

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE VERMICULTURA UTILIZANDO
LARVAS DE HERMETIA ILLUCENS Y TENEBRIO MOLITOR PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS EN
LA PLAZA DE MERCADO LA ROSITA**

WILMER LEONARDO GÓMEZ GARCÍA.

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2018

**EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE VERMICULTURA UTILIZANDO
LARVAS DE HERMETIA ILLUCENS Y TENEBRIO MOLITOR PARA EL
APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS EN
LA PLAZA DE MERCADO LA ROSITA**

DIRECTOR:

M.S.C ALVARO ANDRÉS CAJIGAS CERON

WILMER LEONARDO GÓMEZ GARCÍA

PRESENTADO PARA OPTAR AL TITULO DE: INGENIERO AMBIENTAL

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA - SECCIONAL BUCARAMANGA

ESCUELA DE INGENIERÍA

FACULTAD DE INGENIERÍA AMBIENTAL

BUCARAMANGA

2018

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	3
1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA	5
2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA	8
3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA	10
4. ANTECEDENTES	11
5. JUSTIFICACIÓN	13
6. OBJETIVOS	16
7. MARCO TEÓRICO	17
8. METODOLOGÍA	24
9. RESULTADOS	27
10. CONCLUSIONES	46
11. RECOMENDACIONES	48
12. BIBLIOGRAFÍA	49

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Capacidades de transformación residuos orgánicos y plásticos	31
Tabla 2: Contenido Nutricional residuos Mosca Soldado Negra (<i>Hermetia Illucens</i>)	44
Tabla 3: Análisis Bromatológico <i>Hermetia Illucens</i>	44
Tabla 4: Análisis Bromatológico <i>Hermetia Illucens</i>	45

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Estructura Organizacional CDMB	7
Figura 2: Plan de acción Institucional CDMB (2015). Situación actual de los planes de gestión integral de Residuos sólidos	9
Figura 3: Indicadores mínimos de gestión.....	9
Figura 4: Ciclo de vida Mosca soldado negra (<i>Hermetia Illucens</i>) 1) Adulto, 2) Huevo, 3) Estado larval 1-5, 4) Prepupa, 5) Pupa.	19
Figura 5: Ciclo de vida Gusano de la Harina (<i>Tenebrio Molitor</i>) 1) Adulto, 2) Huevo, 3) Estado larval 1-11, 4) Ninfa.....	22
Figura 6: Economía Circular	23
Figura 7: Vista Frontal, Instalaciones Planta Piloto.....	27
Figura 9: Diseño Insectario.	28
Figura 11: Insectario Convencional.....	31
Figura 12: Larvarios convencionales.....	32
Figura 13: Presentación proyecto en Expedición Santander.	38
Figura 14: Presentación proyecto al comando de la Policía metropolitana de Bucaramanga. ...	39
Figura 16: Presentación proyecto al concejo municipal de El Playón Santander.....	40

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: EVALUACIÓN DE UN SISTEMA DE VERMICULTURA UTILIZANDO LARVAS DE HERMETIA ILLUCENS Y TENEBRIO MOLITOR PARA EL APROVECHAMIENTO DE LOS RESIDUOS SOLIDOS GENERADOS EN LA PLAZA DE MERCADO LA ROSITA

AUTOR(ES): WILMER LEONARDO GÓMEZ GARCÍA

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR(A): ALVARO ANDRÉS CAJIGAS CERON

