
Tabla 15. Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos para la biomasa residual obtenida de residuos frescos u orgánicos domésticos	98
Tabla 16. Caracterización de la fracción mineral realizada por el laboratorio externo para residuos frescos u orgánicos domésticos	99
Tabla 17. Recolección de datos experimentales para la realización del ANOVA	104

RESUMEN

La presente investigación tiene como objetivo principal la evaluación de un proceso de biodegradación de residuos orgánicos domésticos con ayuda del organismo vivo conocido como *Hermetia Illucens* o Black Soldier Fly (BSF); seres descomponedores que presentan grandes eficiencias, potencial para ser agentes de degradación de material vegetal o basura que se considera “inprovechada” para muchos, pero beneficiosa para otros. Esta evaluación se realiza teniendo en cuenta variables de operación tales como temperatura, humedad, tasa de alimentación y, por otra parte, variables de control tales como pH, humedad / temperatura del sustrato y crecimiento larvario.

Para llevar a cabo la experimentación se utiliza un biorreactor de aproximadamente 125 litros en donde se instalaron sensores eléctricos que, con ayuda de la programación Arduino que permiten dar un seguimiento riguroso de variables como la humedad, temperatura y calidad del aire, pues estos son factores determinantes en los procesos de biodegradación de residuos que ocurren a diario en los rellenos sanitarios de la ciudad de Bogotá, logrando con este equipo condiciones comparables a lo que ocurre finalmente en estos lugares y que tanta repercusión presentan en el desarrollo social, económico y ambiental.

Finalmente, se obtienen interesantes resultados sobre la descomposición y disminución de material vegetal aproximadamente en un 78,96% a lo largo de los 18 días del proceso de biodegradación; tiempo empleado para llevar a cabo la experimentación antes de que la larva de mosca soldado negro llegara a su etapa de pupa, pues en esta etapa larvaria el organismo deja de alimentarse para poder complementar su ciclo de vida. Además de lo anterior, se determinó con el control de variables que la temperatura y humedad óptima de trabajo dentro del reactor es de 27°C y 80% respectivamente, por otro lado, las condiciones del sustrato más adecuadas se encuentran en un rango de 25°C – 29°C y una humedad del 80%.

PALABRAS CLAVE: *Hermetia Illucens*, biodegradación, sustrato, biomasa, acondicionador de suelos, larvas, variables.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el proceso de biodegradación con residuos orgánicos utilizando *Hermetia illucens* (BSFL) en la ciudad de Bogotá.

Objetivos Específicos

1. Identificar las características físicas de los residuos orgánicos domésticos a utilizar en el proceso de biodegradación por medio de *Hermetia Illucens*.
2. Establecer las variables de operación en el proceso de biodegradación de residuos orgánicos domésticos.
3. Estimar las propiedades fisicoquímicas de la biomasa residual como posible acondicionador de suelos.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad Colombia presenta una gran problemática sobre el manejo de los residuos sólidos urbanos, pues en algunas ciudades o municipios del país no se encuentra la gestión adecuada o el aprovechamiento que se le debería dar a estos. “Colombia genera aproximadamente 11,6 millones de toneladas de residuos sólidos al año, de los cuales el 40% podrían ser aprovechados favorablemente, sin embargo, estudios realizados por parte del Departamento Nacional de Planeación DNP indican que sólo alrededor del 17% se reciclan” [1]. Esto a su vez implica un impacto ambiental por la emisión de gases de efecto invernadero generados por la acumulación, aglomeración y mala disposición de los residuos en los rellenos sanitarios ubicados especialmente en la ciudad de Bogotá.

Al día de hoy para el manejo de residuos en la ciudad de Bogotá se cuenta con un plan de gestión integral de residuos sólidos (PGIR) mediante el cual se busca establecer una reglamentación adecuada para el modelo de gestión de los mismos en la capital. “Por otro lado, la UAESP (Unidad administrativa especial de servicios públicos) establece aspectos para la disposición final que tienen estos residuos teniendo como principales unidades de gestión las celdas de contingencia, rellenos sanitarios, botaderos, celdas transitorias, quemas no controladas, etc.” [2].

La implementación de nuevos modelos para el aprovechamiento de residuos parte de la necesidad que deja el mal funcionamiento de la gestión convencional que se tiene de los mismos en la ciudad, pues esta carece de utilidad y eficiencia. Dentro de estas nuevas técnicas se ha impulsado el proceso conocido como biodegradación con ayuda del organismo vivo *Hermetia Illucens* (BSFL) el cual representa una diferencia significativa frente a otros procesos de degradación de residuos orgánicos debido al rendimiento que la BSFL puede tener sobre la conversión de estos.

1. MARCO DE REFERENCIA

1.1. Marco teórico

A continuación, se explican brevemente conceptos básicos sobre el proceso de biodegradación para dar al lector contextualización y que él mismo tenga una idea un poco más amplia de la finalidad del proyecto.

1.1.1. Residuos sólidos

El residuo sólido corresponde a un elemento obtenido posterior a la consecución de tareas específicas, ya sea un proceso de nivel industrial, médico, alimenticio, de actividades domésticas, comerciales, etc. Estos residuos son productos no aprovechables que se obtienen durante los procesos mencionados, los cuales culminan su ciclo de vida cuando se ha alcanzado el objetivo al cuál se pretendía llegar.

Estos residuos sólidos se pueden clasificar según su origen, su biodegradabilidad y su composición, sin embargo, para la presente investigación se tiene en cuenta su clasificación según la biodegradabilidad la cual corresponde a dos subdivisiones:

- **Residuos sólidos orgánicos:** Es aquel residuo *biológico* constituido principalmente por materia vegetal como lo son las frutas, las verduras y en general compuestos con una rápida descomposición.
- **Residuos sólidos inorgánicos:** Son aquellos residuos que no están constituidos por material vegetal, por lo tanto, no tienen la capacidad de descomponerse fácilmente, sin embargo, algunos de ellos pueden ser reutilizados posterior a un proceso de tratamiento.

1.1.2. Residuos sólidos orgánicos fermentados

La fermentación es un término que ha podido extenderse para referirse a procesos de producción de un producto en donde se ve relacionado el uso de microorganismos. Este proceso puede clasificarse en cinco grupos importantes según el producto obtenido, los cuales pueden ser, células microbianas (biomasa), enzimas microbianas, metabolitos microbianos, productos recombinantes y aquellos que modifican el compuesto ingresado a la fermentación [3], en el caso de la fermentación en estado sólido se pueden evidenciar

grandes ventajas como lo son la idoneidad de diferentes microorganismos, sustratos y parámetros de proceso.

En el caso de los residuos sólidos orgánicos utilizados para esta investigación, la fermentación hace referencia al proceso de digestión catabólica por parte de microorganismos generalmente mesófilos que sobreviven temperaturas en rangos de (10 - 46 °C) y descomposición de los mismos con control de temperatura, grado de aireación, humedad del material y tiempo de residencia en pilas de recolección que pueden tener sistemas de extracción de olores o los mismos pueden evitarse por la abertura de las parvas o terrenos de disposición.

Los residuos fermentados con un período no superior a siete días pueden representar una opción viable para el proceso de biodegradación, debido a la producción de enzimas, minerales y nutrientes, vitaminas e inclusive algunas cepas probióticas. Debido a estas características, se logran obtener valores considerables de proteínas, ácidos grasos y componentes aprovechables de la larva de mosca soldado negra una vez culminado el proceso de alimentación por parte de este organismo vivo.

1.1.3. Técnicas de gestión y aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos

Los residuos sólidos orgánicos pueden ser gestionados y tratados mediante diferentes procesos según el fin que se les quiera dar. Estas medidas se establecen inicialmente por las entidades gubernamentales de cada país, sin embargo, estos diferentes métodos se pueden clasificar en tratamientos térmicos, métodos de conversión termoquímica y tratamiento de residuos biológicos. Teniendo en cuenta la clasificación mencionada anteriormente, los tratamientos más adecuados a estudiar son los biológicos que a su vez se pueden subdividir en:

- **Compostaje:** “El compostaje corresponde a un proceso biológico en donde participan microorganismos tales como los hongos y las bacterias, esta es la descomposición de materia orgánica bajo unas condiciones aeróbicas controladas” [4]. En otras palabras, este proceso es una técnica que se lleva a cabo con el fin de transformar un desecho en un abono orgánico aprovechable.
- **Digestión anaerobia:** Es una técnica de degradación por parte de microorganismos anaerobios, esto quiere decir que sucede en ausencia de oxígeno, no obstante,

cumple la misma funcionalidad que la del compostaje convencional. “Además de generar humus como producto final, este puede ser utilizado como acondicionador de suelos y esta técnica se usa como un método de producción de biogás” [4].

- **Lombricultura:** Corresponde a una técnica utilizada para realizar procesos de degradación de residuos sólidos orgánicos, caracterizada principalmente por el consumo de desechos por parte de organismos vivos conocidos como lombrices de tierra, a diferencia de un compostaje convencional del cual se encarga netamente los microorganismos. “Es un proceso similar al compostaje donde en adición a las bacterias y otros microorganismos, el sistema digestivo de la lombriz juega un papel importante, transformando los residuos orgánicos en abonos de excelente calidad” [5].
- **Gestión integrada de residuos sólidos:** “Es un enfoque para la creación de sistemas que son económicamente asequibles, socialmente aceptables y ambientalmente eficaces” [2]. Estos sistemas de gestión se crean bajo la necesidad de cada país y la implementación que pueden darles a las técnicas anteriormente mencionadas.

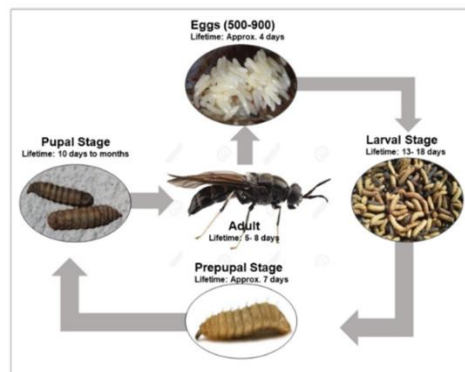
1.1.4. *Hermetia Illucens*

“*Hermetia Illucens* es un organismo díptero estratiomido (*Dipter, Stratiomyidae*) también conocido comúnmente como mosca soldado negro o black soldier fly (BSF) por sus siglas en inglés, este es de origen posiblemente neotropical, pero actualmente está presente en zonas cálidas de todo el mundo esto gracias a su introducción deliberada por parte de los humanos” [6]. Actualmente el uso de esta larva presenta una mayor acogida por parte de los investigadores que buscan alternativas sostenibles para los procesos de biodegradación de residuos, esto debido a que *Hermetia Illucens* tiene una gran versatilidad en lo que corresponde a su alimentación por diferentes sustratos. Por otro lado, la biomasa obtenida del proceso en condiciones favorables presenta características fisicoquímicas adecuadas para la producción de pienso para animales y acondicionadores de suelo.

En la **Figura 1** se puede observar el ciclo de la larva mosca soldado negro, que esta comúnmente constituida por cinco etapas de vida que son huevos, etapa de larva, estado de prepupa, estado de pupa y finalmente la mosca adulta. Debido a que la vida útil de la mosca soldado negra es muy corta, las hembras de esta especie pueden producir una gran cantidad de huevos, la mayor parte de su vida está constituida por la etapa de larva y pupa, además su ciclo de vida puede durar hasta de 6 a 7 semanas dependiendo del entorno a las cuales están expuestas [7].

Figura 1.

Etapas típicas del ciclo de vida de Black Soldier Fly



Nota. Ciclo de vida de la larva mosca soldado negra y tiempos de supervivencia en cada una de las fases de desarrollo. Tomado de: A. Singh and K. Kumari, "An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review," J. Environ. Manage., vol. 251, p.109569, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109569.

- **Huevos:** La mosca adulta *Hermetia Illucens* coloca aproximadamente una cantidad de 500 huevos en grietas y hendiduras cerca o en posibles sustratos en proceso de descomposición tales como estiércol, carroña, basuras y demás desechos orgánicos que son de utilidad para este organismo. Los huevos se caracterizan por tener un tamaño de aproximadamente 1mm de largo y es de color generalmente amarillo pálido o un blanco cremoso. Finalmente, estos tardan en eclosionar y dar una larva en 4 días y 3 semanas respectivamente [8].
- **Larvas:** Después de la eclosión de los huevos, esta etapa del crecimiento larvario puede alcanzar aproximadamente un tamaño de 27 mm de largo y 6 mm de ancho, caracterizadas por tener un color blanquecino opaco con una cabeza pequeña saliente que tiene un sistema bucal masticador por el cual se realizará la degradación


de todos los residuos alimentados. Las larvas pasan por tres estadios larvarios en donde requieren aproximadamente de 30 días para completar su desarrollo. [8]

- **Prepupas:** En esta etapa es donde se ha alcanzado su tamaño máximo y donde son mayormente aprovechables, debido a su contenido de proteínas y grasas. Este tiene un periodo de tiempo de aproximadamente de 7 días [7].
- **Pupa:** La pupa se forma dentro de la última piel larvaria o más conocido como un pupario, la corona de pelos en el último segmento se puede retraer. Este estadio larvario requiere aproximadamente de dos semanas y se caracteriza por la ausencia de movimiento, después de este tiempo las mismas se dispersan hacia áreas más secas de donde podrá salir un insecto de su estuche o forraje [8].
- **Mosca adulta:** En esta etapa adulta, la mosca soldado negra tiene apariencia de avispa con un color característico de negro azulado. Los miembros de la familia de moscas soldado *Stratiomyidae* pueden variar en color desde amarillo, verde, negro o azul, y algunos tienen un aspecto metálico. También se caracterizan en esta etapa por tener dos “ventanas” translúcidas ubicadas en el primer segmento abdominal y miden aproximadamente de 15 a 20 mm de longitud. 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 ocurrir el apareamiento [8]. Finalmente, es importante destacar que las moscas adultas no poseen partes bucales ni sistema digestivo ni aguijón y, por lo tanto, no representan una amenaza para los seres vivos [7].

“La mosca soldado negra se encuentra dentro de los cinco géneros de la familia *Hermetinae*, los otros géneros corresponden a *Chaetosargus*, *Patagiomya*, *Chaetohermelia* y *Notohermetia*” [7]. En la **Figura 2** se puede observar la clasificación taxonómica de esta especie, de la clase insecto y orden díptera, cuando este se encuentra en su etapa adulta puede variar de color desde el amarillo, verde, negro o azul, en algunos casos estos pueden tomar una apariencia metálica.

Figura 2.

Clasificación taxonómica de *Hermetia Illucens*

Taxonomical Classification	
	
Kingdom	Animalia
Phylum	Arthropoda
Class	Insecta
Order	Diptera
Suborder	Brachycera
Superfamily	Stratiomyoidea
Family	Stratiomyidae
Subfamily	Hermetiinae
Genus	Hermetia
Species	<i>H. illucens</i>

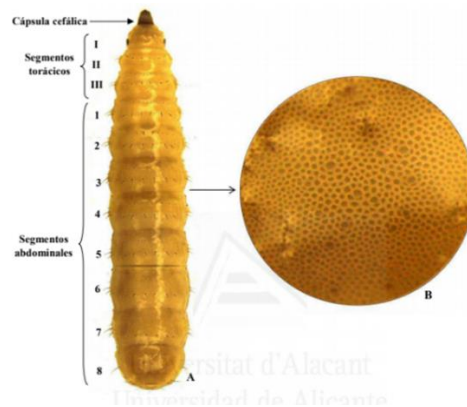
Nota. Tabla de clasificación taxonómica de *Hermetia Illucens*. A. Singh and K. Kumari, “An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review,” *J. Environ. Manage.*, vol. 251, p.109569, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109569.

1.1.5. Anatomía de *Hermetia Illucens*

“La larva presenta una forma alargada alrededor de los 0,85 a 30 mm, está cuenta con un extremo anterior ahusado y posterior redondeado. Esta puede tener una coloración más oscura o blanquecina según la edad y apariencia notoria de panal o mosaico” [6]. Se presentan además algunos aspectos importantes sobre la morfología y anatomía del individuo trabajado. En la **Figura 3** se presenta la anatomía general de la larva de la mosca soldado negra, en donde se observan las partes que la constituyen además de un aumento que muestra la apariencia superficial que tiene la piel de estas.

Figura 3.

Anatomía general de Hermetia Illucens



Nota. Vista general de *Hermetia Illucens* identificando sus segmentos torácicos, cápsula cefálica y segmentos abdominales. F. P. Gobbi, "Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa," Dissertation, p. 155, 2012.

- **Cápsula cefálica:** Corresponde a la cabeza de la larva la cual es estrecha y larga y puede ser retraída dentro del tórax. En esta se encuentran las maxilas, las cuales contienen cepillos maxilares, que son los responsables del consumo de alimentos. Estas maxilas con el crecimiento larvario presentan modificaciones que dificultan en gran medida el proceso de masticación implicando desventajas en el proceso de biodegradación.
- **Segmento torácico:** Este está formado principalmente por tres segmentos (I a III) como se observa en la **Figura 3**, estos se caracterizan por ser densamente pilosos con varias hileras de pequeños sensilios.
- **Segmentos abdominales:** Esta zona está conformada por ocho segmentos como se muestra en la **Figura 3**, los cuales se forman principalmente por placas cubiertas de numerosas y pequeñas setas

1.1.6. Biodegradación de residuos orgánicos a partir *Hermetia Illucens*

Los procesos de biodegradación de residuos orgánicos son técnicas de descomposición biológica natural ya sea por agentes microbiológicos, patógenos, hongos u otro tipo de organismos vivos en los cuales se realiza metabolización, digestión y asimilación de lo que se puede considerar un producto no aprovechable pero que finalmente puede

contribuir en gran medida con la disminución de agentes contaminantes a ecosistemas terrestres, hídricos y aéreos.

En la **Tabla 1** se puede observar algunos de los organismos vivos que realizan procesos de biodegradación con diferentes residuos orgánicos, así como el resultado obtenido al final del proceso de biodegradación, además, se presentan rendimientos de estos en términos de reducción de desechos y tasa de supervivencia, en el caso del gusano amarillo se observa su uso para residuos lignocelulósicos como lo son hojas de maíz y vegetales. También se observa el uso de grillos de campo en Cambodia para residuos orgánicos domésticos de los cuales es posible obtener biomasa, este mismo puede obtenerse con gusanos de manzana que utilizan como sustrato los residuos de aguas residuales provenientes de industrias de almidón y queso.

En el caso de mosca doméstica, se tienen como resultados de la biodegradación productos como lo son la biomasa, biocombustibles y fertilizantes obteniendo rendimientos del 70% de la reducción de desechos en restaurantes es decir alimentos posconsumo. La mosca soldado negra como se presenta en la **Tabla 1** tiene una alta tolerancia a diferentes tipos de sustrato, es por esta razón que se ha presentado un interés en líneas de investigación con este organismo vivo; se puede notar que el rendimiento de estos procesos de biodegradación son menores para investigaciones en donde se utiliza residuos provenientes de la industria del cereal como lo son la paja de arroz, rastrojos de maíz para los cuales se presentan porcentajes de reducción de desechos menores al 52%.

En el caso de residuos orgánicos como lo son residuos de frutas y de alimentos posconsumo se evidencian rendimientos altos en la reducción de desechos además de tasa de supervivencia de las larvas, esto permite inferir que se va a presentar una mayor aceptación por parte de las larvas a residuos frutícolas, como lo es el caso de residuos de peras, plátanos y pepinos en Suecia como lo presentan rendimientos de reducción del 83%, en comparación a residuos de rastrojo de maíz que muestran rendimientos de 51,32%.

Tabla 1.

Tabla comparativa de organismos vivos que realizan procesos de degradación de residuos

Especies	Residuos Orgánicos	País	Salida de bioconversión	Rendimiento	Referencia
Mosca Soldado Negra (<i>Hermetia illucens</i>)	Residuos de restaurante de paja de arroz (3:7)	China	Biocombustible	39,60 % (Reducción de desechos)	Zheng, Hpu, et al. (2012)
	Paja de arroz	Indonesia	Biomasa	31,53 % (Reducción de desechos)	Manurung et al. (2016)
	Pulpa y cáscara de café	El Salvador, Indonesia	Biomasa, fertilizante	-	Lardé (1990), Suantika et al. (2017)
	Residuos de peras, plátanos y pepinos (5:3:2)	Suecia	Biomasa	83 % (Reducción de desechos)	Mutafela (2015)
	Rastrojo de maíz	China	Biocombustible, Enmienda de suelo	51,32 % (Reducción de desechos)	Wang et al. (2017)
	Maíz / Mazorca	China	Biocombustible	-	Li et al. (2015)
	Sorgo y Frijol	Estados Unidos	Biomasa	50,82 % (Tasa de supervivencia)	Tinder et al. (2017)
	Cáscara de yuca	Indonesia	Biomasa	22,50 % (Reducción de desechos)	Supriyatna et al. (2016)
	Recortes de vegetales, café molido, y hojas de té	Estados Unidos, Hong Kong	Biomasa	95 % (Tasa de supervivencia)	Cheng (2016)
	Vegetales, cáscaras de ñame, yuca, platano	Ghana	Biomasa	44 y 94 % (Reducción de desechos)	Bonso (2013)

Especies	Residuos Orgánicos	País	Salida de bioconversión	Rendimiento	Referencia
Mosca Doméstica (<i>Musca domestica</i>)	Residuos de restaurante (70%) Ensilaje de maíz, aserrín (30%)	China	Biomasa, biocombustible, fertilizante	42,95 % (Reducción de desechos)	Niu et al. (2017)
Gusano de manzana (<i>Cydia pomonella</i>)	Lodos de aguas residuales de almidón y queso	Canadá	Biomasa	65 – 75 % (Tasa de supervivencia)	Brar et al. (2008)
Grillos de campo caboyanos (<i>Teleogryllus testaceus</i>)	Cogollos de yuca, grano gastado, residuos de brote de frijol mungo, malezas de campo	Cambodia	Biomasa	-	Miech et al. (2016)
Gusano Amarillo (<i>Tenebrio molitor</i>)	Paja de trigo, hojas de col machacadas	China	Biomasa	-	Wang et al. (2017)
	Rastro de maíz	China	Biocombustible	51,32 % (Reducción de desechos)	Wang et al. (2017)

Nota. Algunos insectos utilizados para la bioconversión, algunos productos con los que pueden alimentarse y productos finales. Los rendimientos presentes en la tabla están expresados en términos de reducción de desechos y tasa de supervivencia. A. Singh and K. Kumari, "An inclusive approach for organic waste treatment and valorisation using Black Soldier Fly larvae: A review," J. Environ. Manage., vol. 251, p.109569, Dec. 2019, doi: 10.1016/j.jenvman.2019.109569.

El uso de *Hermetia Illucens* en procesos de biodegradación se relaciona con el amplio rendimiento y versatilidad que presentan estos organismos vivos, pues "Las larvas de estos insectos se han utilizado con éxito para reducir la masa de estiércol animal, lodos fecales, desechos municipales, raspaduras de alimentos, desechos de restaurantes y mercados, así como los residuos vegetales que quedan después de la extracción de aceite" [10]. Esta es una de las razones por las cuales la BSFL presenta ventajas para el proceso de biodegradación, ya que muestra una alta tolerancia a diferentes sustratos de

alimentación en comparación con otras especies utilizadas para este fin, como lo son la larva de la mosca doméstica, polilla de la manzana, grillos de campo camboyanos y gusano de harina amarilla **Tabla 1**.

El desarrollo de la *Hermetia Illucens* desde su primera fase (huevo) hasta su tercera fase (prepupa) en condiciones favorables y controladas de laboratorio toma un período aproximado de 22 a 24 días. La principal diferencia que tienen estos organismos vivos con los demás es que al ser más grandes en su estado de larva pueden digerir más cantidad de desechos y contribuir a mayor degradación.

1.1.7. Condiciones de operación en el proceso de biodegradación

- **Diámetro de partícula**

Con lo anterior, es importante tener en cuenta las características en términos del tamaño de partícula del sustrato de alimentación, pues el diámetro de partícula es un factor determinante en el pretratamiento, pues este es utilizado en las diferentes técnicas como lo son la lombricultura y propiamente la degradación por medio de *Hermetia Illucens*. Para esta etapa se recomienda “el uso de una trituradora o molino de martillos para lograr un diámetro entre 1 a 2 cm, lo cual garantiza un proceso más acelerado que favorece la alimentación de las larvas, ya que las piezas bucales de estas no pueden romper grandes porciones de desechos lo cual se verá reflejado en una menor reducción de los residuos orgánicos” [11].

- **Relación C/N**

Por otra parte, para la relación C/N se realiza un análisis de los referentes bibliográficos por medio de fuentes de información secundarias en donde se presentan interpretaciones o análisis de diferentes autores sobre la relación entre el carbono y nitrógeno para diferentes fuentes de alimentación en este tipo de procesos.

Con lo anterior, el primer estudio experimental donde realizan la degradación con ayuda de *Hermetia Illucens*, en el cual se utilizan diferentes dietas de alimentación a diversas proporciones, determina que para cada una de las mezclas realizadas se da un valor promedio de este parámetro que corresponde a una relación de 15 C/N - 25 C/N [12].

Por otra parte, se indaga un estudio en el cual se modifica la relación C/N del sustrato de alimentación en intervalos de 11 (control) - 15 - 20 - 25 y 30 para el cual se encuentra que relaciones menores de este parámetro implican mayor rendimiento de las larvas [13].

- **Temperatura**

Uno de los parámetros más importantes en los procesos de biodegradación corresponde a la temperatura de operación, en el caso específico de los procesos de reducción de residuos que utilizan saprófagos como lo es *Hemertia Illucens*, se establecen rangos de temperatura en donde este puede presentar el mayor grado de bioconversión. De esta misma manera se resalta que a temperaturas inferiores a 10°C la larva de la mosca soldado negra entrará en un periodo de inactivación, pero a temperaturas muy elevadas de aproximadamente 45°C la supervivencia de la larva disminuirá drásticamente [14].

En el caso de la larva mosca soldado negro el rango adecuado de temperatura para que las larvas se conviertan a pupas es de 25°C - 30°C [14], por lo cual se establece un setpoint de 27°C dentro del reactor y de esta manera se pueda garantizar un crecimiento adecuado de las larvas.

- **Humedad**

Uno de los parámetros de operación de la biodegradación de residuos orgánicos por medio de *Hermetia Illucens* dentro del reactor es la humedad del ambiente, pues esta corresponde a otra variable determinante en el estudio. Esto se debe a que, según las fuentes bibliográficas consultadas, es necesario tener un control del parámetro, pues de lo contrario se pueden ver afectados los aspectos de crecimiento, supervivencia de las larvas y separación de la biomasa final obtenida con la masa larval [15].

En estudios realizados se determina que para sustratos con menor humedad se presenta una mayor eficiencia al momento de separar la biomasa obtenida de los insectos, en el caso de desperdicios pre-consumo y pos-consumo. Sin embargo, también puede generar efectos indeseables como la ralentización del crecimiento de las larvas, por esta razón se presenta una compensación entre la eficiencia de tamizado y la tasa de crecimiento [15].

Por lo tanto, es ideal trabajar con una humedad de crecimiento larvario en un intervalo del 70% al 90% de humedad relativa, sin omitir la cantidad de agua que va a ir perdiendo el residuo gracias al sistema de aireación con el que cuenta el reactor. Se presenta la necesidad de la implementación de este para evitar el crecimiento de patógenos en los residuos y disminuir la transferencia de calor que van generando las larvas a medida que transcurre el proceso. Para el presente estudio se tiene un mayor interés por tener un alto crecimiento larvario que implica una mayor cantidad de residuos consumidos.

- **Tasa de alimentación**

Este es uno de los parámetros que afecta directamente el peso de las larvas al final del mismo y el rendimiento que tiene durante el desarrollo de la etapa prepupal. En un estudio realizado enfocándose en la conversión de material orgánico en donde se utilizan diferentes tasas de alimentación, además de un total de 200 larvas por cada recipiente utilizado, se puede observar que un alimento con humedad del 60% y una tasa de alimentación de 200 mg / larva: día proporciona un mayor peso seco prepupal [16].

En la **Tabla 2** se presentan los resultados obtenidos por medio de una búsqueda bibliográfica, para los parámetros de operación en procesos de biodegradación con diferentes residuos, en este se relaciona la temperatura y humedad de operación para diferentes tasas de alimentación, aquí se puede observar que para los residuos relacionados con desechos orgánicos domésticos se trabajan temperaturas dentro del rango de los 26 – 28°C. Para estos, la tasa de alimentación muestra que esta se establece en función del objetivo deseado, es decir, para casos en donde se quiere generar un mayor porcentaje de reducción tasas de alimentación alta son más favorables.