RESUMEN

El inadecuado manejo de residuos sólidos representa uno de los mayores problemas ambientales en la actualidad. En Colombia, el problema se agudiza por la inexistencia de actividades de separación en la fuente al momento de generar los residuos, sin embargo se presenta una fortaleza como el alto porcentaje de residuos orgánicos que se generan frente a los otros tipos de residuos. Esto se presenta como una oportunidad para la búsqueda de nuevas alternativas que permitan el máximo aprovechamiento de los residuos permitiendo así la valorización de estos para reincorporarlos en el ciclo económico. El presente trabajo está dirigido a la búsqueda de una alternativa eficiente para solucionar la problemática ambiental relacionada con los residuos sólidos. Se plantea el uso de vermicultura, utilizando dos especies de larvas, la *Hermetia illucens* para degradación de residuos orgánicos y el *Tenebrio Molitor* para el tratamiento de poliestireno expandido. La evaluación estuvo conformada por una etapa de revisión bibliográfica, de diseño y una parte experimental, que consistió en la evaluación del sistema para la crianza, el ciclo de vida de ambas especies, los factores que alteran su cría, reproducción y degradación de los residuos. Los resultados obtenidos permitieron evidenciar la factibilidad de ambas especies para la transformación y aprovechamiento de residuos orgánicos y plásticos, así como la duración de cada una de sus etapas, de igual forma se estableció que una dieta basada exclusivamente en poliestireno expandido por parte del *Tenebrio Molitor* produce infertilidad por lo que se analizó una posible solución a este efecto secundario solucionándose con la aplicación de trazas de frutas que sirven como medio de hidratación. Concluyendo con el cierre en la cadena económica debido a generación de dos subproductos que se pueden incorporar en la industria agropecuaria cumpliendo así con el concepto de economía circular.

PALABRAS CLAVE:

Hermetia Illucens, (*Tenebrio Molitor*), Residuo Orgánico, Poliestireno expandido.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: EVALUATION OF A VERMICULTURE SYSTEM USING LARVAS DE HERMETIA ILLUCENS AND TENEBRIO MOLITOR FOR THE UTILIZATION OF SOLID WASTE GENERATED IN LA ROSITA MARKET PLAZA

AUTHOR(S): WILMER LEONARDO GÓMEZ GARCÍA

FACULTY: Facultad de Ingeniería Ambiental

DIRECTOR: ALVARO ANDRÉS CAJIGAS CERON

ABSTRACT

The problematic of solid residual waste today. In Colombia, the problem is getting worst by the lack of activities due the separation at the source while generating waste, however, there is a huge percentage of organic waste compared to other types of waste. This is presented as new opportunity to search for new alternatives that allow the maximum use of waste as well as the valorization of these to reincorporate them in the economic cycle. The present work is directed to find an efficient alternative for the environmental problems related to solid waste. The use of vermiculture, consist in the use of larval species, the Hermetia for the degradation of organic waste and the Tenebrio Molitor for the treatment of expanded polystyrene are proposed. The evaluation was made up of a stage of bibliographic revision, of design and an experimental part, which consisted in the evaluation of the system for the upbringing, the life cycle of the species, the factors that alter its creature, the reproduction and degradation of the waste. The results obtained allowed to demonstrate the feasibility of both species for the transformation and the use of organic and plastic waste, as well as the duration of each of its stages, in the same way that it was established that an exclusive diet in expanded polystyrene on the part of Tenebrio Molitor to produce infertility, so a possible solution to this side effect solution was analyzed with the application of traces of fruit that serve as a means of hydration. Concluding with the closure in the economic chain due to a generation of two by-products that can be incorporated in the agricultural industry fulfilling the concept of circular economy

KEYWORDS:

Hemeticia Illucens, Tenebrio Molitor, Organic Residue, Expanded Polystyrene.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

En el ámbito nacional los residuos sólidos que se generan en el Área Metropolitana de Bucaramanga se caracterizan por ser de origen orgánico, aproximadamente el 88% del total de residuos que ingresan al relleno sanitario son orgánicos y el 38% de estos son residuos de comida, así mismo los plásticos representan el 10% de estos residuos orgánicos, según la caracterización registrada en el PGRIS de Bucaramanga del año 2016 (Alcaldía Bucaramanga, 2016). El municipio cuenta con programas de aprovechamiento de residuos orgánicos generados en plazas de mercado pero debido a que no se ejecutan en forma significativa y constante no se ve un resultado positivo en la implementación de estos, a esto se le suma que no se cuenta con la infraestructura adecuada. Actualmente solo se está ejecutando un proyecto por EMAB S.A. E.S.P., que se da en inmediaciones del relleno sanitario el Carrasco, donde el material utilizado proviene única y exclusivamente de la plaza de mercado de San Francisco, aunque cabe aclarar que la planta de compostaje no cuenta con la capacidad para tratar la totalidad de residuos generados en las 12 plazas de mercado de Bucaramanga (Alcaldía Bucaramanga, 2016). El inadecuado manejo de los residuos sólidos se convirtió en una problemática para las comunidades en general, debido al crecimiento y evolución de las diversas actividades humanas se han acarreado mayor generación de residuos, el principal problema se debe a que no se aprovechan adecuadamente los residuos generados a pesar de contar con características que hacen viable su aprovechamiento y retorno al flujo económico, esto implica que se deben dar soluciones adecuadas para el aprovechamiento de los residuos de acuerdo a las características de la comunidad y convertir el problema en una oportunidad económica, social y ambiental.