Tabla 2.*Parámetros de operación para procesos de degradación de residuos*

Alimentación	Tasa de alimentación (mg/larva)	Temperatura (°C)	HR (%)	Referencias
Desperdicios de alimentos	100	35	70 – 75 – 80	[15]
Grano de cerveza	125	28 +/- 2	70 +/- 2	[13]
Alimento de pollo (UFA 625)	12,50 - 25 - 50 - 100 - 200	26	67	[16]
Desechos orgánicos	200	28	-	[17]
Residuos sólidos orgánicos municipales	71 - 89 -107 - 125 - 143	26 - 26,70	-	[18]
Salvado, harina de maíz y agua	500	27	60 – 80	[19]

Nota. En esta tabla se pueden observar las variables de operación de los diferentes antecedentes metodológicos, en donde se presenta una variación de la dieta para la mosca soldado negra *Hermetia Illucens* y la tasa de alimentación utilizada para cada experimento.

Por otra parte, se revisó un estudio sobre los efectos de la alimentación en el desarrollo larvario, donde se destaca la experimentación con un sustrato de desechos alimentarios que emplea la misma tasa de alimentación obteniendo un peso prepupal de 212 +/- 4 mg [17]. También se determinaron resultados interesantes en investigaciones que relacionan el peso prepupal de las larvas con variaciones de pH, se determina entonces en las diferentes experimentaciones realizadas que el peso es significativamente mayor en sustratos con un pH mayor a 6 obteniendo un peso prepupal de 210 mg [19], sin embargo, este organismo tiene una alta tolerancia a diferentes rangos de pH y su tasa de supervivencia no tiende a verse afectado por este parámetro.

Por otro lado, se presentan investigaciones mencionadas en la anterior tabla enfocadas en la evaluación del potencial del compostaje de las larvas mosca soldado negro, para

así, de esta manera realizar un análisis de la calidad del fertilizante orgánico producido en la etapa de biodegradación. Para las diferentes tasas de alimentación se denota que hay un aumento en los niveles de nitrógeno, fósforo y potasio, de igual manera una disminución en la concentración de metales pesados [18]. Esto permite inferir que el proceso de biodegradación implica una biotransformación adecuada para poder obtener una biomasa más rica nutricionalmente, postulándolo como un posible acondicionador de suelos [19].

- **pH**

Otra variable de control dentro del sistema es el pH, este parámetro indica qué tan ácido o que tan alcalino es el medio en el cual se está desarrollando la experimentación. En el proceso de biodegradación con *Hermetia Illucens* es necesario únicamente medir esta variable, pues en estudios experimentales se determina que la condición de pH no afecta directamente la fase de vida de BSF y la tasa de disminución de las mismas corresponde a solamente el 10%, por lo cual las larvas jóvenes y maduras tienen una alta tolerancia a valores extremos de pH en un rango de 0,70 - 13,70 [20].

1.1.8. Acondicionadores de suelo

Un acondicionador de suelos es un producto obtenido como resultado de un proceso de compostaje y maduración, dando como resultado mezcla de material orgánico y vegetal, que tiene como finalidad mejorar las condiciones fisicoquímicas del suelo. En este caso la biomasa larval obtenida a partir del proceso de biodegradación contiene propiedades que la hacen óptima para ser usada como acondicionador de suelos, generalmente su composición está dada mayoritariamente por material orgánico.

1.2. Marco legal

El presente trabajo de investigación se fundamenta principalmente en normativas que contemplan pilares como el manejo y aprovechamiento de residuos, manejo y utilización de acondicionadores de suelo, sistemas de aseo urbano y por último algunas consideraciones de los residuos sólidos urbanos no procesados.

El Decreto 2981 del 2013 define el servicio público de aseo como el servicio de recolección municipal de residuos principalmente sólidos, incluyendo otras áreas como el tratamiento y aprovechamiento. El capítulo VIII es de interés para la investigación pues presenta todo lo relacionado con “la recolección y transporte selectivo de residuos para aprovechamiento, teniendo en cuenta lo establecido en la PGIRS” [21], además de mencionar características generales de algunos residuos sólidos utilizados para realizar estos procesos.

Por otra parte, la Resolución 00150 de 2003 en donde se adopta el reglamento técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelo para Colombia. En el cual se ubican dos objetos, sin embargo, el correspondiente para tener en cuenta a lo largo de la investigación establece “requisitos y procedimientos armonizados con las reglamentaciones internacionales vigentes tanto para el registro como para el control legal y técnico de fertilizantes y acondicionadores de suelo; especialmente en lo relacionado con terminología, clasificación, composición garantizada, etiquetado, tolerancias, contenidos mínimos permisibles y parámetros para la verificación de la conformidad” [22].

2. METODOLOGÍA

Para el proyecto de investigación se lleva a cabo una caracterización física de los residuos utilizados y para la biomasa residual obtenida una caracterización fisicoquímica que permita el cumplimiento de los objetivos anteriormente planteados. Inicialmente se realiza una revisión de la normativa acerca del manejo que se tiene del material orgánico en Colombia, donde se debe tener en cuenta que el sustrato de alimentación utilizado a lo largo de este trabajo fueron residuos orgánicos domésticos, y es por esta razón que se realizó una selección previa de la información que permitió a su vez plantear una metodología adecuada para este tipo de residuos.

En relación con lo anterior, la normativa NTC - 5167 del 2022 donde se establecen los requisitos para *productos de la industria agrícola, productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo* es de vital importancia, pues en este documento se presentan los parámetros que determinan si la biomasa obtenida después del proceso de biodegradación puede ser utilizada como un acondicionador de suelo. Es importante mencionar que la metodología planteada en esta normativa se utilizó para la caracterización física de los residuos orgánicos, esto con el fin de tener un grado de comparación entre el material alimentado y el obtenido al final del proceso realizado.

2.1. Recolección de residuos orgánicos

Para la recolección de residuos orgánicos domésticos se tiene en cuenta la planta de tratamiento de residuos del Mochuelo bajo en la localidad de Ciudad Bolívar - Bogotá. En esta organización se presenta un plan de gestión de residuos por medio de un proceso fermentativo, donde se dividen estos desechos por pilas especificadas según la etapa de la fermentación que se lleva a cabo: mesófilo en (1era, 2da y 3ra etapa), termófilo en (4ta y 5ta etapa) y nuevamente mesófilo en (6ta y 7ma etapa). Además de lo anterior, cuentan con sistemas de aireación forzada para eliminación de olores, ductos de recolección de lixiviados provenientes de la deshidratación y descomposición de los residuos.

Como material de trabajo se seleccionaron los residuos dispuestos en la primera pila de la planta, los cuales cuentan con un tiempo de fermentación aproximado de una semana.

Se pueden encontrar en mayor proporción desechos como: cáscaras de huevo, hojas de maíz, cáscaras de frutas, palos, hojas, cáscaras de papa y en general desechos orgánicos domésticos provenientes de la cocina. Para la recolección se tienen en cuenta los residuos ubicados en la capa superficial de la pila, ya que los desechos que se encuentran en la capa media o interna poseen un alto grado de humedad provocado por la inyección de aire forzado, lo cual aumenta la velocidad de la degradación y a su vez favorece la eliminación de gases contaminantes innatos en el proceso.

Para el proceso de recolección se tienen en cuenta tres momentos claves, el primero corresponde a la recolección inicial de más de 47 kg de residuos para el proceso de cuarteo, estos se disponen sobre una superficie rectangular previamente organizada para cumplir este objetivo. El segundo momento, es la ejecución del proceso de cuarteo para obtener la muestra significativa con la cual se trabaja, se realizan dos ensayos hasta obtener la muestra final como se observa en la **Figura 4**. Por último, es necesario realizar una clasificación y observación detallada de los desechos orgánicos para su proceso de caracterización, logrando determinar así la dieta que tendrá la larva de la mosca soldado negra.

Figura 4.

Segundo proceso de cuarteo realizado para la muestra recolectada in situ



Nota. Proceso de cuarteo en segunda fase con aproximadamente 23,50 kg de todo el material recolectado inicialmente.

2.2. Pretratamiento de los residuos orgánicos

Posterior a la recolección de residuos se realiza un pretratamiento al material orgánico doméstico utilizado en el proceso de biodegradación, con el objetivo de que estos sean adecuados para alimentar a las larvas. Para esto se realizó una reducción del diámetro de partícula y del contenido de agua presente en las muestras que permite aumentar el grado de bioconversión, obtener una mayor cantidad de frass (*biomasa residual obtenida después del proceso de biodegradación constituida principalmente por sustrato no ingerido por las larvas de mosca soldado negra y heces generadas por el organismo consumidor*) y mejorar la eficiencia en el crecimiento larval.

El diámetro de partícula es así mismo un factor determinante en el pretratamiento, pues este es utilizado en las diferentes técnicas como lo son la lombricultura y propiamente la degradación por medio de *Hermetia Illucens*. Para esta etapa se recomienda “el uso de una trituradora o molino de martillos para lograr un diámetro entre 1 a 2 cm, lo cual garantiza un proceso más acelerado que favorece la alimentación de las larvas, ya que las piezas bucales de estas no pueden romper grandes porciones de desechos lo cual se verá reflejado en una menor reducción de los residuos orgánicos” [11].

Para la presente investigación se realiza el procedimiento anteriormente mencionado con ayuda de dos equipos; en primer lugar, un rallador convencional de cocina designado para los desechos con mayor dureza como lo son cáscaras de frutas y tubérculos. En segundo lugar, un procesador de alimentos para los desechos blandos que debido al tiempo de fermentación tenían una textura poco maleable impidiendo utilizar el primer dispositivo como lo eran tomate, cebolla, y residuos lignocelulósicos logrando obtener el diámetro de partícula deseado en un menor tiempo.

Por último, se realiza una intervención en el residuo orgánico para la modificación y control de la humedad que este contiene, pues estos presentan un alto contenido de agua debido a los lixiviados que aparecen conforme avanza el proceso de descomposición de la materia orgánica. Para controlar esto “se debe realizar una deshidratación pasiva (por gravedad) y presión, que corresponde a una reducción del contenido de agua con ayuda de una bolsa de tela (gabardina) que actúa como filtro el cual permite que el lixiviado escurra a través de la tela en un balde debajo” [11]. En la **Figura 5** se observa el método descrito para la reducción del contenido de humedad.

Figura 5.

Método de deshidratación pasiva para residuos



Nota. Método de reducción del contenido de humedad de desechos orgánicos por medio de la deshidratación pasiva (por gravedad). Tomado de: B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen, and C. Zurbrügg, *Black Soldier Fly Biowaste Processing*. 2017

2.3. Características físicas de residuos orgánicos domésticos

2.3.1. Determinación de la humedad

Previo al procedimiento de preparar la muestra y determinar la humedad, se ordena un área totalmente seca y limpia para la disposición de los residuos previamente sometidos al proceso de cuarteo. Éstos deberán pasar a un proceso de molienda o trituración para que tengan el tamaño adecuado de experimentación y se logren homogeneizar.

En primera instancia, se pesa el recipiente vacío en el cual se cuantificará la propiedad de la humedad con la ayuda de una balanza con alto grado de precisión (lo que representa un equipo de cuatro cifras significativas). Posteriormente se pesará en el recipiente una cantidad de muestra de 25 g. Realizado el pesaje, se debe llevar este recipiente a una estufa de secado a una temperatura de 100°C durante 24 horas luego de las cuales se deberá retirar la muestra, y después de ello en un desecador esperar hasta peso constante, para a continuación pesar nuevamente y de esta manera obtener el porcentaje de humedad.

Ec 1. Porcentaje de humedad – Estipulado por la NTC – 5167 [23]

$$\% \text{ Humedad} = \frac{(\text{peso muestra humeda} - \text{peso muestra seca})}{(\text{peso muestra humeda})} * 100$$

Finalmente se debe realizar un proceso de molienda y tamizado a la muestra que posteriormente se debe empacar en recipientes debidamente rotulados para la determinación de los siguientes parámetros.

2.3.2. Determinación del porcentaje de cenizas por el método de pérdidas por volatilización

Para dar inicio al proceso se pesan 5 g del material preparado dispuesto en un crisol de porcelana con ayuda de una balanza analítica que previamente pasó por un calentamiento a 500°C, también se somete a un proceso de secado por una hora logrando así tener el peso real de la porcelana vacía. Posteriormente, se coloca el crisol con la muestra en la mufla y este se deja durante 20 horas aproximadamente a una temperatura de 650°C, transcurrido el tiempo la muestra se debe enfriar y pasar a un desecador. Por último, se realiza el registro del peso final.

Ec 2. Porcentaje de cenizas – Estipulado por la NTC – 5167 [23]

$$\% \text{ Cenizas} = \left(\frac{\text{peso final de la muestra}}{\text{peso inicial de la muestra}} * 100 \right)$$

$$\text{Sólidos volátiles (g)} = \text{Sólidos} \frac{\text{totales}}{\text{secos}} - \text{masa de cenizas}$$

2.3.3. Determinación de pH

Para determinar el pH se pesan aproximadamente 50 g de material preparado colocándolo en un recipiente de plástico, posteriormente se agregan pequeños volúmenes de agua destilada o desmineralizada, luego se agita constantemente con una espátula de madera hasta formar una masa y si es necesario, golpear el recipiente suavemente para asentar la muestra. Se debe adicionar agua hasta alcanzar un punto de equilibrio en donde se refleja un brillo metálico sobre la superficie.

Es necesario calibrar el potenciómetro con soluciones reguladoras de pH 7 y pH 4. Finalmente se introduce el electrodo de vidrio en la pasta saturada y se registra la lectura de la muestra estudiada.

2.3.4. Determinación de la densidad de residuos orgánicos

Para la determinación de la densidad es importante pesar previamente una probeta totalmente seca y limpia en una balanza de precisión, con la ayuda de un embudo se deja caer una cantidad de material preparada que sea suficiente para obtener una lectura aproximada de 30 cm³ y se registra el volumen ocupado por la muestra. Posterior a esto, se determina el peso de la probeta con el material teniendo en cuenta que el proceso se realiza por triplicado y la densidad será el promedio de las tres recolecciones de los datos.

Ec 3. Densidad real – Estipulado por la NTC – 5167 [23]

$$\text{Densidad real (base seca)} = \left(\frac{\text{peso de probeta con material seco} - \text{peso de la probeta vacía}}{\text{volumen ocupado por el material en la probeta}} \right)$$

2.3.5. Determinación de la densidad de lixiviados

Para determinar la densidad de los lixiviados que contienen los residuos orgánicos se utiliza un picnómetro, en primer lugar, se pesa el picnómetro totalmente vacío y seco en una balanza analítica. Luego de esto se utiliza como líquido patrón el agua, llenando por completo el picnómetro sin dejar burbujas en él y pesando este nuevamente, posteriormente se realiza el mismo procedimiento para el líquido de interés que corresponde a los lixiviados. Con la información de las masas de cada sustancia, el volumen del picnómetro y la densidad de la sustancia patrón se determina así la densidad del lixiviado.

2.4. Diseño del reactor

Para llevar a cabo el proceso de biodegradación de residuos orgánicos, es necesario el uso de un biorreactor que permita establecer variables de operación óptimas y continuas que se asemejen a su vez a un “hogar” de crecimiento adecuado para las larvas *Hermetia Illucens*, para que así estas puedan generar el mayor porcentaje de bioconversión

posible del material vegetal y los residuos adicionales de experimentación para que el frass obtenido sea una propuesta viable de recuperación de suelos en términos de su estructura, composición, ajuste de nutrientes y condiciones adicionales.

El equipo es fundamental a lo largo del proceso de experimentación, puesto que en él se utiliza un sistema automatizado de regulación de humedad, temperatura y emisión de gases que facilita a los investigadores tener un seguimiento de control y de observación. Para esto se utiliza un módulo de humedad DHT11 (*dispositivo o sensor digital que mide propiedades como la temperatura y la humedad relativa del ambiente registrando los datos en una base mediante una señal digital con ayuda de un pin de datos*), un termopar para medición de la temperatura (*dispositivo para realizar mediciones de temperatura, compuesto de un par de metales conductores diferentes unidos en un extremo de polos opuestos que facilitan la transmisión de la señal del dato tomado*), y para la calidad de aire un sensor MQ-135 (*sensor que cuenta con una salida analógica y una digital que es utilizado en equipos de control de calidad del aire para realizar detección de gases tales como el metano, amoníaco (NH₃), azufre, benceno CO₂ y otros gases nocivos propios en procesos de biodegradación*).

De igual manera se destaca que el uso de los dos primeros sensores es de mayor importancia para los investigadores pues los mismos facilitan la ejecución del segundo objetivo del presente proyecto a diferencia del último que se toma como un adicional para dar control únicamente, sin embargo, algunos detalles adicionales para contexto del lector se mencionan a lo largo de las diferentes secciones.

2.5. Variables del proceso de biodegradación

En este segmento de la investigación se determinaron las variables de operación adecuadas para el proceso de biodegradación que se realizó con las larvas de la mosca soldado negra *Hermetia Illucens*.

2.5.1. Relación de C/N

Para los residuos frescos utilizados en la presente investigación, se tiene en cuenta un análisis de laboratorio externo que permita caracterizar este parámetro y definir si es necesario modificarlo. En caso de que se deba hacer este procedimiento, es

recomendable trabajar con materiales secos que permitan la regulación del mismo, lo cual beneficiará significativamente los nutrientes de la biomasa obtenida que se estudiará para determinar si su uso es viable como un posible acondicionador de suelos. El laboratorio externo a la Universidad realiza la determinación de este parámetro mediante una relación matemática.

2.5.2. Temperatura - Variable de operación

Se toma la decisión de utilizar un rango de temperatura para corroborar este parámetro e identificar la influencia que el mismo tiene sobre el proceso de biodegradación. El setpoint establecido corresponde a 27°C, en donde se presenta una variación de temperatura entre el rango de 26°C - 28°C como consecuencia de la interacción que tiene el reactor con el medio ambiente al momento de realizar los muestreos de las variables de control.

2.5.3. Humedad - Variable de operación

Se realiza un control y medición del parámetro en cuestión, pues el aumento de este hasta máximo el 80% en los desechos orgánicos utilizados favorece el crecimiento de las larvas BSF, influyendo directamente en el tiempo de madurez de estas.

Por último, se incluye un sensor MQ-135 de control de calidad del aire el cual es usado para detectar contaminantes en el medio ambiente. Este generalmente es implementado en circuitos de control como se evidencia en el biorreactor utilizado para llevar a cabo la experimentación del proceso de biodegradación de residuos orgánicos. Se tiene esta variable en cuenta debido a que el proceso de descomposición que presentan los residuos genera malos olores y gases, tales como el metano (CH₄), dióxido de carbono (CO₂) y estos favorecen en el incremento de gases de efecto invernadero.

2.5.4. Tasa de alimentación - Variable de operación

Teniendo en cuenta la **Tabla 2**, para la experimentación se establece una tasa de alimentación de 550 mg / larva: día, lo que corresponde a un gramo por larva a lo largo del proceso de biodegradación que tiene una duración de 18 días. En continuación de lo anterior, se identificó una masa de sustrato óptima de 600 g por recipiente, teniendo en

cuenta que se utilizaron 12 recipientes de plástico de 17 cm x 21 cm x 7 cm y 500 larvas en cada uno de estos.

2.5.5. pH - Variable de control

Para el procedimiento de medición de este parámetro se limpia con abundante agua destilada el electrodo, para posteriormente calibrar con un blanco de muestra inicial. Se realiza la medición de pH para recipientes de control destinados dentro del reactor para este parámetro únicamente, en donde se tiene en cuenta la tasa de alimentación establecida anteriormente para un recipiente con 150 g de muestra de cada una de las dietas propuestas y un total de 150 larvas. En el caso de los residuos cárnicos se considera la muestra de un recipiente aleatorio.

2.5.6. Humedad del sustrato - Variable de control

Para tener seguimiento de las variables de control del proceso, se realiza una medición de la humedad a lo largo de la biodegradación utilizando el mismo procedimiento mencionado en la sección 2.3.1. Como consecuencia del rápido consumo por parte de las larvas, y con el objetivo de no limitar su fuente de sustrato, se recolectan muestras de 1 g de material de cada uno de los recipientes. Este procedimiento se realiza dos veces por semana durante el proceso de biodegradación, además de lo anterior, se determina el porcentaje de cenizas de los residuos una vez a la semana, con el fin de reportar las pérdidas de volatilización que presenta la materia orgánica en función del tiempo.

2.5.7. Temperatura del sustrato - Variable de control

En el caso de la temperatura se establece una toma de datos para cada uno de los 12 recipientes que se encuentran dentro del reactor para poder definir así su comportamiento a lo largo del tiempo del proceso de biodegradación en función de la dieta a la cual corresponde. Para la medición de esta variable se utiliza un termómetro de alimentos y a su vez, la medición se realiza en puntos diferentes del contenedor tres veces por semana para no tener sesgos en la información e identificar si se tiene uniformidad en toda la mezcla de sustrato.

2.5.8. Crecimiento larvario - Variable de control

Para el proceso de medición del crecimiento larvario se tomaron quince larvas con el fin de tener una muestra del grupo larvario utilizado (3%), las cuales se lavaron con agua para retirar toda la cantidad de material orgánico presente en ellas y que esto no afecte la medición, posterior a esto, con mucho cuidado se secan con toallas de papel y se procede finalmente a realizar la medición del peso, la longitud y el ancho con ayuda de un calibrador de alta precisión, con el apoyo de evidencia fotográfica. Por último, se ingresan nuevamente las larvas al sustrato tal como se indica en estudios experimentales, donde no las sacrifican evitando así la pérdida de larvas durante los procesos de medición [17].

- **Peso larvario**

Uno de los parámetros importantes a determinar durante el crecimiento larvario es el peso que va adquiriendo la larva con en el transcurso del proceso de biodegradación, en este proyecto de investigación se realizó una medición seriada cada tercer día durante quince días aproximadamente hasta que la larva mostrara los primeros indicios de la etapa de prepupa. Para esto, se utilizó una balanza analítica con una precisión de cuatro cifras significativas, logrando así tener gran visibilidad de la diferencia que presenta el peso de las larvas a medida que van creciendo.

- **Longitud y ancho**

Otro parámetro que se considera importante es la longitud y el ancho de la larva. Esta medición se realiza utilizando papel milimetrado en donde se realizó un seguimiento fotográfico registrando la diferencia en el tiempo previsto anteriormente. Después de tener la larva limpia y seca se utiliza el calibrado de alta precisión para tomar estas características de las muestras larvarias de cada uno de los 12 recipientes del experimento.

2.5.9. Diseño de experimentos

Para la investigación y el desarrollo del experimento se establecen cuatro tratamientos de sustratos. El primero corresponde a 100% de residuos orgánicos domésticos o frescos, el segundo corresponde a 100% de residuos cocidos, el tercero corresponde a 100% residuos cárnicos / proteína y finalmente, el último corresponde a una mezcla del

25% de residuos frescos, 66,60% de residuos cocidos y 8,40% de residuos de poda y césped. Con lo anterior, se evalúan como objeto principal de la investigación los residuos orgánicos domésticos de la comunidad del mochuelo y los restantes pueden ser considerados tratamientos adicionales del estudio.

Una vez que se han establecido las diferentes variables de operación y de control es necesario definir variables dependientes e independientes. Teniendo en cuenta esto, se define un diseño de experimentos de diseño factorial en donde se tiene como objetivo principal el estudio del efecto de varios factores sobre una o varias respuestas. Para el caso de la investigación se utiliza un análisis 4¹ (cuatro niveles que hacen referencia a los tratamientos utilizados) en donde se evalúan dos variables principalmente: dieta o sustrato de alimentación (variable independiente) y tallas de las larvas (variable dependiente). Es importante destacar que en la talla se contempla todo lo correspondiente al peso, longitud y ancho de la larva.

Con lo anterior se puede plantear las hipótesis para el diseño experimental 1k:

$$H_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4$$

$$H_i = \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \mu_4$$

Como hipótesis nula se tienen que no hay diferencias entre las medias de los diferentes tratamientos, como hipótesis alternativa se plantea que al menos un par de medias de los tratamientos es significativamente distinto una de la otra.

2.6. Indicadores de biodegradación

- **Tasa de supervivencia**

La medición de la tasa de supervivencia se realiza teniendo en cuenta la cantidad de larvas recolectadas o dispuestas en cada uno de los recipientes y las larvas vivas al final del proceso, mencionando así que todo se llevará a cabo antes de la fase de prepupa de la larva pues no es la etapa de interés del estudio.

Ec 4. % Supervivencia [24]

$$\% \text{ Supervivencia} = \frac{\text{larvas al final del proceso}}{\text{larvas al inicio del proceso}} * 100$$

- **Porcentaje de consumo**

La medición del porcentaje de consumo se realiza tomando el promedio en peso de cada uno de los recipientes al final de los 18 días del proceso de consumo por las larvas con respecto al peso inicial que representaba los 600 g utilizados.

Ec 5. % Consumo [16]

$$\%consumo = \frac{m_i - m_f}{m_i} * 100\%$$

- **Índice de reducción de desechos (WRI)**

El índice de reducción de desechos corresponde al porcentaje de consumo que ha tenido cada uno de los tratamientos en función del tiempo de biodegradación, que para el presente proyecto de investigación corresponde a un total de 18 días.

Ec 6. % WRI (Índice de reducción de desechos) [16]

$$WRI = \frac{(m_{i-seca} - m_{f-seca})}{t} / m_{i-seca} * 100\%$$

2.7. Características fisicoquímicas del acondicionador de suelos

Para la determinación de las características físicas de la biomasa obtenida que puede ser utilizada como un posible acondicionador de suelos, se emplean las mismas técnicas y procedimientos de la sección 2.3, pues como se había mencionado anteriormente se desea realizar un proceso comparativo. Además, se determinan tres parámetros adicionales para un mejor análisis del producto final.

2.7.1. Proceso para la determinación de la capacidad de retención de agua, pH y conductividad eléctrica

Se utilizan 50 g del material preparado obteniendo una pasta de saturación con el proceso descrito en la sección 2.3 específicamente del pH registrando el volumen de agua utilizada.

Ec 7. Capacidad de retención de agua (% saturación) [23]

% Saturación

$$= \left(\frac{\text{volumen en ml de agua utilizada para alcanzar el punto de saturación} * 100}{\text{Peso de la muestra seca (g)}} \right) \left(\frac{100 - \% \text{ Humedad}}{100} \right)$$

Para el pH a determinar se utiliza un potenciómetro que se calibra tomando como valor el registro de lectura cuando se introduce en la pasta de saturación.

En el caso de la conductividad eléctrica se transfiere la pasta a un embudo Buchner o papel filtro cualitativo y se aplica al vacío, después de ello se calibra el conductímetro con soluciones estandarizadas de cloruro de potasio 0,01N y 0,02N. Posteriormente, se mide la conductividad eléctrica en el filtrado, se registran y corrigen las lecturas en base a la temperatura, pero si el conductímetro no dispone de compensación de temperatura, se deberá realizar la correlación a 25°C por medio de las tablas correspondientes.

2.7.2. Análisis químico de laboratorio para acondicionador de suelos

Para determinar las propiedades fisicoquímicas de la biomasa obtenida al final del proceso de biodegradación, se realizó un análisis en laboratorios externos de la universidad que permitan verificar los criterios de aceptación o rechazo presentes en la tercera tabla del documento NTC - 5167 en donde se consignan los parámetros a garantizar para *enmiendas o acondicionadores orgánicos húmicos sólidos* [23].

En la **Tabla 3** se observan los parámetros a garantizar para un acondicionador de suelos con los extractantes y métodos más utilizados, con esto es posible consultar los requisitos específicos planteados en la normativa NTC - 5167 ubicados específicamente en la Tabla 1 de la misma titulada (*enmiendas o acondicionadores húmicos sólidos*), donde se presentan los contenidos límites para cada uno de los parámetros a reportar en las etiquetas de los abonos o fertilizantes orgánicos sólidos [23].

Tabla 3.

Parámetros de aceptación o rechazo para un acondicionador de suelo

Variable	Extractante / Técnica
Carbono orgánico oxidable (COOx)	Sln. Dicromato de potasio / Colorimétrico

<i>Variable</i>	<i>Extractante / Técnica</i>
Solubilidad en Agua (15%)	Directo / Gravimétrico
Sólidos solubles en KOH 4%	Agua o Sln KOH / Gravimétrico
Sólidos insolubles en KOH 4%	Agua o Sln KOH / Gravimétrico
Sólidos precipitados a pH Ácido (pH 2.0)	Sln. Ácida / Gravimétrico
Sólidos solubles a pH Ácido (pH 2.0)	Sln. Ácida / Gravimétrico
Carbono orgánico oxidable soluble en KOH 4% (CEHT)	Sln. Dicromato de potasio / Colorimétrico
Carbono orgánico oxidable precipitado a pH Ácido (pH 2.0) - CAH	Sln. Dicromato de potasio / Colorimétrico
Carbono orgánico oxidable soluble a pH Ácido (pH 2.0) - CAF	Sln. Dicromato de potasio / Colorimétrico
Sólidos solubles en Agua	Agua o Sln KOH / Gravimétrico
Sólidos insolubles en Agua	Agua o Sln KOH / Gravimétrico
Carbono orgánico oxidable soluble en Agua	Sln. Dicromato de potasio / Colorimétrico
Sodio Soluble	Agua / EEA
Potasio Soluble	Agua / EEA

Nota. En esta tabla se pueden observar los parámetros químicos de medición que se estipulan en la reglamentación NTC - 5167 para poder identificar si la biomasa residual obtenida es viable para el uso como una enmienda o acondicionadores orgánicos húmicos sólidos.

3. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Caracterización de los residuos orgánicos domésticos

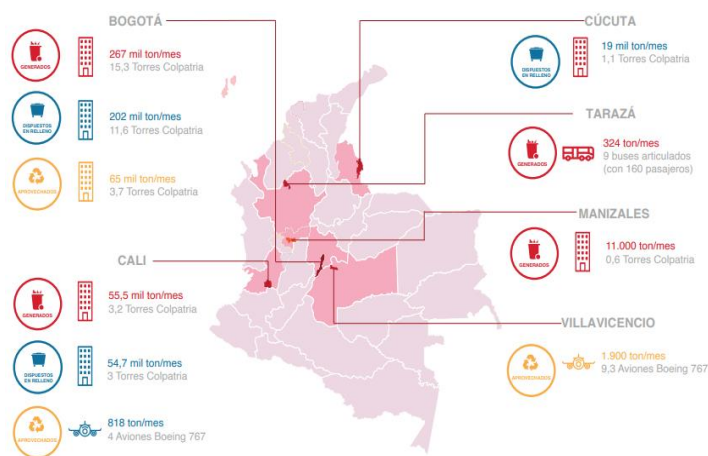
En este capítulo se presenta información relacionada al primer objetivo del proyecto de investigación, que busca identificar las características físicas de los residuos orgánicos domésticos a utilizar en el proceso de biodegradación por medio de *Hermetia Illucens*. Para fines prácticos, se delimita como lugar de recolección la comuna del Mochuelo.

3.1.1. Residuos en Colombia

En la **Figura 6** se presenta información relevante de seis municipios estudiados por parte del DNP en la “*encuesta a municipios sobre gestión de residuos sólidos domiciliarios*”, donde se identificó que Bogotá y Cali son los que mayor cantidad de residuos generados presentan con un acumulado de 267 mil ton/mes y 55,50 mil ton/mes respectivamente.

Figura 6.

Residuos generados, dispuestos y aprovechados en 6 municipios del país



Nota. Visión al detalle de los miles de toneladas / mes generadas por sectores representativos en el país. Tomado de: DNP, “Encuesta a municipios sobre gestión de residuos sólidos domiciliarios 2019 Colombia”. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46988-encuesta-municipios-gestion-residuos-solidos-domiciliarios-2019-colombia>.

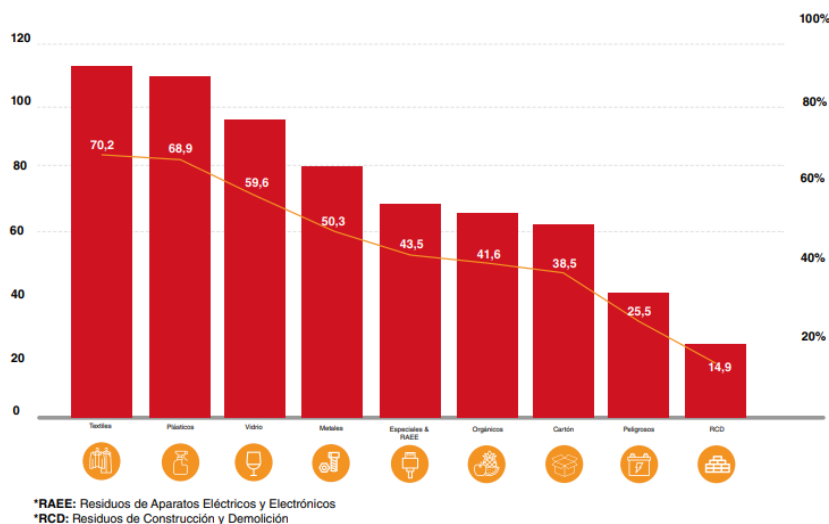
La problemática presente en la mala disposición e inadecuado manejo que se le dan a los residuos sólidos en el país ha evolucionado notoriamente al transcurrir de los años debido a políticas públicas, organización territorial y nuevos planes de contingencia

desarrollados por parte de entidades gubernamentales que logren resarcir este gran desafío. Sin embargo, la cantidad de residuos generados en Colombia aumenta considerablemente con respecto al incremento de la población, teniendo como resultado 12 millones de toneladas de basura al año reportados hasta el 2020 de los cuales se reciclan tan solo el 11% [25].

Por otro lado, tan solo el 41,60% de los municipios seleccionados para el estudio realizan algún tipo de aprovechamiento y/o tratamiento para los residuos orgánicos como se observa en la **Figura 7**.

Figura 7.

Municipios que realizan aprovechamiento y/o tratamiento por tipo de material



Nota. Porcentaje de municipios que realizan aprovechamiento de residuos según la tipología o clasificación de los mismos. Tomado de: DNP, “Encuesta a municipios sobre gestión de residuos sólidos domiciliarios 2019 Colombia”. Bogotá, Colombia. Disponible en: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46988-encuesta-municipios-gestion-residuos-solidos-domiciliarios-2019-colombia>.

3.1.2. Residuos en la ciudad de Bogotá

En la ciudad de Bogotá hay un total de 267 mil ton/mes de residuos sólidos de los cuales 202 mil ton/mes son dispuestos en rellenos sanitarios y tan sólo 65 mil ton/mes son aprovechados, según el Avance del acuerdo 344 del 2008 realizado por la UAESP las localidades que mayor cantidad de residuos orgánicos generan son Usme (61,43%), Ciudad Bolívar (59,79%), Tunjuelito (56,42%) y Puente Aranda (55,58%) con un

consumo de 0,43 kg/hab-día en la capital. Teniendo en cuenta el informe realizado, los estratos socioeconómicos más bajos son los que presentan una mayor contribución a la generación de residuos orgánicos domésticos [27].

La capital cuenta con uno de los rellenos sanitarios más grandes del país que corresponde al relleno sanitario de Doña Juana, al cual ingresan un total de 6800 ton/día de residuos sólidos de los cuales el 51,32% son orgánicos (3490,57 ton/día). Estos residuos presentados en el acuerdo se clasifican en tres grandes grupos que son: residuos de cocina (cítricos - 8,05% y no cítricos - 40,76%), de jardinería (1,43%) y otros (1,08%) [27]. Se presenta entonces una gran problemática en la saturación del relleno sanitario, debido a que la vida útil de estos lugares es variable con respecto al tiempo en función a la cantidad de basura que llega por día.

3.1.3. Residuos en la comuna del Mochuelo

Según la información presentada anteriormente se entiende que una gran parte de los residuos de la ciudad son destinados al relleno sanitario Doña Juana que se encuentra en la localidad de Ciudad Bolívar, es por esto que se han implementado proyectos para el tratamiento de los residuos sólidos en esta comunidad. De acuerdo a esto, entidades como la UAESP apuntan a desarrollar planes de gestión para los desechos orgánicos como el presentado en el convenio entre las organizaciones JAC (Juntas de Acción Comunal) de la comuna del Mochuelo Bajo y la organización de recicladores Sineambore.

Desde la mitad del año 2019 la recolección de residuos orgánicos ha sido limitada a un grupo de familias de esta comunidad con las que se trabaja, de esta manera se utiliza un total de 6 toneladas diarias de material que será tratado mediante un proceso de compostaje [28]. Además de esto, en el proceso implementado para la recolección, se han recuperado aproximadamente unas 400 toneladas que no llegan directamente al relleno sanitario. Desde la constitución completa de esta planta hacia el año 2019 se pretende recibir un total de 15 toneladas semanales, 60 mensuales y en un proceso de trituración/moliendo se lograrían hasta 80 toneladas de procesamiento [29].

3.1.4. Características estudiadas de los residuos orgánicos

En primer lugar, se realiza una revisión bibliográfica de varios autores que permiten identificar parámetros físicos de diferentes residuos orgánicos, estos se presentan en la **Tabla 4**, el objetivo de esta búsqueda era establecer parámetros como lo son la humedad, pH, relación C/N y sólidos volátiles de residuos similares a los propuestos en la presente investigación antes de iniciar el proceso de biodegradación, dentro de ellos se encuentran residuos de frutas, de mercado, vegetales mixtos, orgánicos municipales y hojas de maíz.

Iniciando con residuos de frutas y mercado se presenta un pH de 6,98 y 7,60 respectivamente, es posible observar en la **Tabla 4** que la relación C/N de los residuos de frutas son mayores, esto indica que para este tipo de residuos es necesario considerar un pretratamiento para mejorar este parámetro, recordando a su vez que los valores adecuados para un proceso de biodegradación se encuentran en un intervalo de 10 – 20, escenario diferente a los residuos de mercado que presentan una relación C/N de 14,13. En esta investigación se presenta un enfoque hacia el producto obtenido al final de la biodegradación, para los cuales los contenidos de nitrógeno y potasio, además de las concentraciones de metales pesados se encuentran dentro de los estándares de dicho país [30].

En el caso de residuos cocidos y vegetales mixtos se presentan pH menores comparados con los mencionados anteriormente, además de esto se denota valores de relación C/N bastante altos, en esta investigación se presenta un enfoque dirigido a procesos de fermentación por el método de caja obteniendo como resultados que para residuos cocidos el nitrógeno al final aumenta, y valores de potasio, fosforo y carbono orgánico se encuentran dentro de los rangos permisibles, es así que se concluye que es un proceso viable para poder hacerlo en los hogares [31], lo que implicaría un manejo de los residuos desde los hogares, evitando así la llegada de estos a basureros provocando aglomeraciones y acumulaciones indeseadas.

Para la fracción orgánica de residuos orgánicos municipales se observa que hay una humedad del 55,38%, un pH de 7,04 y una relación C/N de 21,52, en este caso se tendría que considerar un ajuste a la humedad para llevar a cabo un proceso de biodegradación,

este estudio presenta un análisis interesante relacionado con el uso de zeolita para los procesos de biodegradación, esto permite tener una captación de contaminantes de la agricultura, llegando a concluir que el uso de este mineral acelera el proceso de compostaje así como reduce la pérdida de nitrógeno [32].

Tabla 4.

Residuos caracterizados según la necesidad de los investigadores

Residuos	%Humedad	pH	Relación C/N	Sólidos Volátiles	Referencias
Residuos de frutas	-	6,98 +/- 0,14	32,87	-	[30]
Residuos de mercado	-	7,60 +/- 0,04	14,13	-	[30]
Vegetales mixtos	-	5,60 +/- 0,2	49	-	[31]
Residuos cocidos	-	5,40 +/- 0,3	43	-	[31]
Mezcla de fracción orgánica de residuos orgánicos municipales	55,38 +/- 0,31	7,04 +/- 0,03	21,52 +/- 0,7	-	[32]
Basura de vegetales	89 +/- 2,40	5,14 - 5,15	19 +/- 0,3	34 +/- 3,3	[33]
Hojas frescas de vegetales mezcladas con (50%) de hojas de maíz	70	6,02 – 6,08	58	87,7	[34]
Alimentos cocidos	70 – 80	3,80 – 6,50	8,85	-	[35]
Basura verde	7 - 15	5,80 – 6,60	52,40	-	[35]

<i>Residuos</i>	<i>%Humedad</i>	<i>pH</i>	<i>Relación C/N</i>	<i>Sólidos Volátiles</i>	<i>Referencias</i>
Tripas	82,37 +/- 2,38	6,65 +/- 0,3	11,11	-	[36]
Residuos de poda y césped	20 - 40	-	12	-	[37]
Desechos avícolas	42,23 +/- 0,44	8,27 +/- 0,06	12,64 +/- 1,21	-	[38]

Nota. Revisión bibliográfica realizada por los investigadores para la identificación de características de los diferentes sustratos utilizados por diferentes autores.

Para tener una visión más detallada de los residuos trabajados se tiene en cuenta un análisis de los desechos como lo son las basuras de vegetales; en el documento “*Variación de los indicadores clave durante el compostaje de residuos orgánicos sólidos municipales*” se realizó un estudio del proceso de compostaje en la etapa termófila determinando que altos contenidos de humedad conllevan a la producción de lixiviados [33]. Por otro lado, se midió el pH que determina qué tan ácido o alcalino está el medio (residuos orgánicos) con un valor de 5,14 a 5,15 denotando así que este es neutro llegando a la acidificación. Finalmente, se realizaron dos estudios adicionales para determinar la relación carbono/nitrógeno y sólidos volátiles con valores de 19 +/- 0,30 y 34 +/- 3,30 respectivamente.

El estudio realizado para los residuos orgánicos de hojas de maíz del documento “*Compostaje de desechos orgánicos seleccionados de áreas periurbanas de Harare, Zimbabue*” tuvo como finalidad realizar una mezcla de materias primas entre hojas de verduras frescas con pasto u hojas de maíz en diferentes proporciones y así determinar si este era funcional como enmienda y acondicionador de suelos [34]. En la investigación el valor obtenido para la relación de C/N fue de 58, con lo que se puede inferir que hay 58 unidades de carbono por una unidad de nitrógeno y además de lo anterior un 34 +/- 3,30 para el parámetro de sólidos volátiles que denota la cantidad de materia orgánica que queda en un lodo o biosólido, teniendo en cuenta que estos son sustratos

potenciales para el crecimiento de microorganismos y la proliferación de fauna nociva. Por último, se determina igualmente la humedad y el pH con valores de 70% y 6,02 - 6,08 respectivamente.

Para residuos como alimentos cocidos se observa un rango de humedad del 70 – 80, un pH entre 3,80 – 6,60 y una relación C/N de 9,95, en el caso de basura verde se presenta una humedad menor 7 – 15 y una relación C/N, en la investigación de *Co-compostaje de residuos verdes y residuos alimentarios con una baja relación C/N*; allí presentan su experimentación usando una mezcla de estos sustratos obteniendo resultados que indican que para este tratamiento el contenido húmedo óptimo corresponde al 60% [35]. Una guía importante a considerar es la presentada en el RAS 2000 que contempla la relación C/N de diferentes sustratos, así como adiciones a considerar para poder adecuar este parámetro en procesos de biodegradación [37].

Por último, para residuos como tripas (desechos crudos) se reportan valores de humedad de 82,37%, pH de 6,65 y una relación C/N de 11,11, en la investigación presentada en *Co-compostaje en hileras de residuos de tripa natural con estiércol de oveja y hojas secas* en donde se obtiene como resultado que los niveles de las pruebas se encuentran por debajo de los límites especificados en la regulación de EPA, además se determina que los nutrientes y materia orgánica son altos [36], en el caso de desechos avícolas se muestra una humedad de 42,23%, pH de 8,27 y una relación de 12,64 (valores concordantes con la referencia anterior), en esta investigación también se considera el uso de la zeolita concluyendo que tener este mineral en cuenta permite acortar el periodo de maduración del compost [38].

3.1.5. Residuos recolectados para biodegradación

Teniendo en cuenta la recolección de residuos orgánicas presentada previamente en la sección de metodología (sección 2), se destacan y se observan diferentes tipos de residuos como lo son: residuos crudos, de poda y césped, cocidos y frescos.

En la **Tabla 5**, se presentan las características visuales-perceptuales de cada una de las categorías estudiadas durante la experimentación. La caracterización de los residuos se realizó para tener información relacionada con las dietas de alimentación de las larvas,

pues esto permite identificar la influencia que tiene en el proceso de consumo y engorde de las mismas.

Tabla 5.

Características de los residuos recolectados para la alimentación

<i>Tipo de residuo</i>	<i>Características visuales – perceptuales</i>	
Frescos	<ul style="list-style-type: none"> - Residuos cítricos y no cítricos - Residuos lignocelulósicos - Predominancia en cáscaras de huevo, maracuyá, papaya, sandía, piña, tomate, cebolla, plátano, naranja, pimentón - Hojas de mazorca - Tubérculos (Yuca, papa, arracacha) - Verduras 	
Cocidos	<ul style="list-style-type: none"> - Arroz - Plátano - Zanahoria - Remolacha 	<ul style="list-style-type: none"> - Papa - Yuca - Arveja - Frijol
Cárnicos / proteína	<ul style="list-style-type: none"> - Proteína de pollo - Proteína de res - Proteína de cerdo 	
Césped y poda	<ul style="list-style-type: none"> - Hojas secas - Césped fresco 	

Nota. Características visuales – perceptuales identificadas por los investigadores para los residuos recolectados en Ciudad Bolívar.

3.1.6. Determinación de parámetros físicos

Para la determinación de los parámetros físicos de cada una de las dietas establecidas para las larvas en la presente investigación, se tienen en cuenta las técnicas establecidas en la norma NTC - 5167 explicada anteriormente en la metodología. Durante la fase experimental se realizan duplicados y triplicados para la ejecución de las pruebas, logrando así obtener un valor promedio que es presentado junto con la desviación estándar de los datos obtenidos, con el fin de identificar si los mismos se encuentran muy

dispersos o, por el contrario, representan que estos están agrupados cerca de la media evitando varianzas significativas.

En la **Tabla 6**, se presentan los resultados obtenidos en la caracterización física para cada uno de los sustratos utilizados en la presente investigación, en esta se tienen en cuenta como parámetros evaluados la humedad, el pH, las cenizas, las pérdidas por volatilización y la densidad de estos, variables físicas que se encuentran establecidas en la normativa NTC – 5167. En el caso de los residuos de poda y césped se observa que no son considerados el pH y la densidad, los cuales no fueron determinados debido a la consistencia característica de este sustrato.

Tabla 6.

Caracterización física realizada a los sustratos utilizados para la investigación

Variable / Parámetro	Residuos Frescos	Residuos Cocidos	Residuos Cárnicos	Residuos de Poda y Césped
Humedad (%)	78,10 +/- 0,49	71,80 +/- 0,28	52,90 +/- 8,82	60,60 +/- 6,33
pH (Unidades de pH)	5,48 +/- 0,02	6,20 +/- 0,07	6,87 +/- 0,05	-
Cenizas (%)	5,06 +/- 0,78	1,03 +/- 0,06	4,64 +/- 1,51	7,25 +/- 1,14
Pérdidas por volatilización (g)	16,89 +/- 0,78	27,13 +/- 0,06	42,45 +/- 1,51	32,19 +/- 1,14
Densidad (g/cm ³)	0,82 +/- 0,02	1,15 +/- 0,07	0,95 +/- 0,05	-

Nota. Se observa en la tabla la caracterización realizada por parte de los investigadores para cada uno de los sustratos utilizados.

- **Residuos orgánicos domésticos o frescos**

En primer lugar, se tienen en cuenta los residuos relacionados directamente con los objetivos de la investigación, en donde se recolectaron 17 kg de desechos orgánicos

domésticos que se someten a un pretratamiento más riguroso a diferencia de las otras dietas, esto debido a que su diámetro de partícula y contenido inicial de lixiviados es mayor, además, son descartados aquellos residuos con mayor contenido lignocelulósico que pueden ser a su vez un grupo de dieta diferente. Para esta parte de la experimentación se considera entonces un total de 194,94 g para análisis físicos, y 481,50 g que son enviados a un laboratorio externo, donde se realiza una caracterización de material orgánico y un análisis bromatológico.

En la **Figura 8** se puede observar una muestra del empaque y rotulado para los residuos frescos utilizados durante el proceso de biodegradación, estos fueron refrigerados para lograr preservar sus propiedades, además de poder contar con una reserva de este para análisis que se fueran a realizar. En su respectiva etiqueta se consignaba información como la cantidad, la fecha para la cual fue almacenada, el investigador que llevo a cabo este proceso y notas adicionales como lo son los constituyentes de este sustrato y cantidades de cada bolsa, aunque este fue homogeneizado durante el pretratamiento elementos como las hojas de maíz y cascara de frutas fueron difíciles de triturar.

Figura 8.

Empaque y rotulado de residuos frescos utilizados para las dietas de alimentación de la experimentación



Nota. Muestra empleada y rotulada de residuos frescos u orgánicos domésticos.

En la **Tabla 6** se observan los resultados obtenidos para estos residuos, se presenta una humedad del 78,10%, como se mencionaba anteriormente estos desechos se caracterizan por su alto contenido de lixiviados generados por procesos de fermentación

y degradación. Con respecto a la revisión bibliográfica realizada y comparación prevista con los resultados obtenidos por los investigadores, se puede afirmar que la humedad se encuentra en el rango idóneo del 60 a 80% [33], para que este tipo de residuo sea más favorable en la alimentación de la larva lo cual facilitará su consumo.

Continuando con lo anterior, el pH identificado para la muestra arroja un valor de 5,48, el cual nos indica que este sustrato de alimentación para la larva se acerca un poco más a la acidificación propia de los procesos de compostaje. Sin embargo, es importante resaltar que este parámetro no tendrá repercusiones significativas en la fase de vida de las larvas, pues se debe recordar que estos organismos tienen una alta tolerancia a valores extremos de pH.

Estos residuos presentan un valor de cenizas del 5,06%, con esto se puede inferir entonces que estos contienen una fracción inorgánica baja lo que se relaciona a su vez, con las pérdidas de volatilización que tienen un valor de 16,89 lo que representa la masa del sólido total seco que se volatiliza durante el proceso de carbonización. Por último, se determina una densidad de 0,82 g/mL que es de utilidad para identificar la cantidad de masa que podrá utilizarse en cada uno de los recipientes de alimentación dispuestos para las larvas.

Teniendo en cuenta que, para la investigación llevada a cabo el objeto de estudio principal son los residuos orgánicos domésticos recolectados de la comuna del Mochuelo se realizó un análisis más riguroso con ayuda de un laboratorio externo, única y exclusivamente para este tipo de sustrato, esto permite tener un criterio de comparación entre los parámetros antes y después del proceso, así se pueden apreciar los cambios ocurridos en este para obtener valores dentro de los límites establecidos por la normativa. Así pues, los análisis fisicoquímicos rigurosos no son contemplados para los otros tres sustratos adicionales.

En la **Tabla 7 y 8**, además de la caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos, también se puede observar una revisión en la caracterización mineral de composición del residuo que facilitará tener el análisis para la aprobación o rechazo del posible acondicionador de suelos.

Tabla 7.

Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos para residuos frescos u orgánicos domésticos

Variable / Parámetro	Resultado	Técnica	Contenidos límites permisibles NTC - 5167
Humedad (%)	77,10	Gravimétrico	Máx 30
pH (Unidades de pH)	5,83	Potenciométrico	De 4 a 9
Conductividad eléctrica (dS/m)	17,30	Conductimétrico	Solo reportar valor
Retención de humedad (%)	49,90	Gravimétrico	Mín 100
Cenizas (%)	5,21	Gravimétrico	Máx 60
Perdidas por volatilización (%)	17,70	Gravimétrico	Solo reportar valor
Capacidad de intercambio catiónico (meq / 100 g)	15,70	Volumétrico	Mín 30
Densidad real (en base seca) (g/cm ³)	0,48	Gravimétrico	Máx 0,06
Carbono orgánico oxidable total (%)	7,13	Colorimétrico	Mín 15
Relación C/N	17	Relación matemática	Máx 25

Nota. Resultados obtenidos gracias al análisis realizado por parte del laboratorio externo de apoyo para la investigación Agrilab Laboratorio S.A.S junto con los contenidos límites permisibles estipulados por la NTC – 5167 logrando así comparar los mismos. “NTC - 5167 del 2022: Productos para la industria agrícolas. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo”, ICONTEC, Vol. III, Colombia, pp 1 - 61, 2022.

Tabla 8.

Caracterización de la fracción mineral realizada por el laboratorio externo para residuos frescos u orgánicos domésticos

Variable / Parámetro	Resultado	Técnica	Contenidos límites permisibles NTC - 5167
Nitrógeno Total (%)	0,41	-	Mín 1
Nitrógeno Orgánico (%)	0,41	Volumétrico	Mín 1
Fósforo total (%)	0,18	Colorimétrico	Mín 1
Potasio total (%)	0,64	EAA (Espectroscopia de absorción atómica)	Mín 1
Calcio total (%)	2,78	EAA (Espectroscopia de absorción atómica)	-
Magnesio total (%)	0,11	EAA (Espectroscopia de absorción atómica)	-
Azufre total (%)	0,05	Colorimétrico	-
Hierro total (%)	0,10	EAA (Espectroscopia de absorción atómica)	-

Nota. Resultados obtenidos gracias al análisis realizado por parte del laboratorio externo de apoyo para la investigación Agrilab Laboratorio S.A.S junto con los contenidos límites permisibles estipulados por la NTC – 5167 logrando así comparar los mismos. “NTC - 5167 del 2022: Productos para la industria agrícolas. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo”, ICONTEC, Vol. III, Colombia, pp 1 - 61, 2022.

Con respecto a la caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos, se puede evidenciar que los resultados obtenidos antes del proceso de biodegradación se encuentran fuera del contenido límite establecido por la norma NTC - 5167, por lo cual al pasar por el proceso de aceptación o rechazo evidentemente este no podrá ser utilizado como acondicionador de suelos. Vemos una diferencia en la humedad del 64% frente al requerido. Sin embargo, variables como el pH y la relación C/N si se encuentran dentro

de los contenidos límites establecidos, es aquí en donde el proceso de biodegradación por medio de la mosca soldado negro será evaluado, y así poder determinar si este puede modificar parámetros que lo permitan considerar como un acondicionador de suelos viable.

Un acondicionador de suelos debe contener una mezcla mineral orgánica que favorezca las propiedades del suelo, por esta razón, se tiene en cuenta dentro de los parámetros de aceptación o rechazo la fracción mineral como se presenta en la **Tabla 8**. Aquí se observan los resultados obtenidos por parte del laboratorio externo para los residuos orgánicos domésticos, en donde también se puede observar que en los minerales reportados tampoco hay cumplimiento para que este sustrato de alimentación funcione como un acondicionador de suelos.

Con esta información, es posible entonces tener un parámetro de comparación valioso y certero con respecto a los resultados obtenidos al final de la composición. En el presente estudio se enfatiza este análisis únicamente para el sustrato de residuos frescos, pues este está relacionado con los objetivos planteados en la investigación.

Teniendo en cuenta otros autores se realiza una observación y análisis de los minerales o componentes que contienen los residuos orgánicos domésticos antes del proceso de biodegradación, esto con el fin de tener un comparativo frente a los parámetros que no tienen un valor cualitativo en el contenido límite permisible de la normativa técnica colombiana utilizada para llevar a cabo la investigación. En términos generales se realiza la evaluación de los mismos minerales presentes en la **Tabla 8**, pues estos son los determinantes a someter a una evaluación para determinar si existe la favorabilidad en que el sustrato utilizado se convierta en un acondicionador de suelos, sin embargo, la comparación y revisión es detallada en la sección 3.3.

- **Residuos cocidos**

En la **Figura 9** se observan los empaques correspondientes a residuos cocidos en donde se consigna la información mencionada anteriormente dentro de la etiqueta, para este tipo de residuo contaba con un total de cuatro empaques inicialmente. Debido a su

consistencia, presentan mayor facilidad de triturarse durante el pretratamiento y es por esta razón que el aspecto final de este es similar al de una pasta.

Figura 9.

Empaque y rotulado de residuos cocidos utilizados para las dietas de alimentación de la experimentación



Nota. Muestra empleada y rotulada de residuos cocidos.

En la **Tabla 6** se observan los resultados obtenidos para este tipo de residuos, se presenta una humedad del 71,80% que a su vez representa valores dentro del rango apropiado de operación para el consumo y supervivencia de las larvas en este tipo de dieta. Además, en el caso de residuos post consumo se recomienda tener valores de humedad altos, ya que al trabajar con humedades inferiores al 35% se presenta una disminución de temperatura de manera brusca que afecta directamente a la actividad microbiana [39].

Por otra parte, el pH identificado para la muestra tiene un valor de 6,20, el cual nos indica que este sustrato de alimentación para la larva tiene un valor neutro. También, se reporta el valor de la densidad del residuo con un valor de 1,15 g/mL superando notoriamente la de los residuos orgánicos domésticos por su capacidad de compactarse de mejor manera en la probeta donde se realiza la medición evitando los espacios vacíos y por su contenido de agua retenido, teniendo en cuenta que son productos ya procesados y sometidos a diferentes procesos de corte, cocción y consumo por parte de los humanos.

Finalmente, en cuanto a la determinación del porcentaje de cenizas y los sólidos volátiles se obtienen valores de 1,03 % y 27,13 g respectivamente, por lo cual se puede inferir

que para este caso también existe una fracción orgánica baja, y una gran cantidad de los compuestos que forman esta muestra son volátiles perdiéndose en el proceso de carbonización.

- **Residuos cárnicos / proteínas**

Para los residuos cárnicos/proteína se puede observar su empaquetado en la **Figura 10**, para este sustrato se presentan algunos inconvenientes durante la etapa de pretratamiento, esto debido a su consistencia pues fragmentos de la proteína como lo son cueros no podían ser triturados de manera homogénea, por lo cual se utilizaron métodos manuales logrando tener un total de dos empaques almacenados.

Figura 10.

Empaque y rotulado de residuos cárnicos / proteínas utilizadas para las dietas de alimentación de la experimentación



Nota. Muestra empleada y rotulada de residuos cárnicos / proteínas.