Muchos países han invertido en investigación en nuevos sistemas que permitan un adecuado tratamiento de los residuos dejando al lado los rellenos sanitarios convencionales, o haciendo usos de estos solo para residuos que no pueden recibir ningún tratamiento. El uso de organismos que transforman la materia orgánica en productos aprovechables ha tenido una gran acogida y ha sido objeto de investigación durante varios años.

La larva de soldado negro *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) presenta ventajas para el tratamiento de desechos orgánicos debido a que las larvas procesan una gran variedad de material orgánico ya que la materia orgánica no requiere un tratamiento previo como si se necesitan en otros tratamientos como lombricultura, etc. Además de esto funcionan como controlador biológico de la mosca común, reduce la cantidad de microorganismos patógenos en los residuos. Las larvas trabajan mucho más rápido que los procesos con lombrices o Compostaje y eliminan el 95% de los desechos orgánicos y la reducción de la humedad del mismo, lo que contribuye al control de malos olores. La especie se presenta como no plaga, debido a que no se alimenta en su forma adulta, en su adultez su fuente de energía son pequeñas cantidades de azúcares por esta razón el adulto rara vez ingresa a viviendas humanas y son mayoritariamente encontrados en zonas silvestres (Nandayure. M. Studt S. 2010).

Así mismo el gusano de la harina (*Tenebrio Molitor*) se presenta como una solución para la degradación del poliestireno expandido (PS), el poliestireno expandido es un polímero plástico derivado del petróleo obtenido de una sustancia denominada estireno (monómero). Representa un gran problema debido a que el ciclo de vida de este material es muy corto, su degradación es muy lenta, cumplen su función industrial muy rápido y terminan formando rápidamente parte de la acumulación de los residuos sólidos generados diariamente. (Quintero P. Carlos H. 2013).

1. GENERALIDADES DE LA EMPRESA

La Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la Meseta de Bucaramanga CDMB, es un ente corporativo autónomo creado por la ley 99 de 1993, de naturaleza pública, relacionada a nacional, departamental y municipal, integrado por las entidades territoriales que por sus características constituyen geográficamente un mismo ecosistema o conforman una unidad geopolítica, biogeográfica o hidrogeográfica.

Cuenta con autonomía administrativa y financiera, patrimonio propio y personería jurídica, encargada por la ley de administrar dentro del área de su jurisdicción, el medio ambiente y los recursos naturales renovables, y propender por su desarrollo sostenible, de conformidad con las disposiciones legales y las políticas del Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial. La CDMB tienen como objetivo principal la ejecución de las políticas, planes, programas y proyectos sobre medio ambiente y recursos naturales renovables, así como dar cumplida y oportuna aplicación a las disposiciones legales vigentes sobre su disposición, administración, manejo y aprovechamiento, conforme a las regulaciones, pautas y directrices expedidas por el Ministerio de Ambiente, Vivienda y Desarrollo Territorial.