Continuando con el análisis, se determinó el porcentaje de cenizas del sustrato, en donde se obtuvo un valor de 4,64% lo cual indica una fracción orgánica inferior, con unas pérdidas por volatilización de 42,45 g. Por último, se presenta una densidad real de 0,95 g/mL comparable con la obtenida en los residuos frescos.

Como tercera fuente de alimentación utilizada en esta investigación se tienen las proteínas animales descritas en la **Tabla 6**, se presenta un pH de 6,87 lo cual indica una

tendencia de este sustrato a ser neutro, esto es consistente con los resultados obtenidos por bibliografía para este tipo de residuos donde se reportan valores de 6,65 aproximadamente [36].

- **Residuos de poda y césped**

Para los residuos de poda y césped se presenta un total de tres empaques almacenados que se pueden observar en la **Figura 11**, con este sustrato se presenta una situación similar a los residuos cárnicos/proteína en donde la trituración por medio de procesadores no fue eficiente, sin embargo, el triturado manual para este se puede llevar a cabo de una manera más eficiente que el sustrato anterior.

Figura 11.

Empaque y rotulado de residuos de poda y césped utilizados para las dietas de alimentación de la experimentación



Nota. Muestra empleada y rotulada de residuos de poda y césped.

El último residuo considerado dentro de esta investigación corresponde a los residuos de poda y césped, debido a las características que tiene, se decide no determinar parámetros como la densidad real y pH. Este tipo de residuos se ven desfavorecidos al no tener una homogeneización total para poder introducir el electrodo adecuadamente y tampoco se puede realizar el llenado adecuado de la probeta obteniendo un valor de densidad certero. En complemento con lo anterior, se reportan datos en la bibliografía como referente de pH dentro del rango de 6,95 - 6,96 y una densidad de 0,07 g/mL para este tipo de residuos [33].

3.1.7. Diferentes sustratos de alimentación de la experimentación

Además de la determinación de los parámetros físicos del residuo principal de la investigación que corresponde a residuos orgánicos domésticos, se desean utilizar tres sustratos de alimentación adicionales diferentes; residuos cocidos, residuos crudos y una mezcla que se tiene en cuenta a lo largo de la experimentación, en el diseño de experimentos y a la hora de realizar la caracterización física de todos estos tratamientos. Para esto se establecen entonces diferentes sustratos que se pueden observar en la **Tabla 9** y el porcentaje de cada una de estas dietas, teniendo en cuenta que para esta investigación se establece una alimentación inicial a las larvas de 600 g por cada recipiente.

Tabla 9.

Porcentaje de residuos destinados para cada uno de los tratamientos de alimentación de BSFL en el proceso de biodegradación

Tratamientos de alimentación de la experimentación				
	Dieta 1	Dieta 2	Dieta 3	Dieta 4
Residuos frescos	100%	0%	0%	25%
Residuos cocidos	0%	100%	0%	66,60%
Residuos cárnicos / proteína	0%	0%	100%	0%
Residuos de poda / césped	0%	0%	0%	8,40%

Nota. Distribución en porcentaje de los sustratos utilizados para cada uno de los tratamientos o dietas.

3.2. Variables de operación en el proceso de biodegradación

3.2.1. Diseño del reactor

Para el diseño del reactor se tiene en cuenta una nevera de icopor de 125 litros, con unas dimensiones externas de 80 cm x 55 cm x 55 cm considerando la tapa, sin embargo, para realizar las modificaciones que permitan utilizarlo como biorreactor se deben tener en cuenta las dimensiones internas 68 cm x 45 cm x 45 cm considerando el espesor del material.

Se particiona el equipo en una recámara de aireación de 25 cm donde es instalado todo lo relacionado con el sistema de control de operaciones **Figura 12**. Como se mencionó previamente en la sección 2.4 se utiliza un sistema automatizado de regulación de humedad, temperatura y calidad del aire que facilita a los investigadores tener un seguimiento riguroso de control además de observación. Para esto, se utiliza un módulo de humedad DHT11, un termopar tipo K, y para la calidad de aire un sensor MQ-135, esto para determinar la emisión de gases generados propios de un proceso de biodegradación.

Figura 12.

Recámara de aireación dentro del reactor



Nota. Se puede observar en la imagen la recámara interna del reactor en donde se tiene el sistema electrónico automatizado para el control y seguimiento de variables en la experimentación.

La segunda recámara en donde se lleva a cabo el proceso biológico de la experimentación considera 38 cm de profundidad dentro del reactor en donde se realiza una separación de ambos espacios con ayuda de una división del mismo material que tiene un espesor de 5 cm de grosor. En la investigación se tienen en cuenta duplicados de las dietas de alimentación establecidas en la sección 3.1.7, por lo cual se diseña una estructura de madera de 38 cm de largo y 42 cm de ancho que pueda soportar un total de 12 recipientes distribuidos en 4 pisos. En la **Figura 13** se observa una vista frontal de

la recámara de biodegradación con la estructura y, además, se puede apreciar también la división entre cada parte interna del reactor.

Figura 13.

Recámara de biodegradación del reactor



Nota. Se puede observar en la imagen la recámara interna del reactor en donde se lleva a cabo el proceso de biodegradación junto con el soporte de los hogares de las larvas.

3.2.2. Control de variables de operación desde la cámara de control

Como se menciona en la sección anterior, se establece un Setpoint para cada una de las variables de operación que corresponden a la temperatura, humedad y calidad del aire. Para poder tener seguimiento y monitoreo de estas variables se considera un controlador que está conectado a una red de navegación permitiendo así el almacenamiento de datos en un banco llamado phpMyAdmin de donde se pueden obtener resultados cada 10 minutos.

La recámara de control se conforma principalmente de tres secciones: sección de aireación, sección de calefacción y sección de humidificación. Para cada uno de estos parámetros se utiliza un tipo de sensor diferente como se menciona en la sección anterior. Teniendo en cuenta que uno de los parámetros secundarios de seguimiento dentro del reactor es la aireación, se dispone de un sensor de circuito de accionamiento simple de calidad de aire MQ135 que al detectar una cantidad superior de CO₂ por

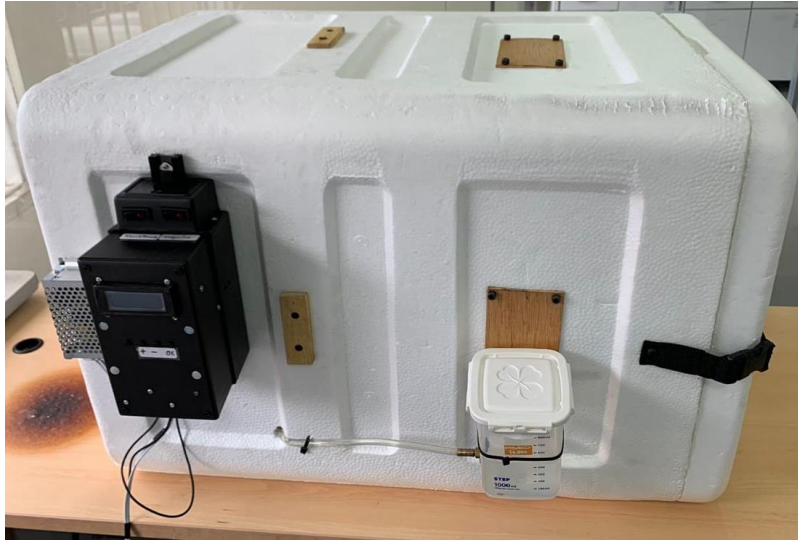
encima de las 150 ppm (Setpoint estipulado conjuntamente para la investigación) indican al dampner (ventiladores) superior e inferior dar apertura al flujo de aire, para que la recámara disminuya los gases emitidos por el proceso de biodegradación. Además de lo anterior, con este sensor se puede detectar o medir NH₃, NO_x, alcohol, benceno, smog o humo que pueden repercutir en la salud humana si se pensara escalar el proceso. Este sensor tiene una calibración inicial mediante un software de programación en donde se toma como muestra la calidad del aire inicial o ambiente dentro de la recamara de control, para posterior a ello cuando empieza el proceso de biodegradación el mismo con el setpoint mencionado previamente realice la operación deseada.

Para el sistema de humidificación y calefacción se cuenta con dampners que facilitan la regulación del parámetro según el indicador arrojado por la cámara de control, para tener un seguimiento de las condiciones se conecta estos sensores a una conexión inalámbrica por medio de un módulo SP822661 el cual registra los valores cada diez minutos, esto permite evidenciar en la investigación el comportamiento de estos a lo largo del proceso, en consecuencia a la cantidad de datos que son en total 144 para cada uno de los parámetros se establece el promedio por cada día.

En la **Figura 14** se observa el sistema automatizado instalado en el reactor en la parte externa del biorreactor, en este se puede ver al detalle lo que es el controlador y la fuente de agua utilizada por el humidificador adecuado para esto. La sección del sistema automatizado interno del biorreactor puede ser observado en la **Figura 12**.

Figura 14.

Biorreactor dispuesto para la experimentación



Nota. Se puede observar en la imagen el biorreactor en su parte externa utilizado para la experimentación de la investigación.

3.2.3. Recipientes utilizados para cada sustrato

Para la experimentación se utilizan 12 recipientes cada uno de 17 cm x 21 cm x 7 cm ideales para la estructura de madera construida como sistema de soporte para llevar a cabo el proceso de biodegradación. Además, se emplea un recipiente de control adicional por piso únicamente para tres tipos de tratamiento (frescos, cocidos y mixtos) de 11,5 cm x 8 cm con el fin de no disminuir la cantidad de sustrato de alimentación de las larvas en los recipientes principales y con este poder obtener suficientes muestras de sustrato para realizar el seguimiento del parámetro de pH.

Cada uno de estos recipientes contaba con 150 larvas y 250 g de sustrato de alimentación replicando el proceso de biodegradación llevado a cabo en los contenedores principales. En la **Figura 15**, se puede observar cada uno de los tratamientos dispuestos, con la presencia de las larvas el primer día de experimentación.

Figura 15.

Recipientes dispuestos con cada una de las dietas de alimentación



Nota. En la figura se pueden observar los sustratos de alimentación utilizados para la experimentación junto con las 500 larvas dispuestas el primer día de experimentación.

En la **Figura 16** se puede apreciar la disposición de los recipientes utilizados para cada tratamiento con su respectiva replica, estos se organizan en la estructura de madera diseñada para el biorreactor, se organiza el tratamiento de residuos frescos, cocidos, cárnicos/proteína y mixtos en el primer, segundo, tercer y cuarto piso respectivamente.

Figura 16.

Recipientes dispuestos en la estructura de soporte



Nota. Se utilizaron doce recipientes para la inserción de dietas de alimentación, cada uno rotulado respectivamente con el número de contenedor y tipo de residuo empleado.

Para cada uno de los recipientes se realiza una modificación en la parte superior de la tapa, con el fin de mantener el control de las larvas y que las mismas no escapen. Se adapta una tela que inicialmente es gabardina, esto se contempla con el fin del intercambio de aire entre el equipo y cada uno de los contenedores sea el adecuado para favorecer el proceso de descomposición de los residuos. Durante el transcurso de la experimentación y el progresivo crecimiento de las larvas esta tela se reemplaza por una tela tipo tul que tiene mayor diámetro de abertura pues las larvas al poseer mayor tamaño necesitaran de más oxigenación para no tener una tasa alta de mortalidad dentro de los recipientes con sustratos en degradación.

En la **Figura 17** se presenta el montaje final de la estructura de madera con los recipientes, dentro del biorreactor, con esta estructuración se llevó a cabo el proceso de biodegradación durante 18 días, se adecuan también cinturones en cada lateral del biorreactor para que la tapa de este, se encuentre totalmente asegurada a lo largo del proceso.

Figura 17.

Montaje de estructura y recipientes dentro del reactor



Nota. Se puede observar en la imagen el montaje completo de la estructura junto con los “hogares” de las larvas dentro del reactor dispuesto para la biodegradación.

3.2.4. Resultados obtenidos para las dietas establecidas

Para la fase experimental se tiene en cuenta el análisis por cada una de las dietas establecidas en la sección 3.1.7, de esta manera se tiene un seguimiento de las variables de control que corresponden a temperatura, humedad y pH del sustrato. Así mismo, se considera el crecimiento larvario en cada réplica por medio de la medición de peso, longitud y ancho, al final de la experimentación se procede con el conteo de las larvas vivas para poder establecer la tasa de supervivencia en donde se utiliza la *Ec 4*.

Para el análisis larval se establece una periodicidad de toma de muestras durante tres días a la semana, con el fin de no incurrir en errores estadísticos se establece una muestra del 3% de larvas en cada recipiente, lo que corresponde a un seguimiento de 15 larvas. Por otro lado, para el seguimiento de variables se considera un recipiente control adicional de donde se tendrá información relacionada al pH y de esta manera no afectar con el sustrato ingresado al inicio de la fase experimental, para los análisis de temperatura y humedad se considera cada uno de los recipientes principales de la experimentación.

- **Residuos frescos**

Como se ha mencionado anteriormente, los residuos frescos que corresponden a residuos orgánicos domésticos recolectados en la localidad del mochuelo, están ampliamente relacionados con los objetivos de la investigación, más específicamente en su viabilidad para poder ser utilizados como un posible acondicionador de suelos después de los días recomendados para llevar a cabo del proceso de biodegradación. Es por esta razón que el frass obtenido de esta dieta cuenta con un análisis más riguroso de sus parámetros fisicoquímicos realizados en laboratorios externos a la universidad, permitiendo así a los investigadores determinar si los parámetros obtenidos son comparables con los de la norma técnica colombiana NTC - 5167 y concluir finalmente el tercer objetivo de la investigación.

En la **Tabla 10** se presenta la información cualitativa obtenida durante los días de experimentación en los cuales se realiza seguimiento riguroso tanto a las variables de

control como al crecimiento larvario, así pues, se reportan y precisan algunas observaciones de importancia en cada uno de estos días.

Tabla 10.

Variables de control y crecimiento larvario cualitativos para residuos frescos u orgánicos domésticos

Día de experimentación	Variables de control	Crecimiento larvario
3	Durante este día se realiza seguimiento de la temperatura, humedad y pH, aunque se establece un Setpoint de 27°C para el ambiente dentro del reactor, se observa que el sustrato tiene un rango de 24°C - 27°C de temperatura interna. Se tiene una humedad consistente con la ingresada el primer día de la experimentación.	Se puede observar una aceptación por parte de las larvas a este sustrato, ya que estas se encuentran en constante movimiento dentro de los recipientes, visualmente es difícil denotar su crecimiento, pero con los valores reportados en la balanza se puede identificar que hay larvas que han presentado mayor peso.
5	Para este día se tienen seguimiento a las variables mencionadas, pero además se consideran las cenizas para cada réplica. Se presenta un aumento de la temperatura interna del sustrato que se da en un rango de 29°C - 29,50°C. La humedad es comparable con la obtenida al inicio de la fase experimental.	Para este momento en la fase de experimental es posible observar un gran aumento de peso en las larvas, este tipo de residuo tiene una gran aceptación por parte de las larvas, por otro lado, estas buscan mantenerse en el interior del recipiente, una vez que son extraídas para considerar su análisis se denota una inactividad inmediata.
9	En este día se considera el muestreo de temperatura, humedad y pH. Se observa que la temperatura del sustrato está en un rango de 22°C - 24°C, se relaciona la disminución de temperatura a la humedad que perdió el sustrato ya que, al realizar la inspección de los recipientes, es muy notoria la deshidratación que ha experimentado cada una de las dietas.	Además de lo anterior se tiene en cuenta el seguimiento del crecimiento larvario, se observa el crecimiento exponencial que ha tenido cada una de las muestras extraídas en las réplicas, se puede representar esto en la reducción de sustrato en comparación con el ingresada el primer día.
10	No se realiza seguimiento en variables de control.	Para el décimo día de experimentación se toma la

Día de experimentación	Variables de control	Crecimiento larvario
12	<p>Para el doceavo día de experimentación en variables de control tenemos una temperatura constante que se mantiene con respecto al noveno día. Se tiene un rango de temperatura entonces de 23,10°C - 23,70°C. En cuanto a la humedad del sustrato se ha evidenciado una disminución considerable en la capa superficial de la dieta, sin embargo, en el medio y fondo del recipiente se observa un contenido de agua considerable.</p>	<p>medición nuevamente de pesos y tallas de las larvas, en donde se puede evidenciar un incremento significativo en las tres características. A su vez, la masa del sustrato ha disminuido considerablemente teniendo en cuenta que la alimentación de los organismos vivos es mayor al pasar de los días.</p> <p>El consumo por parte de las larvas en este tipo de residuo ha incrementado evidenciándose en el peso del recipiente, pues el sustrato ha tenido una disminución de aproximadamente 48,50 gramos por recipiente. Para este día de experimentación hay una leve variación en la tonalidad del cuerpo de los organismos.</p>
15	<p>En este día de experimentación se puede observar en el residuo de interés una disminución significativa en la humedad del 31% aproximadamente que se puede apreciar a simple vista. Por otra parte, la temperatura se encuentra en un rango que oscila desde 23,40°C - 23,80°C que es una temperatura que no favorece el consumo de las larvas, pero es importante tener en cuenta que esto hace referencia a la temperatura del sustrato y no la del ambiente dentro de las recamaras dentro del reactor. La temperatura para este día de toma de muestras ha disminuido considerablemente con respecto al día inicial de experimentación, el valor mínimo que se encuentra entre los tres recipientes es de 22,20°C que es</p>	<p>En el crecimiento larvario se puede evidenciar, casi llegando a los últimos días de biodegradación que el peso de las larvas disminuye muy poco, pero la talla (longitud y ancho) si aumenta con respecto a los tres recipientes. Se sabe que el consumo puede ser ralentizado por la disminución evidenciada en la humedad de esta dieta.</p>

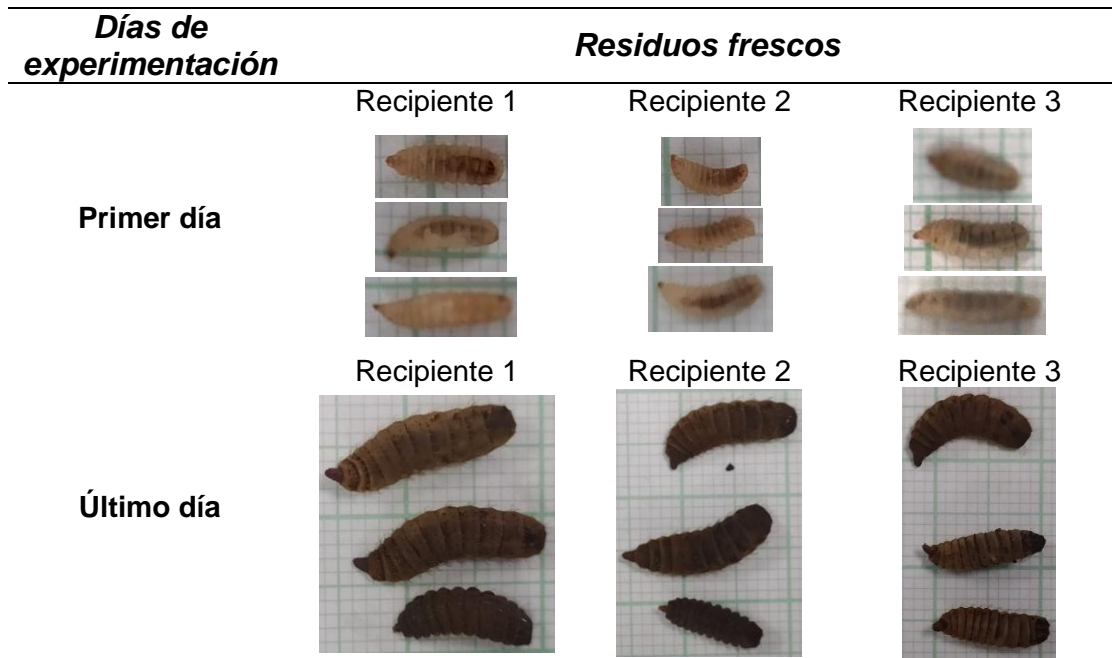
<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
17	considerablemente bajo con respecto al del Setpoint. La humedad tiene un promedio del 51,81% lo que hace a los investigadores considerar la hidratación cuando la dieta esté muy seca, representando humedades por debajo del 50%. Por otra parte, el pH ha tenido un incremento exponencial como se puede apreciar en la figura lo que representa que el medio ha incrementado su alcalinidad y disminuido su acidez, esto por la fase primaria del proceso de descomposición de los compuestos de naturaleza ácida y a la mineralización de compuestos nitrogenados dando paso a la formación de amoníaco, actuando también en el proceso de amonificación como un importante sumidero de protones.	Acercándose aún más a culminar el proceso de biodegradación, las larvas presentan un estado estacionario teniendo en cuenta dos factores muy importantes para su proceso de consumo: temperatura y humedad. Se puede evidenciar que las larvas tienen cierta inactividad en cuanto a movimiento en el sustrato, pero en términos generales si hay un crecimiento porcentual en ciertos recipientes de este tipo de dieta.

Nota. Seguimiento de las variables de control y crecimiento larvario para el primer tratamiento.

En la **Figura 18** se pueden evidenciar los cambios representativos que tuvieron las larvas en el proceso de consumo con este tipo de dieta. Después del tiempo estipulado para llevar a cabo el proceso de biodegradación se identifica un cambio en el peso, talla y longitud de las larvas, al igual que en las secciones que componen a este organismo vivo, pues estas empiezan a tener vellosidades, cambian su tonalidad y aumentan su tamaño.

Figura 18.

Evidencia fotográfica del crecimiento larvario en la dieta uno (residuos frescos)



Nota. Seguimiento fotográfico del crecimiento larvario para el primer tratamiento.

- **Residuos cocidos**

La segunda dieta establecida para el proceso de biodegradación son residuos cocidos que presentaron en términos generales disminución significativa en el porcentaje de humedad, la textura del material y la disminución notoria de la masa del sustrato lo que se puede ver reflejado en el incremento del tamaño de la masa larval. Sin embargo, también se logró identificar una tasa de mortalidad alta en las larvas teniendo en cuenta la pérdida de humedad en el sustrato notoria al final de la experimentación.

En la **Tabla 11** se presenta la información cualitativa obtenida durante los días de experimentación en los cuales se realiza seguimiento riguroso tanto a las variables de control como al crecimiento larvario para las larvas del tratamiento con residuos cocidos.

Tabla 11.*Variables de control y crecimiento larvario cualitativos para residuos cocidos*

<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
3	<p>Durante este día se realiza seguimiento de la temperatura, humedad y pH, aunque se establece un Setpoint de 27°C para el ambiente dentro del reactor, se observa que el sustrato tiene un rango de 24°C - 27°C de temperatura interna. Por otra parte, se tiene una disminución de la humedad aproximada del % y un pH de muestra neutro iniciando con valores cercanos a la alcalinidad.</p>	<p>Se puede observar por parte de las larvas una grata aceptación del sustrato, ya que estas se encuentran en constante movimiento dentro de los recipientes, además, profundizando en el recipiente y revolviendo un poco el sustrato se les ve muy activas, además se evidencia el crecimiento y el aumento de peso que han tenido con tan solo haber tenido tres días de consumo.</p>
5	<p>Para este día se realiza seguimiento a las variables de control estipuladas para el experimento, pero además se consideran las cenizas para cada réplica. Se puede apreciar que hay un incremento significativo en la temperatura de los recipientes que oscila desde los 28,70°C hasta los 29,90°C. La humedad obtenida para este tipo de sustrato es comparable con la que se encuentra el primer día de experimentación con una disminución mínima en su valor.</p>	<p>Se destaca en este día de experimentación un aumento significativo en la talla y peso de las larvas, pues la aceptación que se ha tenido por este tipo de sustrato fue inesperada, pero bastante satisfactorio, teniendo en cuenta la actividad y voracidad con la que se incrementa el consumo.</p>
9	<p>Para el noveno día de experimentación se considera nuevamente el muestreo de temperatura, humedad y pH. Se observa que la temperatura disminuye con respecto a los anteriores días, comprendiendo valores desde 22°C - 24,60°C, se relaciona la disminución de temperatura a la humedad que perdió el sustrato ya que, al realizar la inspección de los recipientes, es muy notorio la deshidratación que ha experimentado cada una de las dietas y más, teniendo en cuenta</p>	<p>Para este día de experimentación se sigue teniendo éxito rotundo en el consumo excesivo que tienen las larvas, pues la misma humedad perdida se ha relacionado con el incremento de las tallas y el peso. Es importante destacar la longitud y el ancho de las mismas que es visible en el movimiento que tienen dentro del sustrato.</p>

<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
	que son sustratos previamente cocidos.	
10	No se realiza seguimiento en variables de control	Para el día diez de experimentación se realiza la caracterización de la muestra estudio del experimento y se puede notar que tanto talla y peso han aumentado, pero no más del tanto %, pues el crecimiento se ha ralentizado un poco por disminución en la cantidad de sustrato y por el engorde rápido que han tenido los organismos vivos.
12	Para el doceavo día de experimentación se tiene una disminución significativa en la humedad del recipiente y las réplicas de esta dieta. Para este momento se tiene un porcentaje de humedad promedio del 44% por lo que se debe adicionar agua supliendo la pérdida de humedad en cada uno de los recipientes. Por otra parte, la temperatura oscila desde los 21,70°C - 23,60°C variando su valor del Setpoint impuesto dentro del reactor.	En cuanto al crecimiento larvario, se evidencia nuevamente una alimentación exponencial de las larvas y la actividad frecuente que tienen las mismas dentro del recipiente, lo que afirma una vez más a los investigadores la aceptación de los organismos por este residuo.
15	Próximos a la finalización del proceso de biodegradación se puede evidenciar visualmente y con el seguimiento de los parámetros, que este tipo de sustrato tiene una humedad reducida por lo cual se propone una hidratación de los residuos. En cuanto a la temperatura del sustrato esta se mantiene constante con respecto a los resultados obtenidos en el día 12 de experimentación, un comportamiento similar sucede con el pH.	En el caso de crecimiento larval se realiza el proceso de medición, en donde se presenta u
17	Para este día de experimentación se tiene una humedad promedio	En el caso del crecimiento larvario se tiene en cuenta la

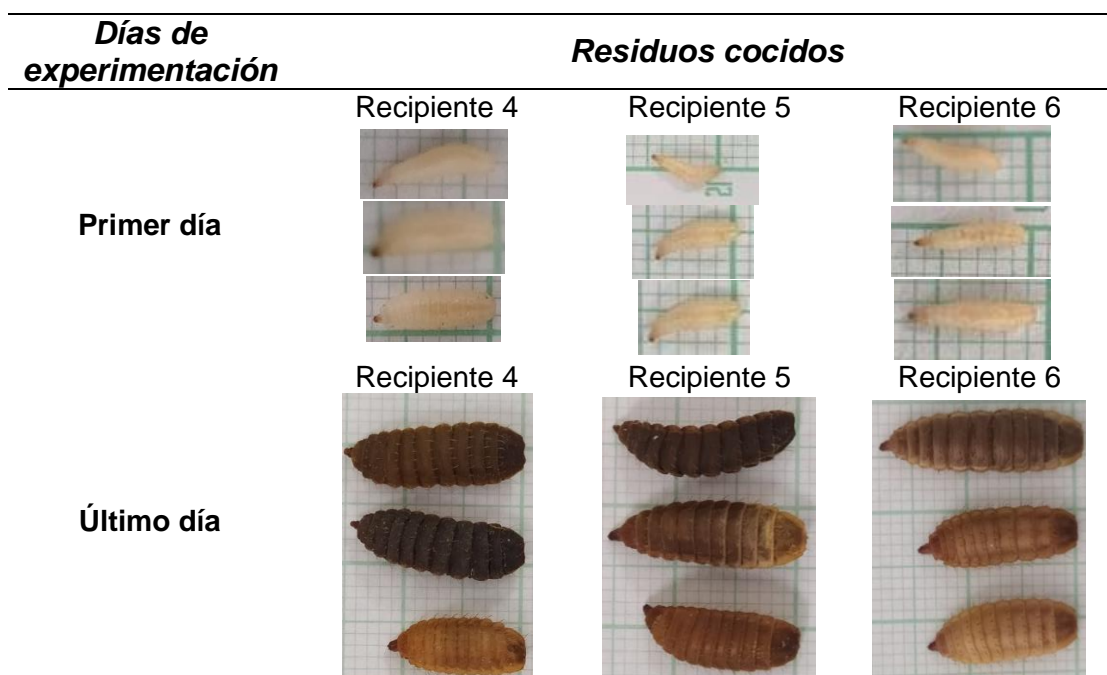
Día de experimentación	Variables de control	Crecimiento larvario
	de 17,35% lo que indica que el sustrato está bastante seco y se debe regular con agua para que las larvas sigan consumiendo si aún se encuentran en su etapa de engorde. La temperatura tiene un comportamiento	medición de peso, longitud y ancho para la muestra estadística, y de esta manera tener en cuenta la tasa de crecimiento en función de cada uno de los parámetros.

Nota. Seguimiento de las variables de control y crecimiento larvario para el segundo tratamiento.