Actividad económica, productos y/o servicios

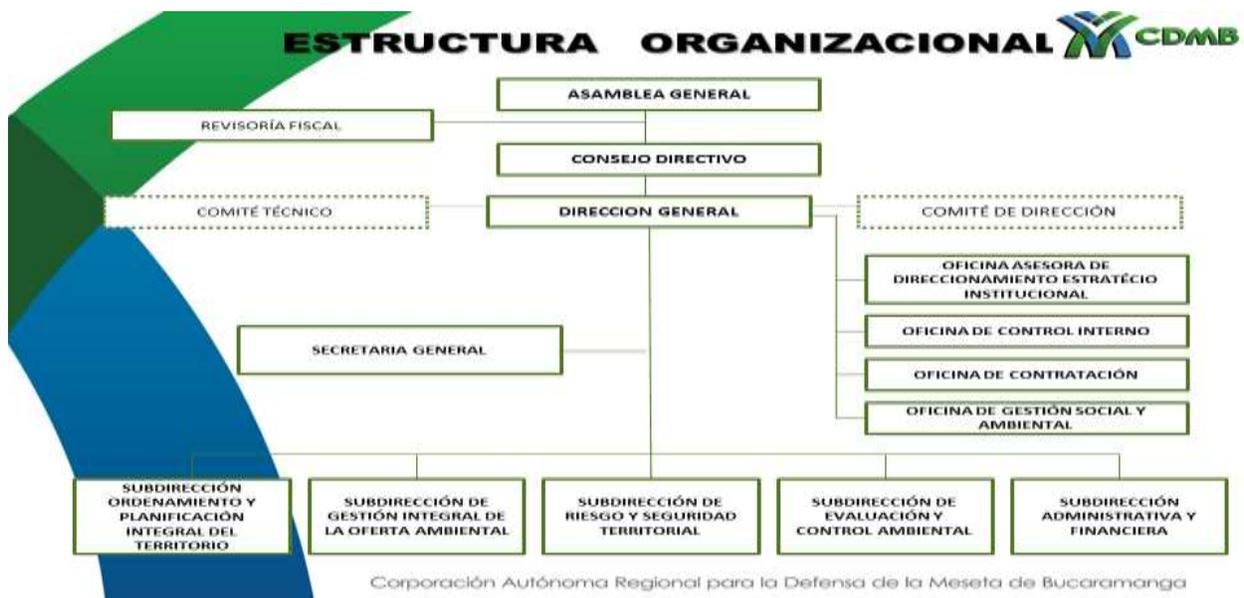
Se destacan algunas de las funciones más importantes en materia ambiental tales como:

- De acuerdo con las normas de carácter superior y conforme a los criterios y directrices trazadas por el Ministerio del Medio Ambiente es un organismo en cargo de cumplir la función de máxima autoridad ambiental en el área de su jurisdicción.
- Manejar los recursos naturales renovables con programas de protección ambiental de desarrollo sostenible mediante la promoción, desarrollo y vinculación participativa de la comunidad.
- Expedir concesiones, permisos, autorizaciones y licencias ambientales requeridas por la Ley para el uso, aprovechamiento o movilización de los recursos naturales renovables o para el desarrollo de actividades que afecten o puedan afectar el medio ambiente. Otorgar permisos y concesiones para aprovechamientos forestales, concesiones para el uso de aguas superficiales y subterráneas y establecer vedas para la caza y pesca deportiva;
- Trazar los límites permisibles de emisión, descarga, transporte o depósito de sustancias, productos, compuestos o cualquier otra materia que alteren el medio ambiente o los recursos naturales renovables, así mismo prohibir, restringir o regular la fabricación, distribución, uso, disposición o vertimiento de sustancias que causen la degradación del medio ambiente dentro de su área de jurisdicción. Estos límites deberán ser igual o más estrictos que los establecidos por el ministerio de medio ambiente

Estructura organizacional

La CDMB en su estructura (**Figura 1**) posee órganos de dirección, encabezados por la Asamblea General o Asamblea Corporativa. Su organización esta basa en Subdirecciones y sus respectivos grupos internos de trabajo.

Figura 1: Estructura Organizacional CDMB



Fuente: Recuperado de: <http://www.cdm.gov.co/web/documentos/documentos-2015-1/1192-pgar-2015/file>

2. DIAGNÓSTICO DE LA EMPRESA

Uno de los mayores retos de las autoridades ambientales a corto, mediano y largo plazo es el tema de residuos sólidos, teniendo en cuenta la clasificación o separación en la fuente, la articulación general, el liderazgo institucional entre otros son los temas que se deben abordar para garantizar un solución a una problemática que se encuentra en estados crítico en el área de jurisdicción de la CDMB.

La problemática existente que aborda los residuos sólidos se debe principalmente a la carencia de separación en la fuente de estos, la falta de educación ambiental de la población, el inadecuado uso del espacio definido para la disposición final “El carrasco” localizado en área urbana, sumándose a esto los estados de emergencia sanitaria que se han declarado en los últimos años.