Con la **Figura 19** se pueden identificar notoriamente los cambios que presentaron las larvas en su tonalidad, su talla, peso y longitud. Hay una gran aceptación de las larvas por este tipo de dieta consumiéndolo casi por completo, retirando bastante la humedad del alimento, llegando a sus últimos estadios de vida como larva antes de convertirse en mosca.

Figura 19.

Evidencia fotográfica del crecimiento larval en la dieta dos (residuos cocidos)



Nota. Seguimiento fotográfico del crecimiento larvario para el segundo tratamiento.

- **Residuos cárnicos / proteína**

Otro de los residuos considerados en el proceso de experimentación como se ha mencionado previamente son los residuos cárnicos o de proteína. A lo largo del proceso de biodegradación se evidencia poca disminución de material, alto contenido de grasa, baja humedad, poca aceptación de las larvas hacia el consumo del material.

En la **Tabla 12** se presenta la información cualitativa obtenida durante los días de experimentación en los cuales se realiza seguimiento riguroso tanto a las variables de control como al crecimiento larvario para las larvas del tratamiento con residuos cárnicos/proteína.

Tabla 12.

Variables de control y crecimiento larvario cualitativos para residuos cárnicos / proteína

<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
3	Para el tercer día de experimentación se tiene un porcentaje de humedad promedio de 45,25 lo que representa una variable no óptima para el desarrollo larvario. La temperatura de los recipientes oscila entre 23,20°C - 24°C que se encuentra por debajo del Setpoint estipulado en el reactor. Como último parámetro se tiene un pH neutro en su totalidad que no afectará en gran medida el proceso de biodegradación.	En comparación con el resto de las dietas se evidencia un crecimiento mínimo frente al presentado en el primer día de experimentación, esto pues el sustrato no ha sido de total agrado para las larvas teniendo en cuenta el alto contenido de grasa que posee.
5	La temperatura del sustrato en el quinto día de experimentación incrementó significativamente acercándose al Setpoint estipulado del reactor, lo que garantiza en cuanto a este parámetro un valor adecuado para el crecimiento; sin embargo, la humedad continúa siendo un parámetro vital para el desarrollo del proceso de biodegradación y este sigue sin cumplirse a cabalidad como se debería. Además de ello se determina el porcentaje de cenizas	En el crecimiento larvario se ve un incremento del peso larvario, sin embargo, si se analiza frente a las otras dietas y a las figuras presentadas para estas, se puede evidenciar que no hay mayor afinidad de las larvas por este sustrato y las mismas parecen estas inactivas dentro de los recipientes.

<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
	que da un valor promedio de 4,81%.	
9	<p>La humedad en el transcurso de la experimentación sigue siendo un parámetro incumplible que no se puede contrarrestar con la adición de agua pues existe inmiscibilidad entre ambas fases líquidas en caso de que se deseara realizar este procedimiento. La temperatura ha disminuido considerablemente con respecto al quinto día de experimentación en donde se presenta una disminución promedio de 4°C aproximadamente en los tres recipientes de esta dieta. En cuanto al pH, se puede evidenciar que este se encuentra en la neutralidad y no representa una variable que afecte el proceso de biodegradación.</p>	<p>El crecimiento larvario tuvo un comportamiento inesperado, pues sí se evidencia un aumento en el peso y la talla de las mismas, pero el comportamiento frente a las demás dietas se ve ralentizado por la poca afinidad que tienen los organismos consumidores por el sustrato de alimentación.</p>
10	No se realiza seguimiento en variables de control	<p>Para el décimo día de experimentación, se evidencia un aumento en la caracterización (longitud, ancho y peso) realizada a la muestra representativa de larvas, pero el incremento no representa un consumo de sustrato significativo pues las larvas parecen seguir muy inactivas en el proceso de alimentación.</p>
12	<p>Para el doceavo día de experimentación el sustrato ha perdido considerablemente cantidad de grasa, lo que puede notarse en las imágenes anexas al documento. Sin embargo, el contenido de humedad de los recipientes no ha variado con respecto a los valores iniciales obtenidos para este tipo de sustrato. La temperatura de la dieta se encuentra en un rango de 22,90°C y 23,60°C observando así, que la misma tampoco cumple</p>	<p>El consumo de las larvas ha aumentado teniendo en cuenta que la masa del sustrato ha disminuido aproximadamente 23,30 gramos en promedio de los tres recipientes de este tipo de dieta desde el día 10 de experimentación. Sin embargo, se puede observar que la disminución de la masa del sustrato no es significativa comparándola con los otros tipos de dieta.</p>

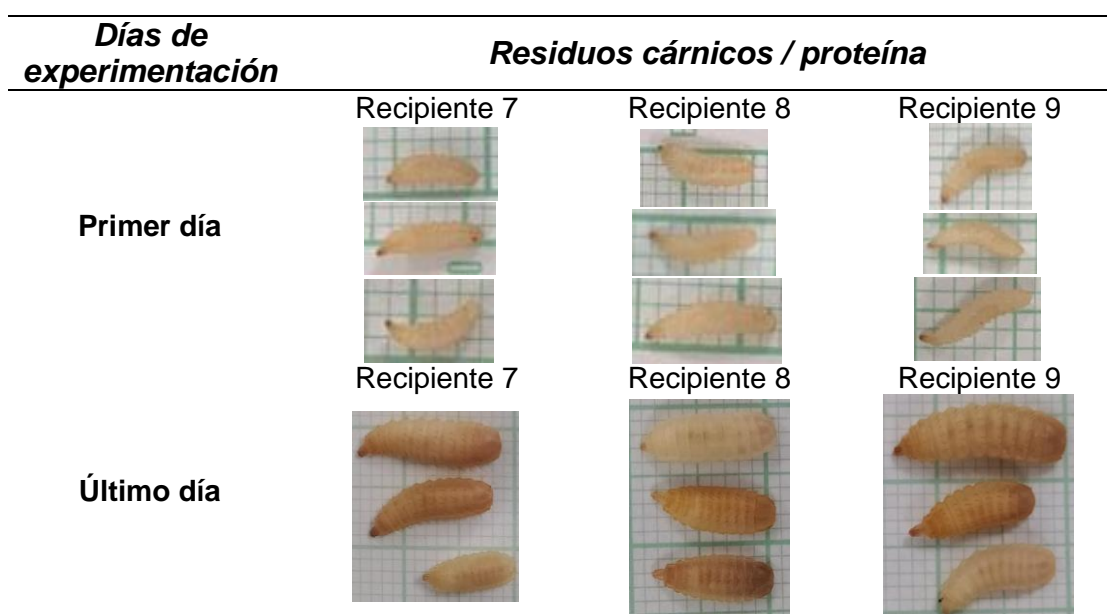
<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
	con valores idóneos para el proceso de biodegradación.	
15	Para este día de experimentación los residuos cárnicos tienen un comportamiento similar al último día de medición, en donde el sustrato cuenta con una cantidad de grasa que durante el tiempo de biodegradación esta salificándose, en cuanto a la temperatura sigue manteniéndose en un promedio de 22,04°C.	En el caso del crecimiento larvario este presenta un comportamiento similar a los otros tratamientos en donde después del día diez de experimentación tienden a reducir sus tallas de crecimiento.
17	En el último día de experimentación se realiza la medición de los variables de control estipuladas a lo largo del proceso, con esto es posible determinar la condición final del sustrato.	Para el crecimiento larvario se realiza una medición final de las larvas dentro de cada uno de los recipientes, se presenta un comportamiento de decrecimiento en cada uno de los parámetros de crecimiento planteados, recordando que este sustrato es el que menor consumo presenta.

Nota. Seguimiento de las variables de control y crecimiento larvario para el tercer tratamiento.

En la **Figura 20** se puede observar el crecimiento larval de las larvas en el tratamiento de residuos cárnicos/proteína para los cuales, aunque se presenta un aumento de su tamaño con respecto al primer día de experimentación, este no es comparable con los resultados obtenidos en los tratamientos adiciones, además se observa una coloración similar a la del primer día de experimentación indicando que estas no están cerca de llegar a su etapa de pupa.

Figura 20.

Evidencia fotográfica del crecimiento larval en la dieta tres (residuos cárnicos / proteína)



Nota. Seguimiento fotográfico del crecimiento larvario para el tercer tratamiento.

- **Residuos mixtos**

Finalmente, para la última dieta de alimentación en donde se utiliza una mezcla de diferentes tipos de residuos se puede evidenciar una disminución considerable de la humedad, una gran afinidad de las larvas por el sustrato que se puede evidenciar en el aumento de talla de las mismas y un cambio en la textura y acoplamiento de la mezcla. En la **Tabla 13** se presenta la descripción de las variables de control y crecimiento larval cualitativo para las larvas y sustrato presentes en el tratamiento de residuos mixtos.

Tabla 13.

Variables de control y crecimiento larvario cualitativos para residuos mixtos

Día de experimentación	Variables de control	Crecimiento larvario
3	Para el día tres de experimentación se tiene un valor de humedad del 58,62 % promedio de los tres recipientes en donde se considera este tipo de dieta. Se puede identificar que este se encuentra por debajo del valor apto para el proceso, sin embargo, no	Se puede observar una aceptación por parte de las larvas a este sustrato, ya que estas se encuentran en constante movimiento dentro de los recipientes, visualmente es difícil denotar su crecimiento, pero con los valores reportados

<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
5	<p>es un valor alarmante que imposibilite la biodegradación. La temperatura registrada para este tipo de dieta oscila desde los 23°C - 25,50°C que se encuentra debajo del setpoint estipulado, sin embargo, está dentro del rango de operación.</p> <p>Para este día se tiene seguimiento a las variables mencionadas previamente, pero además se consideran las cenizas para cada réplica que da una visión sobre las pérdidas por volatilización del material mezclado. Se presenta un aumento significativo de la temperatura interna del sustrato que se da en un rango de 28,80°C - 31,30°C. Con respecto a las demás dietas, se puede identificar que esta supera el setpoint estipulado para el funcionamiento del reactor. La humedad es comparable con la obtenida al inicio de la fase experimental, pues no hay mucha variación en esta</p>	<p>en la balanza se puede identificar que hay larvas que han presentado aumento en la talla y el peso.</p> <p>Para este momento en la fase de experimental es posible observar un gran aumento de peso en las larvas, este tipo de residuo tiene una gran aceptación por parte de las larvas, por otro lado, estas buscan mantenerse en el interior del recipiente, una vez que son extraídas para considerar su análisis se denota una inactividad inmediata por el lavado y el cambio brusco de temperatura.</p>
9	<p>Para el noveno día de experimentación, se cuenta con temperaturas que oscilan en el rango de 24,10°C - 25,50°C convenientes para el proceso de biodegradación. Por otra parte, la mezcla puede verse un poco más seca en la parte superior, sin embargo, internamente puede apreciarse la humedad del sustrato que en promedio nos arroja un valor de</p>	<p>Continuando con lo anterior, se tiene en cuenta el seguimiento del crecimiento larvario. En este se observa un crecimiento exponencial que ha tenido cada una de las muestras extraídas en las réplicas, se puede representar esto en la reducción de sustrato en comparación con el que fue ingresado el primer día de experimentación.</p>
10	<p>No se realiza seguimiento en variables de control</p>	<p>Se tiene un comportamiento bastante favorable para el crecimiento larvario en este día de experimentación, no esperado, pero la mezcla de tres tipos de residuos favoreció el consumo de las larvas a una</p>

<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
		gran velocidad. Las larvas toman una coloración marrón un poco oscura a diferencia del color amarillo hueso que tenían al principio del proceso de biodegradación.
12	<p>Para el doceavo día de experimentación se considera la realización del porcentaje de cenizas en donde se considera que el material que menor pérdida por volatilización tiene es el residuo de proteína o dieta cruda. En cuanto a valores de humedad se tiene un promedio del 55,02% que no es el adecuado planteado para la experimentación, sin embargo, está entre los rangos de operación encontrados teóricamente e impuestos en el reactor. Por otra parte, la temperatura ha disminuido considerablemente al pasar de los días, teniendo en cuenta que hay menos sustrato disponible y está oscila entre 20,10°C - 23,40°C. Otra de las variables adicionales que se tienen en cuenta es el potencial de hidrógeno o más conocido como pH en donde se obtiene un valor de 8,75 acercándose a la alcalinidad, pero es una variable que no afecta directamente la descomposición del sustrato utilizado.</p>	<p>En el crecimiento larvario se puede apreciar un comportamiento bastante particular, pues un porcentaje de la masa larval se encuentra en estado próximo de pupa, esto considerando su tamaño y su coloración muy marrón. Cuando los organismos vivos, llegan a esta etapa en los próximos días terminan su proceso de consumo listos para pasar a otro estadio en donde se tendrán las condiciones óptimas de crecimiento para llegar a su estado final de mosca.</p>
15	<p>Para este día de experimentación se presenta un comportamiento constante en cada una de las variables de control consideradas, esto puede deberse a que las larvas ya han logrado su etapa de adaptación dentro de las condiciones tanto ambientales como del sustrato.</p>	<p>En el caso del crecimiento larvario se tiene en cuenta la muestra estadística, a los cuales se les mide peso, longitud y ancho como en el caso de mucho de los tratamientos estos inician un proceso de decrecimiento relacionado a la pérdida de humedad y escasez de sustrato dentro de los recipientes.</p>
17	<p>En el último día de seguimiento se realiza el proceso de variables de control notando que estos continúan con el comportamiento</p>	<p>Para el crecimiento larvario se realiza la medición de peso, longitud y ancho que permite así poder determinar la tasa de</p>

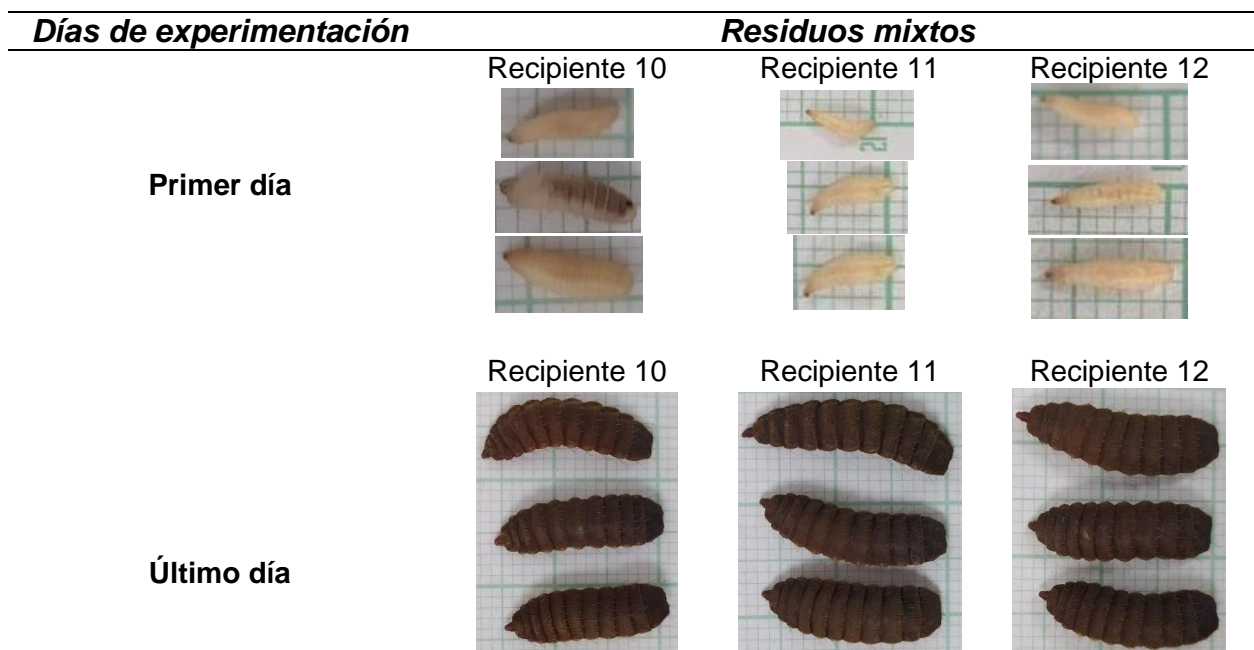
<i>Día de experimentación</i>	<i>Variables de control</i>	<i>Crecimiento larvario</i>
	de las últimas tres fechas de medición es decir a pesar de que llegan a un punto de equilibrio, esta no se mantiene constante para poder así un proceso más eficiente.	crecimiento y entender cuál fue la tendencia de estos parámetros a lo largo del proceso.

Nota. Seguimiento de las variables de control y crecimiento larvario para el cuarto tratamiento.

En la **Figura 21** se presenta el crecimiento larval en el tratamiento de residuos mixtos, en dónde se observa un crecimiento considerable de estas con respecto al primer día de experimentación, además de esto las larvas presentan la coloración más oscura lo cual indica que están próximas a llegar a su etapa de pupa.

Figura 21.

Evidencia fotográfica del crecimiento larval en la dieta cuatro (residuos mixtos)



Nota. Seguimiento fotográfico del crecimiento larvario para el cuarto tratamiento.

Las larvas de la mosca soldado negra tienen una aceptación demasiado evidente al final del proceso de biodegradación como se puede apreciar en la imagen anterior, esto,

teniendo en cuenta la etapa inicial y la etapa de culminación del consumo, en donde se evidencia un aumento en su peso aproximadamente del 16,37% en promedio entre los tres recipientes. Su ancho y longitud junto con el cambio de coloración que presentan y esto nos indica que próximamente entrarían en estadios de transición al ciclo de vida de mosca y no como larva.

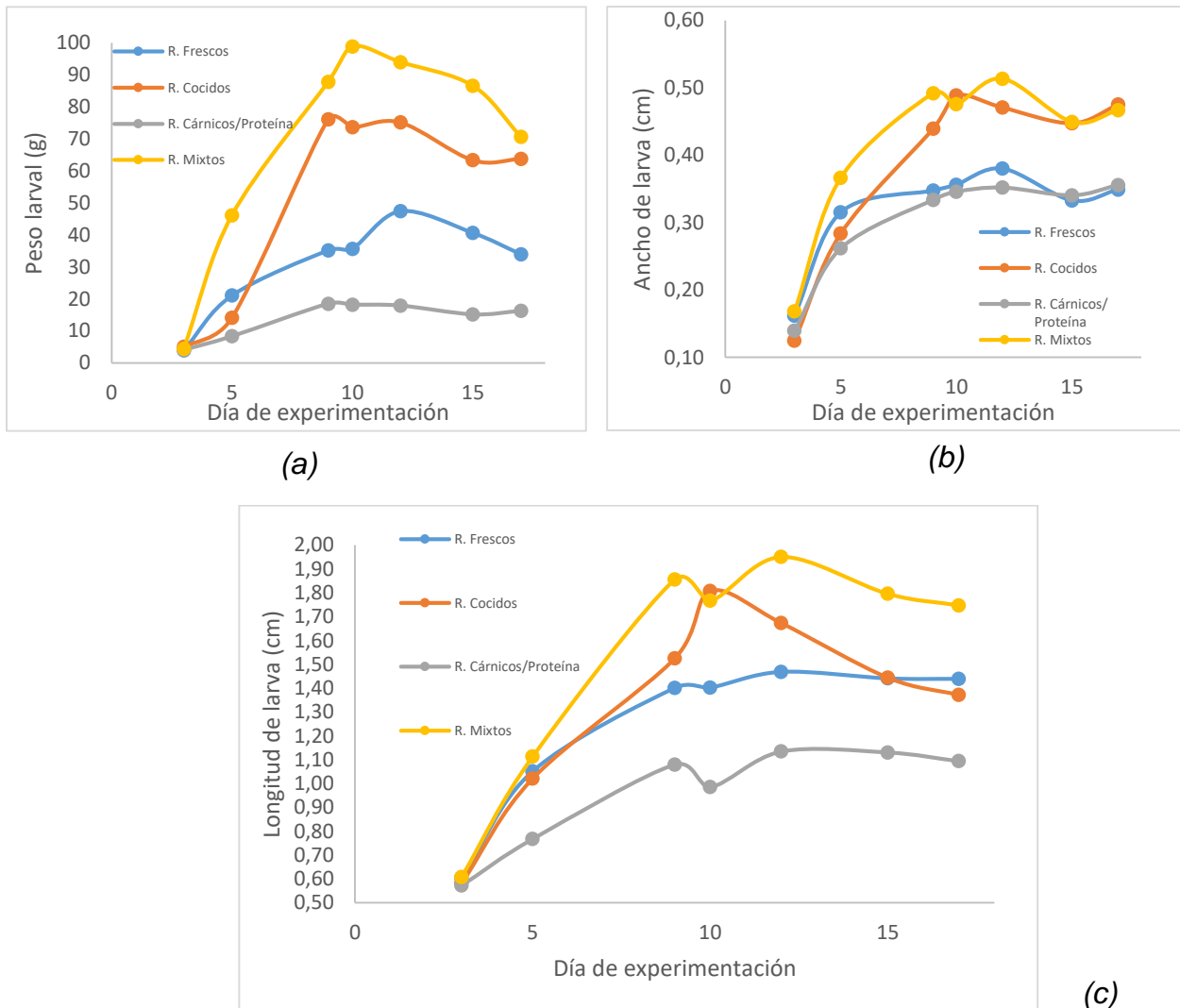
Una vez que ha finalizado la parte experimental, se procede a realizar el análisis de datos obtenidos durante la etapa de biodegradación, en cuanto al seguimiento del crecimiento larval se genera un reporte de la tasa de crecimiento que están presentando las larvas durante la biodegradación.

En la **Figura 22** se observa el comportamiento adoptado por estos organismos a lo largo del proceso en términos de su peso, ancho y longitud, en la **Figura 22(a)** se tiene el peso larval por cada uno de los tratamientos evidenciando que la dieta que mayor aceptación presento corresponde a residuos mixtos seguido de cocidos, frescos y por último cárnicos / proteína.

Sin embargo, se presenta un comportamiento particular en donde hay un crecimiento exponencial en peso larval hasta el día doceavo de experimentación, en donde se presenta simultáneamente un movimiento constante de las larvas dentro de los recipientes, este es punto de inflexión dentro del proceso de biodegradación debido a que después de este se presenta una disminución del peso larval; lo cual puede relacionarse al cambio de humedad dentro del sustrato a lo largo del proceso y al gran consumo de las larvas.

Figura 22.

Crecimiento larvario por tratamiento de experimento



Nota. Cambio del peso larval (a), ancho de la larva (b) y longitud de la larva (c) durante el proceso de biodegradación.

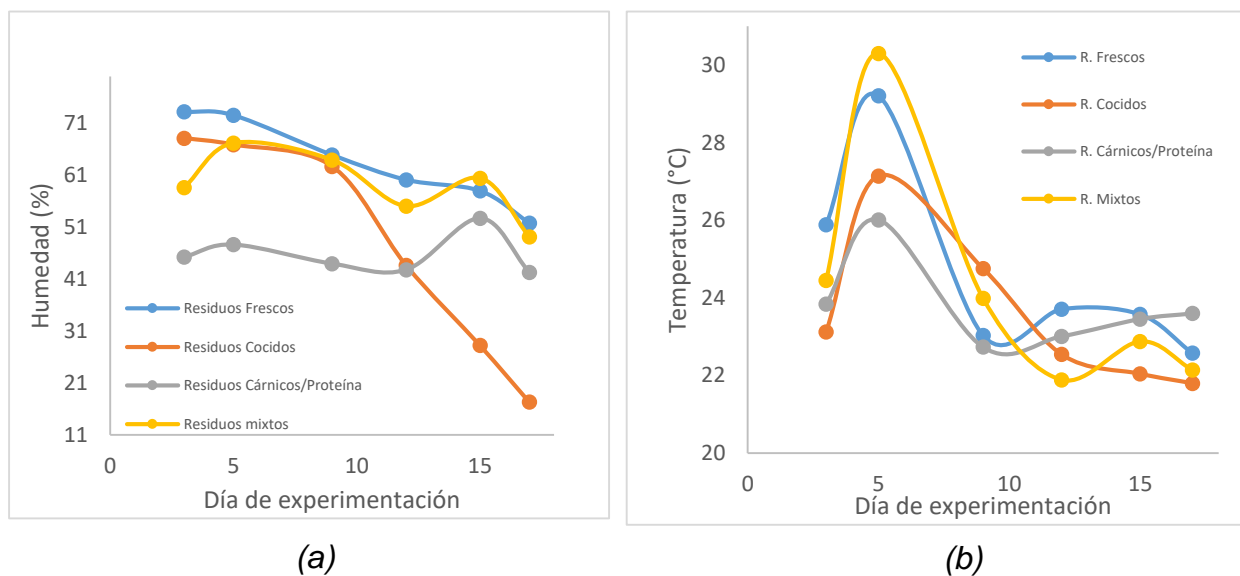
Además de esto, se presenta la **Figura 22(b)** con el ancho de la larva durante el proceso de biodegradación, se puede apreciar que hay un comportamiento exponencial durante los primeros nueve días de experimentación para luego iniciar una etapa de estabilización, con este parámetro de crecimiento también se destaca el tratamiento número cuatro que corresponde a residuos frescos, sin embargo, es posible observar una comparación con el tratamiento tres de residuos cocidos que durante día 10 de experimentación logra superar momentáneamente al tratamiento mixto.

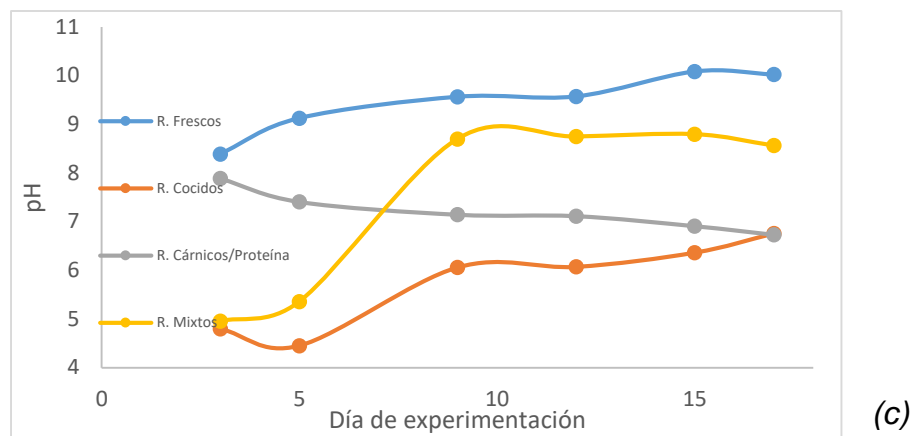
Por último, se evidencia en la **Figura 22(c)** la longitud de la larva durante la experimentación en donde se presenta un comportamiento similar al de peso larval, se observa un crecimiento exponencial hasta el día diez de experimentación para luego tomar una tendencia constante, sin embargo, es evidente la disminución de longitud acercándose a la parte final de la experimentación, nuevamente se puede relacionar este comportamiento con la ausencia de humedad lo cual genera que las larvas se retraigan disminuyendo su longitud y además de esto se presenta poca actividad dentro de los recipientes.

Se presenta el análisis para las variables de control dentro del proceso para el sustrato que corresponden a la humedad, temperatura y pH obteniendo los resultados presentados en la **Figura 23** donde se evidencia el comportamiento para estos parámetros.

Figura 23.

Variables de control por tratamiento de experimentación





Nota. Cambio de la humedad (a), temperatura (b) y pH (c) durante el proceso de biodegradación.

En la **Figura 23(a)** se observa el cambio de humedad a lo largo de proceso que, en este caso, se reduce para cada uno de los tratamientos, sin embargo, el sustrato que mayor impacto presenta en este aspecto corresponde a los residuos cocidos que para el último día de medición es de 17,36%, con respecto a las otras dietas, aunque se presenta el mismo fenómeno su contenido de humedad es mayor con respecto al de los residuos cocidos.

También se evidencia en la **Figura 23(b)** el comportamiento de la temperatura del sustrato durante el proceso de biodegradación, para cada uno de los tratamientos se alcanza la máxima temperatura durante el día cinco de experimentación, la dieta que mayor temperatura alcanza corresponde a los residuos frescos con un valor de 30,30°C, el sustrato que menor temperatura alcanza durante este día es el de cárnicos con 26,01°C. Después de este pico de temperatura se genera una caída significativa en la temperatura en donde se genera un comportamiento constante para el restante tiempo de experimentación.

Por último, se presenta la **Figura 23(c)** la tendencia del pH para el proceso de experimentación en el caso de los tratamientos de frescos, cocidos y mixtos se presenta un aumento de este con respecto al tiempo, es decir que a medida que el proceso de biodegradación ocurre estos presentan la tendencia de alcalinizarse, este comportamiento es más notorio para las dietas de mixtos y cocidos recordando entonces que la composición del tratamiento mixto se caracteriza por estar mayormente compuesto por cocidos. En el caso de los residuos cárnicos / proteína se presenta un

comportamiento contrario es decir que se acidifica obteniendo un valor de pH final en medición de 6,73.

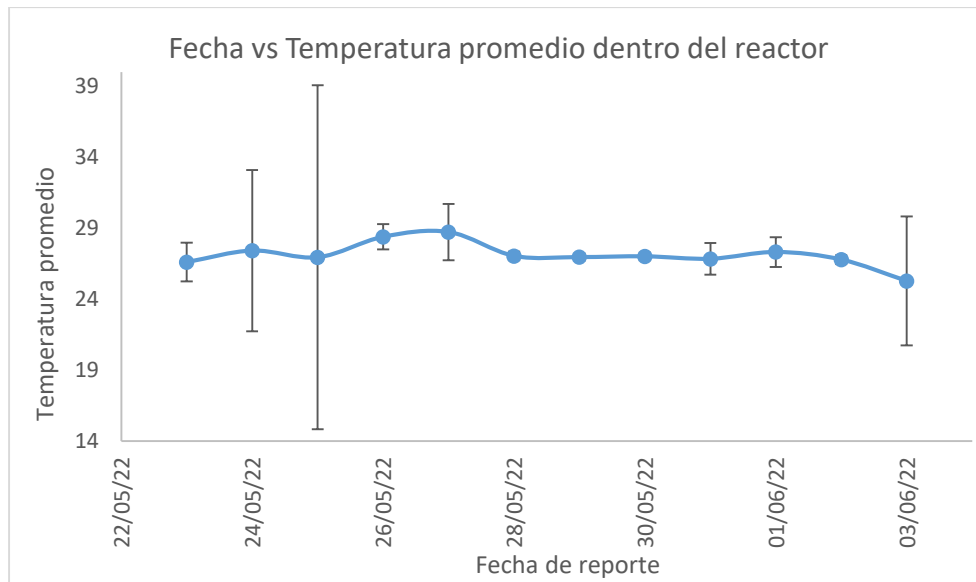
3.2.5. Comportamiento de las condiciones dentro del reactor a lo largo del tiempo

Otro de los parámetros que se tienen en consideración para las condiciones óptimas de crecimiento y alimentación para la larva de BSFL son las condiciones internas del reactor, más específicamente en la recámara de control del proceso de biodegradación. Como se ha mencionado previamente, el control se realizó desde la recámara de control en donde se tienen en cuenta todos los sensores especificados en la sección 3.2.2. Con esto, se logran obtener las diferentes figuras de temperatura, humedad y generación de gases propios del proceso de biodegradación con respecto al tiempo.

En la **Figura 24** se puede evidenciar que hay una oscilación notoria a lo largo del proceso de biodegradación, más específicamente en la temperatura ambiente que fluye dentro del reactor. Uno de los principales inconvenientes que se presentaron para el seguimiento de esta variable, fue el buen funcionamiento de los dámpers instalados para facilitar el intercambio de aire y además de ello se pudo presentar un daño en el termopar para medición de la temperatura, pues era perceptible a la hora de revisar y realizar seguimiento al sustrato de cada recipiente que estos no tenían una temperatura cálida / templada que favorecía a su vez el crecimiento larval lo cual puede evidenciarse a su vez en la desviación o dispersión que presentan los datos.

Figura 24.

Cambio de la temperatura dentro del reactor con respecto al tiempo



Nota. Comportamiento de la temperatura dentro del biorreactor durante el proceso de biodegradación.

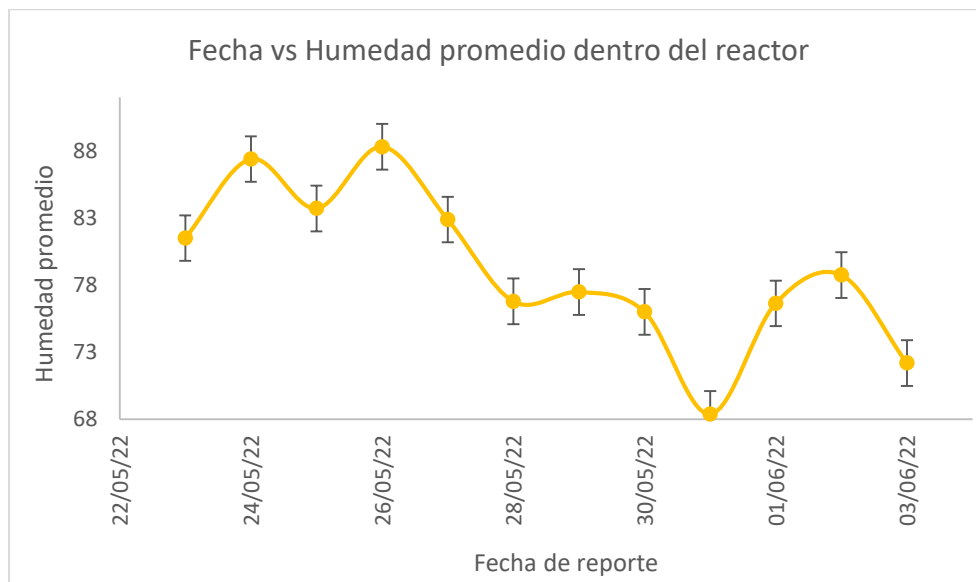
En adición de lo anterior, otro de los factores que afecta significativamente el seguimiento a la temperatura interna del reactor es la apertura frecuente que se le da al mismo para poder sacar el soporte de madera en donde reposan los hogares de las larvas, pues esta operación era necesaria para dar seguimiento a las variables de control y de crecimiento larvario mencionadas previamente, como resultado se presenta la gran desviación durante la fecha del 25 de Mayo como se observa en la **Figura 24**, como resultado se presentaron temperaturas inferiores a los 24°C. Es así que se implementa un control más riguroso al momento de retirar los recipientes para el seguimiento de crecimiento de control y crecimiento larval, de esta manera se garantizó que el setpoint permaneciera más estable, como se observa en los días siguientes de la experimentación, es por ello que hay gran dispersión en las medias de los datos teniendo en cuenta que el soporte tenía que tener mayor espacio entre cada piso o que los recipientes tuvieran una menor altura evitando sacar toda la estructura para poder sacar con mayor facilidad los recipientes “hogares” del reactor sin retirar toda la estructura.

Por otra parte, la humedad promedio del aire circundante dentro del equipo tiene un comportamiento similar a la temperatura, durante el proceso de biodegradación se

presentan picos característicos de incremento que alcanzan hasta un 88,32% y de decrecimiento del 68,39% este comportamiento lo podemos observar en la **Figura 25**. Aunque este parámetro tiene un rango amplio de variación, es necesario garantizar su comportamiento dentro de ciertos rangos y así tener un desarrollo idóneo de condiciones para que las larvas continúen con su proceso de engorde.

Figura 25.

Cambio de la humedad dentro del reactor con respecto al tiempo



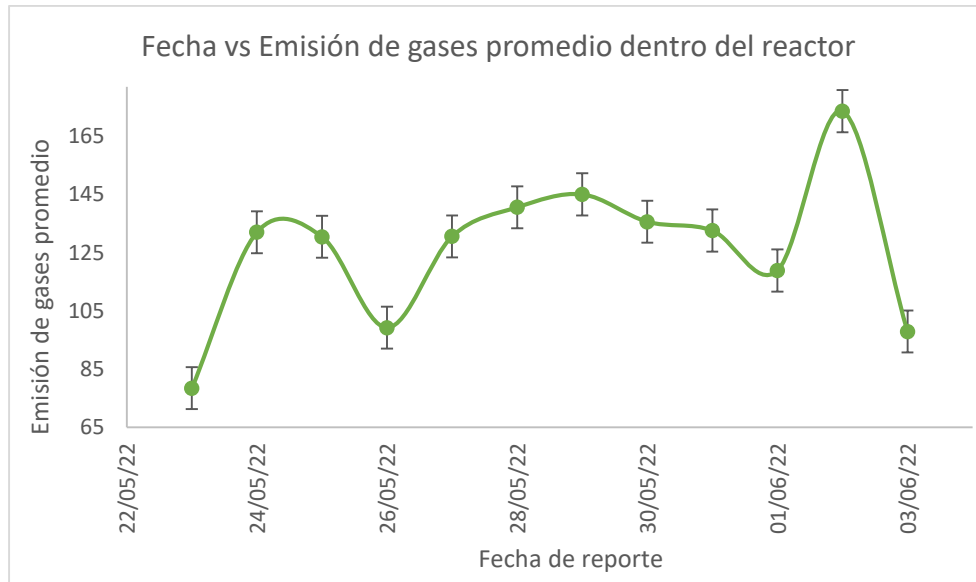
Nota. Comportamiento de la humedad dentro del biorreactor durante el proceso de biodegradación.

Como tercer parámetro de seguimiento se tiene la calidad de aire, en este se establece un Setpoint de 150 ppm que representa el límite permisible estipulado por los investigadores y directores del proyecto. Cuando las partes por millón (ppm) superan este valor se encienden los dámpers para poder ventilar las recamaras internas y así mismo extraer todos estos gases generados por el proceso, sin olvidar que con este sensor se puede detectar o medir la cantidad de NH_3 , NO_x , alcohol, benceno, smog o humo que pueden repercutir en la salud humana si se pensara escalar el proceso.

Con lo anterior, podremos identificar que en promedio solo se genera un pico que sobrepasa este Setpoint con un valor de 173,70, en la **Figura 26** se observa la generación de emisiones de gases promedio resultado de la biodegradación de los residuos presentes en cada tratamiento.

Figura 26.

Representación del cambio de emisión de gases dentro del reactor con respecto al tiempo



Nota. Comportamiento de la emisión de gases dentro del biorreactor durante el proceso de biodegradación.

Se puede analizar con la experimentación realizada que el comportamiento de las larvas puede generar variaciones en función a los diferentes tratamientos o dietas que se establecen inicialmente, estas pueden expresarse en función del crecimiento larvario y la reducción de sustrato final. En el presente proyecto de investigación se hace un seguimiento del crecimiento larvario, que permite tener un perfil del crecimiento en función del peso, la longitud y el ancho de los individuos y con respecto a esto, es posible determinar que el tratamiento que presento valores superiores corresponde a los residuos mixtos en donde se tienen residuos cocidos, de poda y césped y frescos u orgánicos domésticos.

Además, este tratamiento presenta un mayor crecimiento larvario, esto en su mayoría puede deberse a la variedad de sustrato que contiene (66,60% de residuos cocidos, 25% de residuos frescos y 8,40% residuos de poda / césped), en continuación el segundo tratamiento con mejores resultados corresponde al de residuos cocidos, teniendo en cuenta esto, se puede decir que los residuos de cocidos tienen una gran aceptación por

parte de las larvas, sin embargo la presencia de residuos frescos y de poda en el tratamiento mixtos le soportan a este una mayor humedad, que puede verse directamente en un mayor crecimiento larvario.

Con los resultados obtenidos se puede identificar que las variables de operación establecidas presentan resultados adecuados, sin embargo, para entender la bioconversión es necesario también analizar las variables de control dentro del sustrato, ya que como se evidencia anteriormente, aunque se establezcan Setpoints con el uso de sensores que garanticen las condiciones del ambiente, las variables dentro del sustrato se encuentran en constante cambio.

Ya que los residuos mixtos son los que mayor aceptación presentan por parte de las larvas, se toman como adecuadas las condiciones que allí se presentaron. Estas corresponden a un rango de humedad del 50% – 60% a lo largo del proceso, sin embargo, es importante considerar una adaptación de esta variable pues como se menciona anteriormente después del día diez de experimentación se presenta un declive, esto se debe a la deshidratación que van teniendo cada uno de los sustratos. En el caso de la temperatura, este tratamiento presenta un rango de 22 - 30°C, durante los primeros nueve días se presenta un aumento de este que está relacionado a un crecimiento exponencial de las larvas, por lo cual mantener la temperatura del sustrato en 27°C puede conllevar a obtener resultados más favorables. Por otra parte, se presenta un aumento de pH de 4,96 a 8,56 aunque se conoce que estos organismos presentan una alta tolerancia a diferentes rangos de pH.

Finalmente, en el caso del tratamiento de residuos cárnicos/proteína que tienen la tendencia de acidificarse representan el sustrato en que menor crecimiento larval se obtuvo, pero es importante recordar que uno de los intereses del presente proyecto es la bioconversión de los residuos frescos para usarlos como un posible acondicionador de suelos, es por esto que, aunque este no presente el mayor crecimiento larvario, se presenta el interés por el frass obtenido al final del proceso que es considerable en cantidad y de buen aspecto.

3.3. Propiedades fisicoquímicas de la biomasa residual obtenida

3.3.1. Caracterización de las biomasas residuales obtenidas después del proceso de biodegradación







Para realizar la caracterización física de los residuos orgánicos domésticos después del proceso de biodegradación que es categorizada como la biomasa residual obtenida, se realizan los mismos procedimientos mencionados en la sección de metodología. De igual manera, es importante destacar que para la caracterización química de este tipo de sustrato se envían muestras al laboratorio externo de la universidad, más específicamente al grupo de Agrilab Laboratorios S.A.S.

Para iniciar con la caracterización física de los sustratos se realiza un análisis detallado de observación logrando identificar si estos presentan las mismas características iniciales con las que se dispuso en los recipientes y cada una de sus réplicas, o qué variación específica presentan estos teniendo en cuenta los 18 días de biodegradación. En la **Figura 27** se puede observar la comparación del sustrato inicial dispuesto en el “hogar” para las larvas y a la biomasa residual obtenida al final del proceso de consumo.

Se puede evidenciar con el registro fotográfico presentado anteriormente el cambio significativo que tuvo el sustrato en cuanto a humedad, olor, grado de compactación, textura, cantidad, temperatura, pH y altura ocupada dentro del recipiente plástico de dimensiones conocidas. Posterior al proceso de separación de las larvas del sustrato se observan dos partes importantes del mismo, inicialmente se aprecia una capa terrosa, muy similar a los posibles acondicionadores de suelo o agentes fertilizantes que ayudan en la generación y mejoramiento de condiciones de los suelos, junto con una capa superior lignocelulósica muy seca del material que no fue consumido por las larvas que al parecer no tuvo la acogida esperada que se tenía planeada.

Figura 27.

Evidencia fotográfica del cambio del sustrato con respecto al tiempo

Día de experimentación n	Residuos frescos		
	Recipiente 1	Recipiente 2	Recipiente 3
Primer día			
Último día			

Nota. Evidencia fotográfica del sustrato inicial utilizado para la alimentación de BSFL y la biomasa residual obtenida al final del proceso de biodegradación.

En la **Tabla 14** se presentan los parámetros físicos realizados para identificar las propiedades de la biomasa residual obtenida y así, tener un parámetro de comparación con los valores obtenidos para el sustrato de alimentación presentados en la **Tabla 6**. Podemos observar que se presenta una variación en los resultados de los parámetros evaluados por parte de los investigadores con respecto a los resultados obtenidos antes del proceso de biodegradación y, además de esto, se determinan dos variables

adicionales que corresponden a la conductividad eléctrica y a la capacidad de retención de agua.

Tabla 14.

Caracterización física realizada a la biomasa residual obtenida después del proceso de biodegradación para cada uno de los tratamientos

Variable / Parámetro	Residuos Frescos	Residuos Cocidos	Residuos Cárnicos	Residuos Mixtos
Humedad (%)	35,84 +/- 0,43	17,22 +/- 0,55	22,45 +/- 7,80	35,94 +/- 8,19
pH (Unidades de pH)	10,08	6,34	6,75	8,05
Cenizas (%)	26,06 +/- 1,76	8,99 +/- 0,96	2,89 +/- 0,22	24,65 +/- 2,35
Perdidas por volatilización (g)	0,77 +/- 0,03	1,53 +/- 0,03	2,10 +/- 0,47	0,76 +/- 0,11
Densidad (g/cm ³)	0,48	0,58	1,24	0,45
Conductividad eléctrica (μS)	571	1641	397	1403
Capacidad de retención de agua (%)	64,29	82,95	77,70	64,19

Nota. Se observa en la tabla la caracterización realizada por parte de los investigadores para cada biomasa residual obtenida después del proceso de biodegradación.

Estos dos parámetros adicionales permiten identificar inicialmente que tanta facilidad da el material para el transporte de energía, teniendo en cuenta principalmente la estructura atómica y molecular del mismo, sabiendo que de igual manera este debe diluirse en una cantidad conocida de solvente para poder introducir la muestra representativa en él

conductímetro. Además, se determina la capacidad de retención de agua de cada uno de los sustratos utilizados a lo largo de la experimentación, este parámetro determinará la capacidad que tiene el material de agua disponible, partiendo del ideal que se desea obtener un producto que ayude con el sistema de cultivo y a su vez genere valor con la disminución de residuos.

- **Biomasa residual obtenida de residuos orgánicos domésticos o frescos**

Para los residuos de interés de la investigación (residuos frescos u orgánicos domésticos) se reporta una humedad final del 35,84% lo que da como resultado para los investigadores la necesidad de ajustar la misma durante el proceso de biodegradación, teniendo en cuenta que si este valor disminuye considerablemente el consumo por parte de las larvas BSF se verá ralentizado como lo mostraron los resultados obtenidos por parte de otros investigadores en donde se utilizaron residuos pre y post consumo, en donde, para humedades del 70 y 75% se determinan los procesos más adecuados en cuanto a consumo y separación de los residuos y la masa larval [15]. Como se puede apreciar en los resultados de esta investigación la humedad del sustrato tiende a disminuir puesto que en la misma no se realiza un proceso humidificación frecuente a lo largo de la experimentación, ya que la variable que se mantendrá constante con el paso del tiempo será la humedad del ambiente establecida como un setpoint como se explicó previamente.

En contraste, se tiene un incremento significativo del pH del sustrato que parte inicialmente como una dieta neutra acercándose a la acidez, pasando al extremo opuesto, es decir siendo ahora una muestra muy alcalina con un valor de 10,08 mencionando nuevamente que esta no es una variable que impacte directamente en el crecimiento larvario, se obtienen resultados similares por parte de otros autores para estudios realizados con la misma tendencia de incremento del pH resultado de la degradación de materia orgánica en ácidos orgánicos, en donde de igual manera esta propiedad no afectó la fase de vida de las larvas [12]. De igual manera en la **Tabla 14** y en la **Figura 23** se puede observar el comportamiento de esta variable al transcurrir de los días por cada uno de los tratamientos utilizados en la investigación.

Por otra parte, se tiene una conductividad eléctrica baja/media en comparación con los otros tipos de dietas. Se tiene también un aumento significativo en el porcentaje (%) de cenizas lo que se ve intrínsecamente relacionado con la disminución en las pérdidas por volatilización representadas en gramos, pues el material después de deshidratarse y ser consumido por las larvas tiende más a la calcinación que a la volatilización como se puede evidenciar en la **Tabla 14**.

Finalmente, se presenta una disminución considerable en la densidad del material con respecto a la caracterización inicial antes del proceso, teniendo en cuenta que la misma está relacionada con el volumen ocupado por la masa que previamente se encontraba muy compacta por el alto grado de humedad. Además, es importante considerar que la biomasa obtenida presenta variaciones en su composición sabiendo que la larva al igual que cualquier organismo vivo tiene deposiciones fecales por el consumo del alimento que en sí será un material de aporte al posible acondicionador de suelos. Observando los resultados presentados en la **Tabla 14** de la caracterización realizada por los investigadores, se identifica que hay variables que difieren con los resultados del laboratorio externo, esto teniendo en cuenta que allí el análisis se ejecuta en base seca puesto que la muestra se somete a un secado en mufla de aproximadamente 24 horas.

Ahora bien, en la **Tabla 15 y 16** se presenta un análisis riguroso realizado por el laboratorio externo a la Universidad para que los investigadores identifiquen si la biomasa residual obtenida efectivamente puede usarse como un acondicionador de suelos. Uno de los parámetros de mayor impacto que se analiza de estos resultados es la relación C/N que para el final del proceso de biodegradación presenta un valor de 12 disminuyendo con respecto a la caracterización que se realizó previa al proceso de biodegradación. Estos resultados son congruentes con investigaciones realizadas por otros autores, en donde este parámetro tiende a disminuir por la descomposición de CO₂, agua y calor, determinando a su vez que para residuos con altas relaciones de C/N se presenta un proceso de biodegradación más lento que no sería adecuado para la finalidad del proyecto [12].

Tabla 15.

Caracterización y composición de materiales orgánicos sólidos para la biomasa residual obtenida de residuos frescos u orgánicos domésticos

Variable / Parámetro	Resultado	Técnica	Contenidos límites permisibles NTC - 5167
Humedad (%)	27,50	Gravimétrico	Máx 30
pH (Unidades de pH)	8,71	Potenciométrico	De 4 a 9
Conductividad eléctrica (dS/m)	6,34	Conductimétrico	Solo reportar valor
Retención de humedad (%)	171	Gravimétrico	Mín 100
Cenizas (%)	21,40	Gravimétrico	Máx 60
Perdidas por volatilización (%)	51,10	Gravimétrico	Solo reportar valor
Capacidad de intercambio catiónico (meq / 100 g)	58,60	Volumétrico	Mín 30
Densidad real (en base seca) (g/cm ³)	0,56	Gravimétrico	Máx 0,06
Carbono orgánico oxidable total (%)	17,80	Colorimétrico	Mín 15
Relación C/N	12	Relación matemática	Máx 25

Nota. En esta tabla se pueden observar los resultados obtenidos gracias al análisis realizado por parte del laboratorio externo de apoyo para la investigación Agrilab Laboratorio S.A.S junto con los contenidos límites permisibles estipulados por la NTC – 5167 logrando así comparar los mismos. “NTC - 5167 del 2022: Productos para la industria agrícolas. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo”, ICONTEC, Vol. III, Colombia, pp 1 - 61, 2022.

Tabla 16.

Caracterización de la fracción mineral realizada por el laboratorio externo para residuos frescos u orgánicos domésticos

Variable / Parámetro	Resultado	Técnica	Contenidos límites permisibles NTC - 5167
Nitrógeno Total (%)	1,46	-	Mín 1
Nitrógeno Orgánico (%)	1,46	Volumétrico	Mín 1
Fósforo total (%)	0,45	Colorimétrico	Mín 1
Potasio total (%)	2,42	EAA (Espectroscopia de absorción atómica)	Mín 1
Calcio total (%)	6,72	EAA (Espectroscopia de absorción atómica)	-
Magnesio total (%)	0,36	EAA (Espectroscopia de absorción atómica)	-
Azufre total (%)	0,20	Colorimétrico	-
Hierro total (%)	0,19	EAA (Espectroscopia de absorción atómica)	-

Nota. Resultados obtenidos después del proceso de biodegradación gracias al análisis realizado por parte del laboratorio externo de apoyo para la investigación Agrilab Laboratorio S.A.S junto con los contenidos límites permisibles estipulados por la NTC – 5167 logrando así comparar los mismos. “NTC - 5167 del 2022: Productos para la industria agrícolas. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo”, ICONTEC, Vol. III, Colombia, pp 1 - 61, 2022.

Realizando la observación detallada de los resultados y la comparación de los mismos con los contenidos límites permisibles presentados en la NTC – 5167, se puede indicar entonces que el proceso de biodegradación es apropiado para la reducción de residuos orgánicos domésticos o frescos logrando obtener una biomasa residual adecuada para ser utilizada como acondicionador de suelos. En términos técnicos, el incumplimiento de esta enmienda se presenta específicamente en la densidad real y en el fósforo total, esto

podría corregirse mediante el uso de técnicas de acondicionamiento físico, es decir, disminución considerable del tamaño de partícula de esta biomasa obtenida, pues el laboratorio Agrilab recibe una fracción terrosa y una lignocelulósica resultante de los recipientes hogar de las larvas después del proceso de biodegradación.

En términos generales, con lo anterior observamos que la biomasa final obtenida de este proceso de biodegradación, cumple mayormente los parámetros establecidos en la norma NTC – 5167 con la cual fue llevada a cabo toda la investigación. Se observa una capacidad de retención de agua de 170 (unidades) lo cual permite que el suelo incremente su capacidad de retención de humedad, además, el incremento de la capacidad de intercambio catiónico permite retener y aportar nutrientes elevando su estado nutricional, esta materia orgánica también contribuye a incrementar la fertilidad del suelo por medio de la liberación de diferentes minerales esenciales para las plantas [40].

Teniendo en cuenta que de igual manera se tienen minerales secundarios que no son con frecuencia evaluados en otras investigaciones ni por parte de la NTC – 5167, se realiza una revisión bibliográfica en donde se evidencian contenidos de tolerancia para *nutrientes secundarios y menores en los fertilizantes sólidos*, pues los mismos pueden considerarse de igual manera, enmiendas para mejorar la calidad del suelo. En la NTC – 1061 del año 2020 se estipula que los minerales secundarios deben presentarse en bajas proporciones en términos de porcentaje y además de ello, son aceptadas únicamente desviaciones iguales al 50% o 1,5 unidad porcentual como se puede apreciar en la Tabla 4 de la misma [41].

Además de lo anterior, con la revisión de dos estudios adicionales por parte de otros investigadores, se evidencian comportamientos de minerales tanto principales como secundarios similares en cuanto al aumento de los mismos después del proceso de biodegradación. Allí se plantean rangos permisibles de normas internacionales y técnicas empleadas en su experimentación que podrían deberse principalmente a la disminución del peso seco de la materia orgánica y de la actividad bioquímica intestinal de las larvas provocando la regurgitación y defecación en el sustrato alimentado convirtiéndose finalmente en un acondicionador de suelos que tiene proporciones minerales buenas que facilitarían el mejoramiento de los suelos [18].

Seguido de esto, se realiza la caracterización de cada una de las dietas utilizadas dentro de la experimentación, sin embargo, cabe resaltar nuevamente que estos no hacen parte del objetivo principal de la investigación que tan solo son los residuos orgánicos domésticos recolectados en la comuna del Mochuelo.

- **Biomasa residual obtenida de residuos cocidos**

Para iniciar, en la **Tabla 14** se pueden observar los resultados obtenidos para la dieta de residuos cocidos que finalmente disminuyen en gran proporción su peso, lo que se ve reflejado a su vez en el engorde y crecimiento larvario. Realizando la comparación entre los resultados iniciales con respecto a los finales de esta investigación se tiene una disminución muy notoria en la humedad del 76% aproximadamente. Por otra parte, con la investigación de otros autores se tiene una tendencia similar del comportamiento de la humedad a disminuir durante el proceso de biodegradación en donde se recomienda también procesos de humidificación que permitan tener condiciones de sustrato adecuadas para la alta bioconversión de los residuos [34]. La pérdida de humedad significativa en este tipo de sustrato se debe principalmente a la gran actividad larval por la alta aceptación de este alimento, teniendo en cuenta las características de pretratamiento del mismo y la rapidez del consumo.

El potencial de hidrogeno de la dieta se mantiene relativamente constante pues este se incrementa tan solo en 0,14 unidades con respecto al inicial manteniéndose en la neutralidad. Este tipo de alimento además presenta un buen porcentaje de retención de agua, teniendo en cuenta que, al estar tan compacto y tan seco el mismo se humedece considerablemente generando una pasta inicial que luego vuelve a ser demasiado viscosa y pesada.

En cuanto a las pérdidas por volatilización se logra evidenciar un cambio significativo en el valor obtenido al final y al inicio de la experimentación, esto teniendo en cuenta que este tipo de dieta tiene una cantidad en masa muy inferior, lo que representa a su vez que no se tiene cantidad mineralizada suficiente para volatilizar, pero si suficiente para calcinar y reposar como material de cenizas de la muestra ingresada.

Por último, se destaca este tipo de dieta como uno de los sustratos con mayor conductividad eléctrica con respecto a los otros tres tratamientos, infiriendo así que por sus procesos previos de manipulación, cocción y consumo humano se vuelven buenos conductores de energía. En cuanto a la caracterización física realizada para la biomasa final con residuos cocidos, se observa que este no cumple con los parámetros establecidos por la normativa, en términos de humedad y capacidad de retención de agua pues los mismos no se encuentran dentro de los contenidos límites permisibles presentados en la norma técnica utilizada.

- **Biomasa residual obtenida de residuos cárnicos / proteínas**

Una de las dietas menos apetecidas por las larvas fueron los residuos cárnicos o de proteína teniendo en cuenta su alto contenido en grasa, su baja cantidad de oxígeno y su baja disponibilidad en porosidad para facilitar el movimiento de la larva dentro del recipiente. La humedad de la dieta tiene una disminución del 57,56%, pero en esta es importante considerar la grasa resultante que queda dentro del crisol, material en donde se realizan las pruebas de determinación de humedad y verificando lo anterior con los valores de la desviación estándar que indican bastante dispersión entre las medias.

Es uno de los residuos que menor conductividad eléctrica presenta, sabiendo que este no se encuentra en estado de refrigeración que es lo óptimo para este tipo de tratamiento y se encuentra en un estado totalmente crudo. Factores como el pH, la densidad y el porcentaje de cenizas no presentan un cambio drástico en comparación con las demás dietas, pues se presentan variaciones inferiores al 25% dado al poco consumo de las larvas y a la descomposición de un tipo de residuo que requiere total inocuidad en términos de refrigeración y congelación.

Finalmente, para los residuos cárnicos observamos que hay resultados menos favorecedores que con los otros tratamientos, en donde las larvas además de tener un bajo porcentaje de consumo, también presentan bajas tasas de supervivencia. En estudios realizados por otros autores en donde se realizan caracterizaciones nutricionales de las dietas utilizadas, mencionan que para este organismo los sustratos hortofrutícolas son su fuente natural de alimentación a la cual se adaptan de manera idónea, por lo cual sustratos con estructuras más complejas como la proteína (difícil de

degradar por sus cadenas peptídicas y por la cantidad de grasa saturada indeseada), implican un proceso de biodegradación más lento en comparación con los anteriormente mencionados [42].

- **Biomasa residual obtenida de residuos mixtos**

Para el último sustrato utilizado se tiene una humedad del 35,94% que podría aproximarse al valor requerido para un acondicionador de suelos según lo estipulado en la NTC – 5167, sin embargo, este no es el residuo de estudio principal de esta investigación. Además de lo anterior no se puede realizar una comparación frente a la caracterización realizada en la **Tabla 6** puesto que allí se presenta únicamente para residuos lignocelulósicos de poda y césped.

Además de lo anterior, se presenta una biomasa con un pH neutro, una alta conductividad eléctrica considerando la proporción de cada residuo que aporta al comportamiento de la dieta en estos indicadores. Las pérdidas por volatilización son considerablemente bajas a diferencia de los demás residuos, esto teniendo en cuenta que es el sustrato por el cual se tuvo mayor aceptación por parte de las larvas y el que tiene un alto índice de consumo; resultados obtenidos por parte de otros investigadores determinan que para procesos de biodegradación en donde se utiliza una tasa de alimentación comparable a este estudio se presentan mayores índices de reducción de residuos (WRI) [16].

Por otra parte, se puede identificar un alto porcentaje en las cenizas obtenidas para el último día de experimentación de este tipo de biomasa que es comparable con los resultados obtenidos para los residuos frescos, en donde es propio afirmar que el material está conformado por mayor cantidad de minerales que no tienen la facilidad de arder o evaporarse por efecto de la temperatura, estos minerales son propios del proceso de descomposición de los residuos mezclados para este tratamiento. Además de ello, por la composición adicional de heces o líquidos regurgitados por el organismo vivo después del proceso de alimentación, trazas de piel que se quedan cuando las mismas están próximas a abandonar su estado de prepupa a pupa y el material lignocelulósico no consumido por las larvas, contribuyen al aumento del material que tiende a calcinarse antes que a volatilizarse.

3.3.2. Análisis estadístico del diseño de experimentos.

Para el análisis estadístico de los resultados obtenidos en la experimentación se utiliza la herramienta ANOVA que permite comparar las varianzas que pueden encontrarse entre las medias de diferentes grupos, en este caso se tiene como variable de respuesta la tasa de crecimiento que tienen las larvas en cuanto a su peso, ancho y longitud dependiendo de la dieta de consumo utilizada con sus respectivas réplicas.

Para el análisis ANOVA se tiene en cuenta principalmente el número de tratamientos que corresponde a $k = 4$ identificadas como las dietas o tratamientos. Es importante destacar que cada uno de los tratamientos cuentan con valores del promedio de la tasa de crecimiento en términos de peso, longitud y ancho que es con lo que se realiza la evaluación del método estadístico.

Se inicia con el cálculo de la suma de los cuadrados totales que se refieren a la variabilidad total en los datos, allí se relaciona entonces el cuadrado de cada valor presentado en la **Tabla 17**. Seguido de esto, se calcula la suma de cuadrados de tratamientos o factores en donde se relaciona el total de la suma de las columnas que corresponde a su vez a la tasa de crecimiento larval. Este a su vez debe ser calculado como el cociente entre el valor obtenido y el número de datos menos el cociente de la suma de los totales obtenida por columnas sobre el número de réplicas.

Tabla 17.

Recolección de datos experimentales para la realización del ANOVA

<i>Dieta</i>	<i>Tasa de crecimiento larval</i>		
	TCP	TCL	TCA
Residuos Frescos (1)	0,84	0,94	0,74
Residuos Cocidos (2)	0,96	0,89	0,84
Residuos Cárnicos / Proteínas (3)	0,79	0,83	1,01
Residuos Mixtos (4)	0,99	0,93	0,95

Nota. Promedios obtenidos por cada uno de los tratamientos con respecto a las tasas de crecimiento larval en términos de peso, longitud y ancho.

Después de calculados estos valores, se procede con el cálculo de la suma de cuadrados residuales que corresponden a la variabilidad residual o error aleatorio. Con todo lo anterior, se pueden calcular ahora los grados de libertad del experimento teniendo en cuenta las sumas de cuadrados encontradas previamente, estos facilitan identificar el valor del denominador en el cociente del cálculo de los cuadrados medios del proceso.

Para finalizar, se deben encontrar los cuadrados medios tanto de factores o tratamientos, como los de suma de cuadrados residual para emplear la ecuación del F calculado en donde se relaciona el cociente del cuadrado medio de la suma del tratamiento o factor y el cuadrado medio de la suma del cuadrado residual. Con esto, se puede realizar una comparación entre la F calculada y la F crítica o valor encontrado directamente por tablas para rechazar o aprobar la hipótesis nula y posterior a ello evaluar que sucede con la alternativa.

En el experimento realizado y con los datos estadísticos alcanzados mediante el software Excel se determina lo siguiente:

$$F = 0,0230$$

$$F \text{ crítico} = 4,2565$$

En donde se puede evidenciar que el F calculado es menor al F crítico o F de tablas, por lo cual se puede inferir que hay aceptación de la hipótesis nula de la investigación, esto quiere decir que no hay diferencia significativamente estadística entre la tasa de crecimiento larval y el tipo de alimento utilizado en cada uno de los recipientes para el proceso de biodegradación con ayuda de la larva de BSF.

Sin embargo, los investigadores consideran varios aspectos en este punto dado que hay ciertas variaciones en lo visualizado y en lo arrojado por el análisis de ANOVA. En primera instancia, el 3% de la población es un porcentaje poco representativo de toda la poblacional larval, teniendo en cuenta que algunas de ellas pueden tener más días de eclosionadas, pueden presentar factores génicos diferentes que se verán reflejadas directamente en el consumo que las mismas tienen por el sustrato.

Además de lo anterior, se pueden presentar errores humanos a la hora de la medición, acompañados de errores en los equipos utilizados tales como la balanza analítica y calibradores de media precisión para dar consecución a las actividades continuas de medición de los organismos vivos. Es por esto que se podría realizar un análisis más exhaustivo en términos estadísticos o planteando otro tipo de experimento que facilite tener 100% veracidad en los resultados obtenidos y el comportamiento visual percibido por los investigadores.

3.3.3. Indicadores de biodegradación

- **Porcentaje consumido**

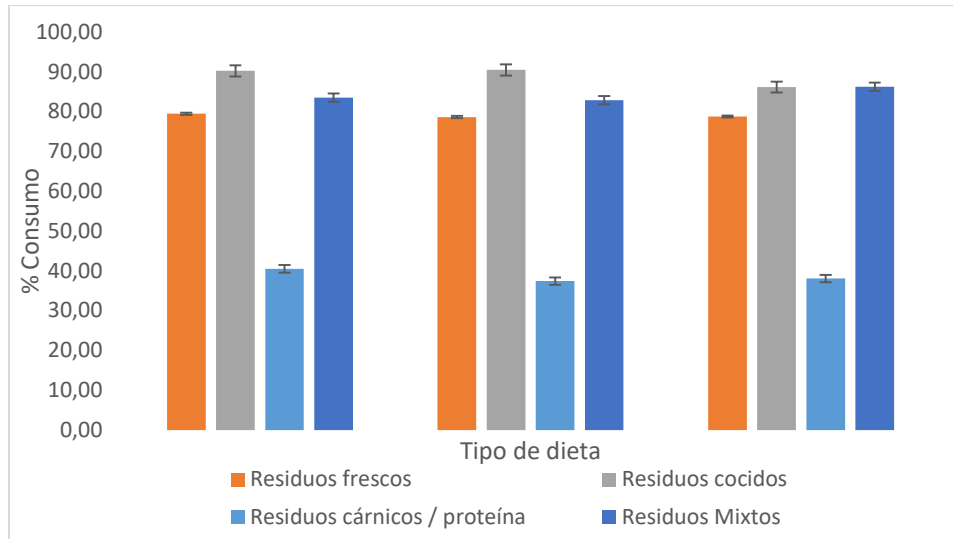
Para el presente proyecto de investigación se tienen en cuenta indicadores de biodegradación como lo son el porcentaje consumido por las larvas en cada tratamiento, el índice de reducción de residuos y la tasa de supervivencia que tienen las larvas al final del experimento. Estos permiten cuantificar el cambio que tienen los sustratos y las larvas con respecto a los establecidos al inicio de la experimentación.

En primer lugar, se plantea el porcentaje consumido de sustrato al final del proceso por las larvas, pues esto permite entender el comportamiento que están presentando estas con respecto al tipo de dieta.

En la **Figura 28** se puede observar el porcentaje consumido para cada uno de los tratamientos y para sus respectivos duplicados, se observa entonces que el residuo que mayor consumo presenta es el de cocidos en donde se tiene un promedio de 88,97%, seguido de este, se encuentran los residuos mixtos que en mayor proporción corresponden a post - consumo. Aunque esto indica una aceptación alta por parte de las larvas, es importante recordar que uno de los objetivos de la presente investigación es conocer la viabilidad de obtener un acondicionador de suelos a partir de los residuos orgánicos domésticos o frescos.

Figura 28.

Porcentaje de consumo para cada dieta utilizada en la experimentación



Nota. Representación gráfica del porcentaje de consumo para cada uno de los tratamientos utilizados en la experimentación.

En adición de lo anterior, aunque el promedio de consumo para estos presente un valor menor (78,96%) este presenta una mayor cantidad de sustrato al final que puede ser considerado como un acondicionador de suelos, en el caso del tratamiento de cárnicos / proteína se presenta un porcentaje promedio de consumo de 38,65% a lo largo de la experimentación lo que representa aceptación baja por parte de las larvas como ya se ha mencionado previamente, esto en gran medida puede deberse a la composición de este sustrato que por su naturaleza, puede contener mayor cantidad de grasas.

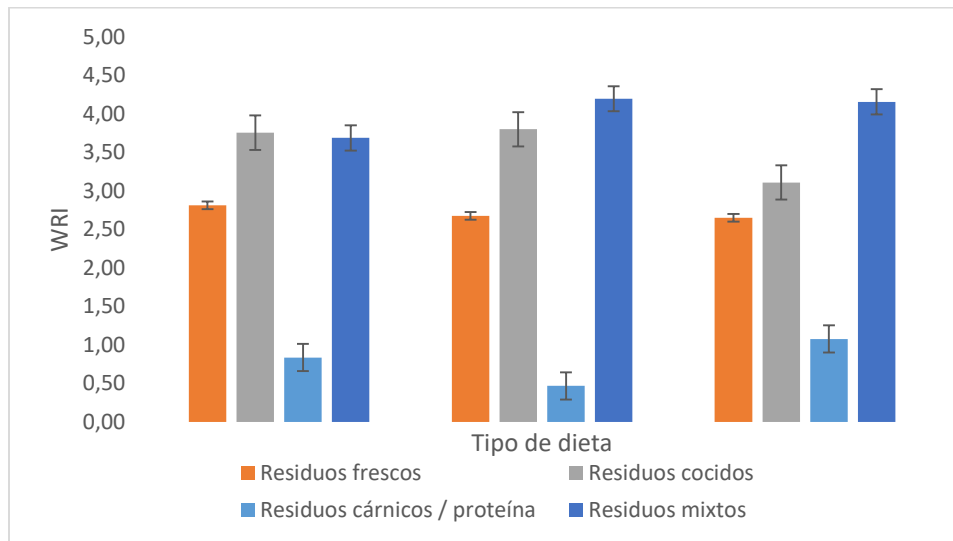
- **Índice de reducción de desechos**

En cuanto al índice de reducción de desechos, este tiene en cuenta la reducción total del material en función del tiempo que las larvas requieren para reducir esta cantidad de sustrato, en la *Ec 6* de la sección 2.6 se puede observar los valores necesarios para calcular este indicador, podemos observar además en la **Figura 29** que el tratamiento con mayor WRI corresponde a los residuos mixtos con un promedio de 4,01 teniendo en cuenta que a altos valores de este se presenta una buena eficiencia de reducción [16], seguido de este se tienen los cocidos como un tratamiento con buena reducción de

desechos de 3,56, este indicador nos define entonces que las larvas tienen un aceptación alta por lo cual van a tener un mejor crecimiento larvario en este tipo de sustratos.

Figura 29.

Índice de reducción de desechos para cada dieta utilizada en la experimentación



Nota. Representación gráfica del índice de reducción de desechos para cada uno de los tratamientos utilizados en la experimentación.

En el caso de los residuos frescos, se tiene un WRI de 2,71, claramente se observa una brecha entre este y el cuarto tratamiento (residuos mixtos), por lo cual se puede definir este como un sustrato idóneo para el engorde de las larvas, esto puede implicar buenos resultados en investigaciones que se centren en determinar cantidades proteicas o lipídicas de las larvas, y así estas puedan tener un post tratamiento como posible alimento para animales. En el caso del tratamiento de cárnicos / proteína se presenta el menor índice de reducción de desechos con un promedio tan solo del 0,79.

- **Tasa de supervivencia**

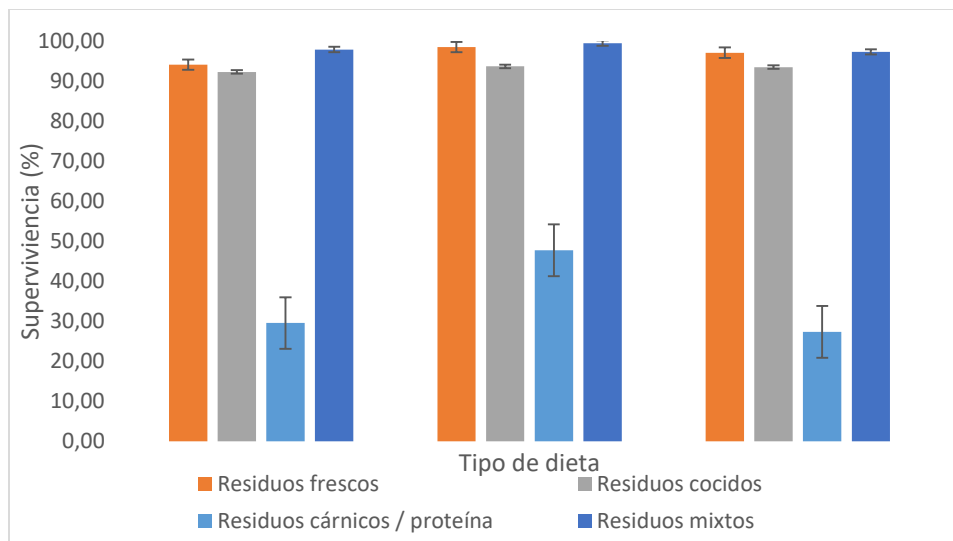
Por último, se considera la tasa de supervivencia como indicador para la investigación. La *Ec 4* de la sección 2.6 presenta la ecuación a utilizar que considera las larvas que sobreviven al finalizar la etapa experimental con respecto a las ingresadas el primer día, esto nos puede definir la aceptación que presentan estas frente a cada tipo de dieta planteada para la investigación.

El tratamiento en donde menor variación se contó para estos fue el de cocidos con un promedio de 93,27%, lo cual puede relacionarse con la ausencia de humedad que se presentó en este sustrato durante los últimos días de experimentación, en donde es necesario realizar una hidratación, para los residuos mixtos se presenta la máxima tasa de supervivencia de un 98,33%, en el caso de los residuos frescos se tiene un promedio de 96,67%. Por el contrario, en el tratamiento de residuos cárnicos / proteína se tiene una tasa de supervivencia baja 34,93%, debido a la cantidad de grasa presente en el sustrato, se presenta una gran mortalidad de las larvas.

En la **Figura 30** se observa este indicador para cada uno de los duplicados realizados en este trabajo, allí es posible identificar que para los tratamientos frescos, cocidos y mixtos se presentan altas tasa de supervivencia de los organismos vivos utilizados para el consumo.

Figura 30.

Tasa de supervivencia para cada uno de las dietas utilizadas en la experimentación



Nota. Representación gráfica del porcentaje de supervivencia para cada uno de los tratamientos utilizados en la experimentación.

4. CONCLUSIONES

Para evaluar el proceso de biodegradación de residuos orgánicos con el uso de la larva de la mosca soldado negra *Hermetia illucens* en la ciudad de Bogotá se definieron ciertas actividades que permitieron establecer las condiciones más óptimas para esto, en primer lugar se realizó la caracterización física de los residuos provenientes de la comuna del Mochuelo por medio de una revisión bibliográfica, lo cual permitió a los investigadores identificar si es necesario un pretratamiento para estos residuos con el objetivo de tener un proceso de biodegradación más eficiente.

Por medio del estudio bibliométrico realizado, se identificaron las diferentes características físicas de partida en los sustratos de diferentes estudios experimentales analizándolas en función del comportamiento de las larvas durante el proceso de biodegradación y el frass obtenido durante esta etapa, en el caso del residuo principal de esta investigación se tuvo una humedad del 55,38% +/- 0,10, pH de 7,04 +/- 0,03 y una relación C/N de 21,52 +/- 0,70. Para poder tener un carácter comparativo entre los resultados esperados se realizó un análisis obteniendo como resultado que el sustrato con una semana de fermentación posee una humedad de 78,10% +/- 0,49, pH 5,48 +/- 0,02 y relación C/N de 17.

Se realizó un análisis con los diferentes tratamientos trabajados a lo largo de la investigación, con el fin de tener un carácter de comportamiento más amplio y comparativo con respecto a los residuos orgánicos, de esta manera se introducen las variables de operación óptimas para el proceso de biodegradación en el biorreactor de 27°C, una humedad dentro del rango de 70% - 80% y una calidad del aire de 150 ppm. Además de esto, se definieron variables de control dentro del sustrato, se dio seguimiento al crecimiento larval relacionado con su peso, ancho y longitud y finalmente un seguimiento de humedad, pH y temperatura para el sustrato.

Se obtiene al final de la experimentación que las condiciones de operación del ambiente dentro del reactor son las adecuadas, pero es necesario entonces realizar un seguimiento a las condiciones del sustrato para mejorar los resultados de la biodegradación que realizan las larvas, en donde la humedad se encuentra entre 60% -

70% y la temperatura entre 23°C y 24°C durante los primeros doce días de biodegradación influyendo directamente en el peso larval obtenido. Aunque la temperatura alcanza un pico durante el quinto día esta toma un comportamiento constante después de este punto, sin embargo, la humedad sufre una disminución significativa que puede influir en el crecimiento de los organismos.

Como resultado se observó un porcentaje de consumo del 78,96%, un índice de reducción de desechos del 2,71 y una tasa de supervivencia del 96,67% en el caso de los residuos orgánicos domésticos o frescos, aunque estos no reflejan los indicadores más altos con respecto a los otros tratamientos, es importante introducir el interés por este residuo para ser utilizado como un posible acondicionador de suelos, para lo cual un porcentaje de consumo alto implica una disposición menor de frass obtenido, por último, se consideró entonces un análisis fisicoquímico de la biomasa residual obtenida donde se tuvo en cuenta los parámetros de aceptación estipulados en la NTC – 5167 del 2022 “Productos para la industria agrícola. Productos orgánicos usados como abonos o fertilizantes y enmiendas o acondicionadores de suelo”.

El análisis físicoquímico fue realizado exclusivamente para los residuos orgánicos domésticos o frescos con ayuda de un laboratorio externo de manera previa al proceso de biodegradación y una vez finalizada la etapa de experimentación con el fin de tener un carácter comparativo. Con estos resultado se pudo obtener una humedad de 27,50% un pH de 8,71 y un contenido de cenizas de 21,40%, comparando estos con los criterios de clasificación presentes en la NTC – 5167 este hay un cumplimiento de la biomasa para ser usado como acondicionador de suelos, sin embargo se puede considerar un mejoramiento con ayuda de postratamientos en que se regulen los parámetros de incumplimiento pues en cifras porcentuales se evidenció que la variación de densidad y fósforo total (parámetros de incumplimiento) son regulables con algunas pequeñas modificaciones.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Colombia Podría Aprovechar 40% De Las Toneladas De Residuos Que Genera Actualmente”, *La República*, Ene, 2019, [En Línea]. Disponible En <https://www.larepublica.co/responsabilidad-social/colombia-podria-aprovechar-cerca-de-40-de-los-116-millones-de-toneladas-de-residuos-que-genera-al-ano-2813141>. [Acceso Feb. 28, 2021].
- [2] Unidad De Administración Especial De Servicios Públicos UAESP, “Documento Técnico Soporte Del Plan Integral De Residuos Sólidos”. Bogotá. Colombia. Disponible En http://www.uaesp.gov.co/images/pgirs_mesas/dts%20pgirs.pdf, 2021.
- [3] P.F. Stanbury And A. Whitaker. “Principles Of Fermentation Technology”. Segunda Edición. Reino Unido: Pergamon, 1995.
- [4] K. Pramod And K. Vipin, Textbook Of Environmental Biotechnology. India: Woodhead Publishing, 2018. Disponible En: https://ezproxy.uamerica.edu.co/login?url=http://search.ebscohost.com/ezproxy.uamerica.edu.co/login.aspx?direct=true&db=E000xww&AN=2227806&lang=es&site=eds-live&scope=site&ebv=EB&ppid=Pp_99
- [5] Unidad De Administración Especial De Servicios Públicos UAESP, “Guía Técnica Para El Aprovechamiento De Residuos Orgánicos A Través De Metodologías De Compostaje Y Lumbricultura”. Bogotá. Colombia. Disponible En http://www.uaesp.gov.co/images/guia-uaesp_sr.pdf.
- [6] F. P. Gobbi, “Biología Reproductiva Y Caracterización Morfológica De Los Estadios Larvarios De *Hermetia Illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases Para Su Producción Masiva En Europa,” Dissertation, P. 155, 2012.
- [7] A. Singh And K. Kumari, “An Inclusive Approach For Organic Waste Treatment And Valorisation Using Black Soldier Fly Larvae: A Review,” *J. Environ. Manage.*, Vol. 251, P. 109569, Dec. 2019, Doi: 10.1016/J.Jenvman.2019.109569.

- [8] J. W. Diclaro And P. E. Kaufman, "Black Soldier Fly *Hermetia Illucens* Linnaeus (Insecta : Diptera : Stratiomyidae)," IFAS Ext., P. 5, 2012, [Online]. Available: [Http://Sfyl.Ifes.Ufl.Edu/About/](http://Sfyl.Ifes.Ufl.Edu/About/).
- [9] T. M. Fowles And C. Nansen, "Insect-Based Bioconversion: Value From Food Waste," In *Food Waste Management*, Springer, 2020, Pp. 321–346.
- [10] H. Čičková, G. L. Newton, R. C. Lacy, And M. Kozánek, "The Use Of Fly Larvae For Organic Waste Treatment," *Waste Manag.*, Vol. 35, Pp. 68–80, 2015, Doi: 10.1016/J.Wasman.2014.09.026.
- [11] B. Dortmans, S. Diener, B. Verstappen, And C. Zurbrügg, *Black Soldier Fly Biowaste Processing*. 2017
- [12] N. Fadhilah And A. Y. Bagastyo, "Utilization Of *Hermetia Illucens* Larvae As A Bioconversion Agent To Reduce Organic Waste," *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, Vol. 506, No. 1, 2020, Doi: 10.1088/1755-1315/506/1/012005.
- [13] D. Beesigamukama Et Al., "Low-Cost Technology For Recycling Agro-Industrial Waste Into Nutrient-Rich Organic Fertilizer Using Black Soldier Fly," *Waste Manag.*, Vol. 119, 2021, Doi: 10.1016/J.Wasman.2020.09.043.
- [14] N. Bullock And E. Chapin , "The Black Soldier Fly - How - To - Guide", *UNC*, Vol, 1, No. 12, Pp. 163–183, 2020, Doi: 10.7591/Cornell/9781501747021.003.0008.
- [15] J. Y. K. Cheng, S. L. H. Chiu, And I. M. C. Lo, "Effects Of Moisture Content Of Food Waste On Residue Separation, Larval Growth And Larval Survival In Black Soldier Fly Bioconversion," *Waste Manag.*, Vol. 67, Pp. 315–323, Sep. 2017, Doi: 10.1016/J.Wasman.2017.05.046.
- [16] S. Diener, C. Zurbrügg, And K. Tockner, "Conversion Of Organic Material By Black Soldier Fly Larvae: Establishing Optimal Feeding Rates," *Waste Manag. Res.*, Vol. 27, No. 6, Pp. 603–610, 2009, Doi: 10.1177/0734242X09103838.

- [17] C. Lalander, S. Diener, C. Zurbrügg, And B. Vinnerås, “Effects Of Feedstock On Larval Development And Process Efficiency In Waste Treatment With Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*),” *J. Clean. Prod.*, Vol. 208, Pp. 211–219, 2019, Doi: 10.1016/J.Jclepro.2018.10.017.
- [18] D. Sarpong Et Al., “Biodegradation By Composting Municipal Organic Solid Waste Into Organic Fertilizer Using The Black Soldier Fly (*Hermetia Illucens*) (Diptera: Stratiomyidae) Larvae,” *Int. J. Recycl. Org. Waste Agric.*, Vol. 8, No. S1, Pp. 45–54, 2019, Doi: 10.1007/S40093-019-0268-4.
- [19] J. Ma Et Al., “Dynamic Effects Of Initial Ph Of Substrate On Biological Growth And Metamorphosis Of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae),” *Environ. Entomol.*, Vol. 47, No. 1, Pp. 159–165, 2018, Doi: 10.1093/Ee/Nvx186.
- [20] N. Fadhillah And A. Y. Bagastyo, “Utilization Of *Hermetia Illucens* Larvae As A Bioconversion Agent To Reduce Organic Waste,” *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.*, Vol. 506, No. 1, 2020, Doi: 10.1088/1755-1315/506/1/012005.
- [21] C. Y T. Ministerio De Vivienda, “Decreto 2981 Del 20 De Diciembre De 2013,” Pp. 5–6, 2015, [Online]. Available: [Http://Wsp.Presidencia.Gov.Co/Normativa/Decretos/2013/Documents/DICIEMBRE/20/DECRETO 2981 DEL 20 DE DICIEMBRE DE 2013.Pdf](http://Wsp.Presidencia.Gov.Co/Normativa/Decretos/2013/Documents/DICIEMBRE/20/DECRETO%202981%20DEL%2020%20DE%20DICIEMBRE%20DE%202013.Pdf).
- [22] Sistema Único De Información Normativa, “Resolución 00150. Por La Cual Se Adopta El Reglamento Técnico De Fertilizantes Y Acondicionadores De Suelos En Colombia,” 2003, [Online]. Disponible: [Http://Www.Suin-Juriscal.Gov.Co/Viewdocument.Asp?Id=30033962](http://Www.Suin-Juriscal.Gov.Co/Viewdocument.Asp?Id=30033962)
- [23] “NTC - 5167 Del 2022: Productos Para La Industria Agrícolas. Productos Orgánicos Usados Como Abonos O Fertilizantes Y Enmiendas O Acondicionadores De Suelo”, ICONTEC, Vol. Iil, Colombia, Pp 1 - 61, 2022.
- [24] M. Gold Et Al., “Biowaste Treatment With Black Soldier Fly Larvae: Increasing Performance Through The Formulation Of Biowastes Based On Protein And

Carbohydrates” Waste Manag., Vol. 102, 2020, Doi: 10.1016/J.Wasman.2019.10.036.

[25] “El 78% De Los Hogares Colombianos No Recicla”, *Semana*, Mar, 2020, [En Línea]. Disponible En: <https://www.semana.com/medio-ambiente/articulo/el-78-de-los-hogares-colombianos-no-recicla/44231/>. [Acceso Abr. 28, 2022].

[26] DNP, “Encuesta A Municipios Sobre Gestión De Residuos Sólidos Domiciliarios 2019 Colombia”. Bogotá, Colombia. Disponible En: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/46988-encuesta-municipios-gestion-residuos-solidos-domiciliarios-2019-colombia>.

[27] Unidad De Administración Especial De Servicios Públicos UAESP, Subdirección De Aprovechamiento. “Avances Del Acuerdo 344 Del 2088”. Bogotá, Colombia. Disponible En: <https://www.uaesp.gov.co/sites/default/files/documentos/AVANCES%20DEL%20ACUERDO%20344%20DE%202008.Pdf>.

[28] Unidad De Administración Especial De Servicios Públicos UAESP, “Períodico Doña Juana No 28”, [En Línea]. Disponible En: https://www.uaesp.gov.co/upload/Periodico_Dona_Juana/Ejemplares/Dona_Juana_Edicion-28-Jul-Ago-2019.Pdf.

[29] “La UAESP Tecnificó La Planta De Residuos Orgánicos De Mochuelo”, Unidad De Administración Especial De Servicios Públicos UAESP, Jun, 2020, [En Línea]. Disponible En: <https://www.uaesp.gov.co/noticias/la-uaesp-tecnifico-la-planta-residuos-organicos-mochuelo>. [Acceso Abr. 30, 2022].

[30] C. Tibu, T. Y. Annang, N. Solomon, And D. Yirenya-Tawiah, “Effect Of The Composting Process On Physicochemical Properties And Concentration Of Heavy Metals In Market Waste With Additive Materials In The Ga West Municipality, Ghana,” Vol. 8, No. 4, Pp. 393–403, May 2019, Doi: 10.1007/S40093-019-0266-6.

- [31] M. Lalremruati And A. S. Devi, "Changes In Physico-Chemical Properties During Composting Of Three Common Household Organic Solid Wastes Amended With Garden Soil," Vol. 15, P. 100727, Sep. 2021, Doi: 10.1016/J.Biteb.2021.100727.
- [32] M. K. Awasthi, A. K. Pandey, P. S. Bundela, J. W. Wong, R. Li, And Z. Zhang, "Co-Composting Of Gelatin Industry Sludge Combined With Organic Fraction Of Municipal Solid Waste And Poultry Waste Employing Zeolite Mixed With Enriched Nitrifying Bacterial Consortium," Vol. 213, Pp. 181–189, Aug. 2016, Doi: 10.1016/J.Biortech.2016.02.026.
- [33] M. S. Jain, M. Daga, And A. S. Kalamdhad, "Variation In The Key Indicators During Composting Of Municipal Solid Organic Wastes," Vol. 29, No. 1, Pp. 1–8, Apr. 2019, Doi: 10.1186/S42834-019-0012-9.
- [34] R. L. Mhindu, M. Wuta, And E. Ngorima, "Composting Of Selected Organic Wastes From Peri-Urban Areas Of Harare, Zimbabwe," Vol. 2, No. 1, Pp. 1–12, Aug. 2013, Doi: 10.1186/2251-7715-2-14.
- [35] M. Kumar, Y.-L. Ou, And J.-G. Lin, "Co-Composting Of Green Waste And Food Waste At Low C/N Ratio," Vol. 30, No. 4, Pp. 602–609, 2010, Doi: 10.1016/J.Wasman.2009.11.023.
- [36] A. Makan, "Windrow Co-Composting Of Natural Casings Waste With Sheep Manure And Dead Leaves," Vol. 42, Pp. 17–22, Aug. 2015, Doi: 10.1016/J.Wasman.2015.04.019.
- [37] Ministerio De Vivienda Ciudad Y Territorio, RAS 2000, Título F - Sistemas De Aseo Urbano. 2017.
- [38] M. K. Awasthi, A. K. Pandey, P. S. Bundela, J. W. Wong, R. Li, And Z. Zhang, "Co-Composting Of Gelatin Industry Sludge Combined With Organic Fraction Of Municipal Solid Waste And Poultry Waste Employing Zeolite Mixed With Enriched Nitrifying Bacterial Consortium," Vol. 213, Pp. 181–189, Aug. 2016, Doi: 10.1016/J.Biortech.2016.02.026.

- [39] M. Kumar, Y.-L. Ou, And J.-G. Lin, “Co-Composting Of Green Waste And Food Waste At Low C/N Ratio,” Vol. 30, No. 4, Pp. 602–609, 2010, Doi: 10.1016/J.Wasman.2009.11.023.
- [40] J. Blanco, “Acondicionadores Y Mejoradores Del Suelo”. Unipamplona: Instituto Colombiano Agropecuario – ICA, 2006.
- [41] “NTC - 1061 Del 2020: Abonos O Fertilizantes. Tolerancias”, ICONTEC, Vol. IV, Colombia, Pp 1 - 13, 2020.
- [42] B. GEORGESCU, D. STRUȚI, T. PĂPUC, V. CIGHI, And A. BOARU, “Effect Of The Energy Content Of Diets On The Development And Quality Of The Fat Reserves Of Larvae And Reproduction Of Adults Of The Black Soldier Fly, *Hermetia Illucens* (Diptera: Stratiomyidae),” Vol. 118, No. 1, Pp. 297–306, Oct. 2021, Doi: 10.14411/Eje.2021.030.

ANEXOS

ANEXO 1

RECOMENDACIONES

Contar con todos los elementos de protección personal (EPP) y de salubridad a la hora de realizar el muestreo en las localidades de donde se toman los residuos, puesto que una mala recolección o manipulación podría representar afecciones en la salud de los investigadores.

En el proceso de biodegradación de los residuos orgánicos o de otro tipo de residuos tener funcionamiento al 100% de los sistemas de ventilación y tener un ducto conductor para extracción de malos olores y gases generados pues los mismos generan incomodidad y malestar en los manipuladores de los mismos.

Para próximas investigaciones se recomienda tener un sistema de control mucho más riguroso que no sea dependiente de una red de conexión de internet para tener el seguimiento de todos los datos que se podrían utilizar para el análisis en la investigación.

Realizar un cronograma de organización aparte del planteado para la investigación, esto con el fin de determinar las fechas y días en los cuales se va a realizar el conteo de las larvas junto con las variables de operación para tener el tiempo adecuado y se puedan llevar a cabo de la manera correcta.

Definir con anterioridad cuál será el objetivo primordial del experimento, pues las manos de los investigadores pueden estar limitadas y no ser suficientes para realizar todas las tareas que conlleva trabajar con procesos de biodegradación de cuatro tipos diferentes de residuos y además de ello determinar características de crecimiento de las larvas de BSF.

Teniendo en cuenta los sensores para la calidad de aire un sensor MQ-135, realizar en próximas investigaciones evaluaciones mucho más a fondo de los gases emitidos dentro del sistema y evaluar como los mismos pueden ser aprovechados o realmente solo son generadores de malos olores.

Evaluar la posibilidad de usar los diferentes sustratos (que no sean los residuos orgánicos domésticos trabajados para esta investigación) como un subproducto aprovechable que impulse la economía circular.

No trabajar con residuos cárnicos crudos que necesitan una constante refrigeración para evitar su putrefacción, generación de malos olores y mucho menos con residuos de este tipo que tengan un exceso en el contenido de grasa, pues los mismos no contribuyen significativamente en el sistema de bioconversión por parte de las larvas de *Hermetia Illucens*.

Anticipar y considerar una extensión en el proceso de consumo de las larvas, pues las mismas debido a su genética, condiciones de sustrato y condiciones ambientes pueden retardar el proceso y tardar mucho más de lo esperado.

Se recomienda realizar controles de humedad y seguimientos continuos de esta variable, teniendo en cuenta que cuando la misma sea inferior al 40% y en caso extremo al 35%, se deberá humedecer con frecuencia el sustrato de alimentación de la larva para que esta continúe con el proceso de consumo. De lo contrario, se verá ralentizada e inclusive nula la alimentación por parte del organismo por falta de agua en su alimento.

Es recomendable reajustar la cantidad de ventiladores o la distribución de los mismos en la división interna del reactor, pues en esta investigación solo se utiliza uno en todo el medio del material lo que puede generar mayor grado de aireación en lo que corresponde al piso 2 y 3 de la estructura soporte de los hogares de las larvas. Esto a su vez, podría implicar errores en la distribución de aire que controla la humedad y temperatura en la recamara de biodegradación provocando que los recipientes de los pisos superior e inferior (piso 1 y 4) no tengan las condiciones estipuladas previamente desde la cámara de control.

Realizar una caracterización física detallada en términos del sólido obtenido, en donde se contemple el diámetro de partícula, la granulometría y la porosidad del material con el fin de identificar si el mismo tendrá afinidad con el suelo en el cual será dispuesto este material y a su vez, determinar si este acondicionador de suelos necesita un proceso de tratamiento posterior al consumo larval para que pueda tener características idóneas para su uso inmediato.

Para procesos de biodegradación a escala, se recomienda tener control en la separación de los residuos directamente en la fuente de recolección, esto permitirá tener

un proceso más eficiente en la línea de pretratamiento del sustrato utilizado para la alimentación de las larvas. Teniendo en cuenta a su vez, que los resultados obtenidos durante esta investigación sugieren una gran aceptación de los residuos mixtos, lo cual implica un gran beneficio para actividades que se deseen escalar, para los cuales una rigurosa separación por sustratos no sería necesaria.

ANEXO 2

REGISTRO FOTOGRÁFICO VISITA AL MOCHUELO



REGISTRO FOTOGRÁFICO SEGUIMIENTO CRECIMIENTO LARVARIO

Residuos Orgánicos domésticos o Frescos

Recipiente 1



Recipiente 2



Recipiente 3



Recipiente 1



Recipiente 2



Recipiente 3



Recipiente 1



Recipiente 2



Recipiente 3



Recipiente 1



Recipiente 2



Recipiente 3



Recipiente 1



Recipiente 2



Recipiente 3



Recipiente 1



Recipiente 2



Recipiente 3



Recipiente 1



Recipiente 2



Recipiente 3



Residuos cocidos

Recipiente 4



Recipiente 5



Recipiente 6



Recipiente 4



Recipiente 5



Recipiente 6



Recipiente 4



Recipiente 5



Recipiente 6



Recipiente 4



Recipiente 5



Recipiente 6



Recipiente 4



Recipiente 5



Recipiente 6



Recipiente 4



Recipiente 5



Recipiente 6



Recipiente 4



Recipiente 5



Recipiente 6



Recipiente 4



Recipiente 5



Recipiente 6



Residuos cárnicos / proteína

Recipiente 7



Recipiente 8



Recipiente 9



Recipiente 7



Recipiente 8



Recipiente 9



Recipiente 7



Recipiente 8



Recipiente 9



Recipiente 7



Recipiente 8



Recipiente 9



Recipiente 7



Recipiente 8



Recipiente 9



Residuos Mixtos

Recipiente 10



Recipiente 11



Recipiente 12



Recipiente 10



Recipiente 11



Recipiente 12



Recipiente 10



Recipiente 11



Recipiente 12



Recipiente 10



Recipiente 11



Recipiente 12



Recipiente 10



Recipiente 11



Recipiente 12



Recipiente 10



Recipiente 11



Recipiente 12



Recipiente 10



Recipiente 11



Recipiente 12



ANEXO 3

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICA DE LOS RESIDUOS ORGÁNICOS DOMÉSTICOS REALIZADA POR AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.



INFORME DE RESULTADOS

ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES ORGÁNICOS

Registro ICA LB0000342021

Control de calidad de fertilizantes,
condicionadores de suelo y/o reguladores
fisiológicos.

Vigencia 17 de Nov. de 2031

Informe N°	15041-V1-2022	N° de Laboratorio	AMO-00756-2022
-------------------	---------------	--------------------------	----------------

Información del Cliente			
Remitente	DIANA MARCELA CUESTA PARRA	Responsable	SRA. VALENTINA GUZMAN MUÑETON
Propietario	SRA. VALENTINA GUZMAN MUÑETON	Email contacto	valentina.guzman@estudiantes.ua americana.edu.co
Fecha Ingreso	28-04-2022	Fecha Emisión	11-05-2022

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	NINGUNA	Lote / Bloque	N.S.
Fuente del Material /	NO ESPECIFICADO	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO CAFÉ	Condiciones recepción	CONFORME

CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIALES ORGÁNICOS SÓLIDOS

Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	77.1	%	70 °C / Gravimétrico / NTC 5167
pH	pH	5.83	Unidades de pH	Pasta de saturación / Potenciométrico / NTC 5167
Conductividad Eléctrica	CE	17.3	dS/m	Pasta de saturación / Conductimétrico / NTC 5167
Retención de Humedad	Ret. Hum.	49.9	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167
Cenizas	N.A.	5.21	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167
Perdidas por Volatilización	N.A.	17.7	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167
Capacidad de Intercambio Catiónico	CIC	15.7	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167
Densidad Real (En Base Seca)	N.A.	0.477	g/cm ³	Directo / Gravimétrico / NTC 5167
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	7.13	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	17	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	0.408	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	0.408	%	Micro-Kjeldahl / Volumétrico / NTC 370
Fósforo Total	P ₂ O ₅	0.178	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimétrico / NTC 234
Potasio Total	K ₂ O	0.640	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / PlantAnalysisProcedures
Calcio Total	CaO	2.78	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / PlantAnalysisProcedures
Magnesio Total	MgO	0.114	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / PlantAnalysisProcedures
Azufre Total	S	0.053	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimétrico / NTC 1154
Hierro Total	Fe	0.101	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / PlantAnalysisProcedures
Manganeso Total	Mn	17.5	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / PlantAnalysisProcedures

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Cobre Total	Cu	4.40	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / PlantAnalysisProcedures
Zinc Total	Zn	15.7	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / PlantAnalysisProcedures
Boro Total	B	9.61	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimétrico / NTC 1860
Sodio Total	Na	0.036	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / PlantAnalysisProcedures
Silicio (Soluble en HF)	SiO ₂	1.37	%	MVH HF / EAA / NTC 5167
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	1.70	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167
Observaciones a los resultados:		Convenciones:		
NINGUNO		N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sin. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas		

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

ANEXO 4

REPORTES POR SUSTRATO (VARIABLES DE CONTROL Y SEGUIMIENTO DE CRECIMIENTO LARVARIO)

- Seguimiento larvario

Residuos Frescos

Fecha	Día de experimentación	Peso biomasa larvas (g)	Ancho biomasa larvas (cm)	Longitud biomasa larvas (cm)
25/05/2022	3	3,92	0,16	0,60
27/05/2022	5	21,07	0,31	1,05
31/05/2022	9	35,18	0,35	1,40
01/06/2022	10	35,68	0,36	1,40
03/06/2022	12	47,43	0,38	1,47
06/06/2022	15	40,66	0,33	1,44
08/06/2022	17	33,98	0,35	1,44

Residuos Cocidos

Fecha	Día de experimentación	Peso biomasa larvas (g)	Ancho biomasa larvas (cm)	Longitud biomasa larvas (cm)
25/05/2022	3	5,02	0,1247	0,58
27/05/2022	5	14,08	0,28	1,02
31/05/2022	9	76,16	0,44	1,52
01/06/2022	10	73,67	0,49	1,81
03/06/2022	12	75,16	0,47	1,67
06/06/2022	15	63,36	0,45	1,44
08/06/2022	17	63,75	0,47	1,37

Residuos Cárnicos / Proteína

Fecha	Día de experimentación	Peso biomasa larvas (g)	Ancho biomasa larvas (cm)	Longitud biomasa larvas (cm)
25/05/2022	3	4,09	0,14	0,57
27/05/2022	5	8,34	0,26	0,77
31/05/2022	9	18,48	0,33	1,08
01/06/2022	10	18,17	0,34	0,98
03/06/2022	12	17,90	0,35	1,13
06/06/2022	15	15,16	0,34	1,13
08/06/2022	17	16,25	0,35	1,09

Residuos Mixtos

Fecha	Día de experimentación	Peso biomasa larvas (g)	Ancho biomasa larvas (cm)	Longitud biomasa larvas (cm)
25/05/2022	3	4,40	0,16	0,61
27/05/2022	5	46,10	0,37	1,11
31/05/2022	9	87,85	0,49	1,85
01/06/2022	10	98,91	0,47	1,77
03/06/2022	12	93,99	0,51	1,95
06/06/2022	15	86,61	0,45	1,79
08/06/2022	17	70,62	0,47	1,74

- Seguimiento a variables de control

Residuos Frescos

Fecha	Día de experimentación	Humedad (%)	Temperatura (°C)	pH
25/05/2022	3	73,19	25,89	8,39
27/05/2022	5	72,52	29,21	9,13
31/05/2022	9	64,89	23,03	9,57
03/06/2022	12	60,11	23,71	9,57
06/06/2022	15	57,98	23,58	10,09

08/06/2022	17	51,81	22,58	10,02
------------	----	-------	-------	-------

Residuos Cocidos

Fecha	Día de experimentación	Humedad (%)	Temperatura (°C)	pH
25/05/2022	3	68,12	23,12	4,80
27/05/2022	5	66,88	27,14	4,45
31/05/2022	9	62,69	24,76	6,06
03/06/2022	12	43,66	22,54	6,07
06/06/2022	15	28,24	22,04	6,36
08/06/2022	17	17,36	21,80	6,76

Residuos Cárnicos / Proteínas

Fecha	Día de experimentación	Humedad (%)	Temperatura (°C)	pH
25/05/2022	3	45,26	23,84	7,89
27/05/2022	5	47,64	26,01	7,41
31/05/2022	9	43,97	22,73	7,14
03/06/2022	12	42,80	23,01	7,11
06/06/2022	15	52,73	23,46	6,91
08/06/2022	17	42,32	23,60	6,73

Residuos Mixtos

Fecha	Día de experimentación	Humedad (%)	Temperatura (°C)	pH
25/05/2022	3	58,62	24,46	4,96
27/05/2022	5	67,17	30,30	5,36
31/05/2022	9	63,92	23,99	8,70
03/06/2022	12	55,02	21,89	8,75
06/06/2022	15	60,44	22,88	8,80
08/06/2022	17	49,14	22,14	8,56

ANEXO 5

BALANCE DE MASA PARA EL FLUJO DE AGUA

En este anexo se presentan las tablas de balance de masa para el flujo de agua para cada uno de los tratamientos y sus respectivas réplicas con 4 cifras significativas, esto con el fin de presentar resultados más robustos.

- Peso del sustrato

$$\text{Peso sustrato (g)} = \text{Peso sustrato + larvas} - \text{Peso larvas}$$

- Agua en el sustrato

$$\text{Agua sustrato} = \text{Humedad} * \frac{\text{Peso sustrato}}{100}$$

- Peso sustrato seco

$$\text{Peso sustrato seco} = \text{Peso sustrato} - \text{Agua sustrato}$$

- Balance de masa para los residuos frescos

RECIPIENTE 1 RESIDUOS FRESCOS				
Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	432,0000	168,0000
25/05/2022	3	549,4586	391,5863	157,8722
27/05/2022	5	493,7967	355,0962	138,7005
31/05/2022	9	346,9067	236,7264	110,1803
3/06/2022	12	236,4533	114,6500	121,8033
6/06/2022	15	198,0267	93,0405	104,9861
8/06/2022	17	171,4367	62,3303	109,1064
10/06/2022	19	123,1600	44,9917	78,1683
13/06/2022	21	123,8183	46,1812	77,6372

RECIPIENTE 2 RESIDUOS FRESCOS

Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	432,0000	168,0000
25/05/2022	3	547,3994	403,4550	143,9444
27/05/2022	5	489,8167	370,8825	118,9342
31/05/2022	9	345,5567	220,6638	124,8929
3/06/2022	12	263,9733	160,7147	103,2586
6/06/2022	15	211,5433	134,1358	77,4076
8/06/2022	17	164,1467	90,4581	73,6886
10/06/2022	19	128,1200	45,5509	82,5691
13/06/2022	21	128,1533	46,2390	81,9143

RECIPIENTE 3 RESIDUOS FRESCOS

Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	432,0000	168,0000
25/05/2022	3	538,8303	402,0260	136,8042
27/05/2022	5	479,1867	335,1271	144,0596
31/05/2022	9	337,1800	210,9346	126,2454
3/06/2022	12	250,2700	154,0723	96,1977
6/06/2022	15	185,4467	104,3297	81,1169
8/06/2022	17	158,4667	78,7940	79,6727
10/06/2022	19	127,4467	45,4112	82,0355
13/06/2022	21	129,4757	46,1341	83,3415

- Balance de masa para residuos cocidos

RECIPIENTE 4 RESIDUOS COCIDOS

Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	431,0376	168,9624
25/05/2022	3	551,6708	144,7335	406,9373
27/05/2022	5	504,0167	234,2403	269,7763

31/05/2022	9	265,3067	121,2120	144,0947
3/06/2022	12	126,6133	52,0547	74,5586
6/06/2022	15	90,3167	41,8019	48,5148
8/06/2022	17	85,2500	37,8332	47,4168
10/06/2022	19	58,4733	10,1004	48,3729
13/06/2022	21	62,6500	7,8839	54,7661

RECIPIENTE 5 RESIDUOS COCIDOS

Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	431,0376	168,9624
25/05/2022	3	555,6579	386,7020	168,9559
27/05/2022	5	537,1267	360,6147	176,5119
31/05/2022	9	259,7500	144,9809	114,7691
3/06/2022	12	186,1500	60,2836	125,8664
6/06/2022	15	128,8733	42,0221	86,8513
8/06/2022	17	54,2500	10,2035	44,0465
10/06/2022	19	57,0607	10,1245	46,9363
13/06/2022	21	58,0467	11,5340	46,5127

RECIPIENTE 6 RESIDUOS COCIDOS

Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	431,0376	168,9624
25/05/2022	3	560,0658	364,6968	195,3690
27/05/2022	5	517,4727	331,3807	186,0920
31/05/2022	9	375,6269	249,1747	126,4522
3/06/2022	12	146,1533	71,2974	74,8559
6/06/2022	15	90,1533	25,6701	64,4833
8/06/2022	17	84,1233	18,1882	65,9351
10/06/2022	19	82,9400	13,7989	69,1411
13/06/2022	21	88,4207	14,1266	74,2941

- Balance de masa para los residuos cárnicos / proteína

RECIPIENTE 7 RESIDUOS PROTEÍNA/CÁRNICOS				
Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	317,4639	282,5361
25/05/2022	3	570,0158	149,5464	420,4694
27/05/2022	5	543,8833	252,7682	291,1151
31/05/2022	9	476,6967	217,7908	258,9059
3/06/2022	12	430,6867	177,0688	253,6179
6/06/2022	15	408,3500	188,9994	219,3506
8/06/2022	17	389,8100	172,9942	216,8158
10/06/2022	19	357,0533	62,7464	294,3069
13/06/2022	21	353,1367	115,4554	237,6812

RECIPIENTE 8 RESIDUOS PROTEÍNA/CÁRNICOS				
Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	317,4639	282,5361
25/05/2022	3	567,0401	329,4449	237,5952
27/05/2022	5	566,2534	310,0911	256,1623
31/05/2022	9	499,6767	199,7217	299,9550
3/06/2022	12	443,0533	206,4644	236,5890
6/06/2022	15	407,8800	166,2375	241,6425
8/06/2022	17	388,2600	136,1231	252,1369
10/06/2022	19	375,5167	118,0797	257,4370
13/06/2022	21	371,8233	107,4297	264,3936

RECIPIENTE 9 RESIDUOS PROTEÍNA/CÁRNICOS				
Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	317,4639	282,5361
25/05/2022	3	574,2273	295,3818	278,8455
27/05/2022	5	545,1233	227,2663	317,8570
31/05/2022	9	472,7933	218,6211	254,1722

3/06/2022	12	437,0700	177,8273	259,2427
6/06/2022	15	402,2933	286,2047	116,0886
8/06/2022	17	393,6700	187,1242	206,5458
10/06/2022	19	371,6533	68,1382	303,5151
13/06/2022	21	370,9964	146,2126	224,7839

- Balance de masa para los residuos mixtos

RECIPIENTE 10 RESIDUOS MIXTOS				
Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	317,4639	282,5361
25/05/2022	3	543,5471	292,6680	250,8791
27/05/2022	5	495,0000	300,5540	194,4460
31/05/2022	9	338,5000	235,9108	102,5892
3/06/2022	12	372,6190	188,3447	184,2743
6/06/2022	15	132,5533	84,7489	47,8044
8/06/2022	17	123,5733	57,6953	65,8781
10/06/2022	19	98,9133	14,4045	84,5089
13/06/2022	21	99,7000	14,5190	85,1810

RECIPIENTE 11 RESIDUOS MIXTOS				
Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	317,4639	282,5361
25/05/2022	3	543,3752	338,3521	205,0231
27/05/2022	5	455,6867	334,0951	121,5916
31/05/2022	9	264,5067	161,4361	103,0706
3/06/2022	12	178,4967	113,5729	64,9238
6/06/2022	15	155,5567	96,1121	59,4446
8/06/2022	17	121,3133	63,1948	58,1185
10/06/2022	19	102,9367	45,7198	57,2169
13/06/2022	21	103,8797	25,1811	78,6985

RECIPIENTE 12 RESIDUOS MIXTOS

Fecha	Día de experimentación	Peso del sustrato (g)	Agua en el sustrato	Peso sustrato seco
23/05/2022	1	600,0000	317,4639	282,5361
25/05/2022	3	523,4288	312,8089	210,6200
27/05/2022	5	441,3600	297,8580	143,5020
31/05/2022	9	220,7683	134,7413	86,0270
3/06/2022	12	139,3967	70,9479	68,4487
6/06/2022	15	98,5600	54,7900	43,7700
8/06/2022	17	106,7367	51,9185	54,8182
10/06/2022	19	82,5467	23,1738	59,3729
13/06/2022	21	82,7833	14,5228	68,2605

ANEXO 6

RESULTADOS DE LA CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA BIOMASA RESIDUAL OBTENIDA REALIZADA POR AGRILAB LABORATORIOS S.A.S.



INFORME DE RESULTADOS

Registro ICA LB0000342021

ÁREA DE ANÁLISIS DE MATERIALES ORGÁNICOS

Control de calidad de fertilizantes, acondicionadores de suelo y reguladores biológicos.
Vigencia 17 de Nov. de 2031

Informe N°	20520-V1-2022	N° de Laboratorio	AMO-01072-2022
-------------------	----------------------	--------------------------	-----------------------

Información del Cliente			
Remitente	NICOLAS MACIAS GIRALDO	Responsable	SR. NICOLAS MACIAS GIRALDO
Propietario	SR. NICOLAS MACIAS GIRALDO	Email contacto	nicolasmg.0502@hotmail.com
Fecha Ingreso	14-06-2022	Fecha Emisión	05-07-2022

Información de la Muestra Suministrada por el cliente			
Identificación Suministrada	ACONDICIONADOR DE SUELOS	Lote / Bloque	N.S.
Fuente del Material /	NO ESPECIFICADO	Contrato N°	
Descripción Física	SÓLIDO CAFÉ	Condiciones recepción	CONFORME

CARACTERIZACIÓN Y COMPOSICIÓN DE MATERIALES ORGÁNICOS SÓLIDOS				
Variable	Expresión / Sigla	Resultados	Unidades	Extractante/Técnica/Documento Normativo
Humedad	N.A.	27.5	%	40 y 70 °C / Gravimetría / NTC 5167 (r)
pH en pasta de saturación	pH	8.71	Unidades de pH	Pasta de saturación / Potenciométrico / NTC 5167 (r)
Conductividad Eléctrica	CE	6.34	dS/m	Pasta de saturación / Conductimétrico / NTC 5167 (r)
Retención de Humedad	Ret. Hum.	171	%	Pasta de saturación / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Cenizas	N.A.	21.4	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Perdidas por Volatilización	N.A.	51.1	%	700 °C / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Capacidad de Intercambio Catiónico - CIC	CIC	58.6	meq/100g	Acetato de amonio / Volumétrico / NTC 5167 (r)
Densidad	N.A.	0.558	g/cm ³	Directo / Gravimétrico / NTC 5167 (r)
Carbono Orgánico Oxidable Total	COOx	17.8	%	Sln. Dicromato de Potasio / Colorimétrico / NTC 5167 (r)
Relación Carbono / Nitrógeno	C/N	12	Adimensional	Relación matemática

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Nitrógeno Total	NT	1.46	%	Sumatoria de Especies de Nitrógeno requeridas por el cliente
Nitrógeno Orgánico	N Orgánico	1.46	%	Micro-Kjeldahl / Volumetría / NTC 5167-NTC 370 (r)
Fósforo total	P ₂ O ₅	0.455	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimetría / NTC 5167-NTC 234 (r)
Potasio Total	K ₂ O	2.42	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 202 (r)
Calcio total	CaO	6.72	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Magnesio total	MgO	0.363	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Azufre total	S	0.201	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Turbidimetría / NTC 5167 - IGAC(1982) -NTC 1154 (r)
Hierro total	Fe	0.189	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Manganeso total	Mn	60.5	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Cobre Total	Cu	25.7	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)

CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN MINERAL				
Zinc Total	Zn	67.2	mg/kg	MVH Ác. Nítrico:Ác. Perclórico / EAA / NTC 5167 - EPA7000B (r)
Boro total	B	40.9	mg/kg	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Colorimétrico / NTC 5167 - NTC 1860 (r)
Sodio Total	Na	0.138	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / EEA / NTC 5167 - NTC 1146 -EPA 7000B (r)
Silicio total	SiO ₂	6.57	%	MVH HF / EAA / NTC 5167 (r)
Residuo Insoluble en Ácido	N.A.	6.66	%	MVH Ácido Nítrico:Ácido Perclórico / Gravimétrico / NTC 5167
Observaciones a los resultados:		Convenciones:		
El producto presenta prueba positiva para carbonatos.		N.R. No registra / N.A. No Aplica / Sln. Solución / N.S. No Suministrada / N.D.No Detectado / MVH Mineralización Vía Húmeda / M.I. Muestra Insuficiente EAA Espectroscopía de Absorción Atómica / EEA Espectroscopía de Emisión Atómica / ICP-OES Espectroscopía de Emisión Óptica de plasma acoplado inductivamente / EAM Extracción Asistida con Microondas		

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