La CDMB en cumplimiento con el PGAR (Plan de Gestión Ambiental Regional) y su plan de acción institucional (PAI) ha realizado acompañamiento y seguimiento en la realización de los planes de gestión integral de residuos sólidos (PGIRS) a los municipios de su jurisdicción de acuerdo a los lineamientos establecidos por ley (**Figura 2**).

Manejo de residuos solidos

Situación Actual de los Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos

Figura 2: Plan de acción Institucional CDMB (2015). Situación actual de los planes de gestión integral de Residuos sólidos

MUNICIPIO	PRESENTE (SI – NO)
Bucaramanga	SI
Piedecuesta	NO
Floridablanca	SI
Girón	SI
Lebrija	SI – pero no se ajusta a la Resolución 754 de 2014
Vetas	SI
California	No
El Playón	SI – Pero no se ajusta a la norma
Rionegro	SI
Tona	No
Surata	SI
Charta	SI – Se ajusta a la norma

Fuente: Recuperado <http://www.cdm.gov.co/web/documentos/documentos-2015-1/1192-pgar-2015/file>.

Mecanismos de seguimiento y evaluación

La CDMB plantea como mecanismos de seguimiento y evaluación las modificaciones que el MADS viene trabajando (**Figura 3**), las cuales se espera sean adoptadas en el menor tiempo posible.

Figura 3: Indicadores mínimos de gestión.

Código	INDICADORES MINIMOS DE GESTIÓN Propuesta en estudio	UNIDAD DE MEDIDA	2016	2017	2018	2019
5	Porcentaje de Planes de Gestión Integral de Residuos Sólidos (PGIRS) con seguimiento.	PGIRS en seguimiento con relación al total de Usuarios obligados	100	100	100	100

Fuente: Recuperado de: <http://www.cdm.gov.co/web/documentos/documentos-2015-1/1192-pgar-2015/file>

3. DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

La evaluación se plantea como Desarrollo tecnológico y experimental, teniendo como finalidad evaluar la degradación de los residuos sólidos orgánicos y plásticos generados en la plaza de mercado la rosita del municipio de Bucaramanga mediante la utilización de vermicultura usando la larva soldado negro (*Hermetia Illucens*) y gusano de la harina (*Tenebrio Molitor*). Para esto se debe establecer un sistema de reproducción y crianza, donde se evaluara el ciclo de vida de ambas especies, los factores que alteran su cria, reproducción y degradación de los residuos, así como la velocidad de desarrollo de la pupa, velocidad de transformación del producto, caracterización de subproductos y generación de posibles lixiviados.

El proyecto se llevara a cabo a escala piloto, se realizara el montaje de los sistemas de crianza en el vivero La Rosita propiedad de la Corporación autónoma regional para la defensa de la meseta de Bucaramanga (CDMB), estará a cargo de la subdirección de la gestión integral de la oferta ambiental, haciendo parte del proyecto 7 en la implementación de los programas de negocios verdes regionales en la categoría de eco productos industriales en el sector de aprovechamiento de residuos sólidos.

4. ANTECEDENTES

Un estudio realizado en Italia en el 2016 donde se evaluó el impacto ambiental generado para la puesta en marcha de una planta para la bioconversión de residuos sólidos por medio de *Hermetia illucens*, mediante la aplicación de Evaluación del Ciclo de Vida. En primer lugar, el estudio señaló que los beneficios ambientales más significativos están relacionados con la sustitución de la producción de fertilizantes nitrogenados, así mismo destaca que el proceso de bioconversión través *Hermetia illucens* es una opción muy atractiva, teniendo en cuenta que representa una valiosa solución potencial a dos problemas: la gestión de los residuos de alimentos, por un lado y, por el otro, la creciente demanda mundial de alimentación. Cuando se compara con otras fuentes de materia prima para la alimentación o biodiesel, estos resultados muestran que los beneficios más significativos de la producción de insectos están conectados al uso de la tierra, mientras que el uso de energía es la principal carga, y la estimación del potencial de calentamiento global aún se ve afectada por muchas incertidumbres. (Salomone et al., 2017).

Así mismo en el 2010 en china se evaluó la producción de biodiesel a partir de la degradación de residuos sólidos por parte de *Hermetia illucens*, se inoculó en estiércol de ganado, estiércol de cerdo, y el estiércol de pollo en una proporción de 1.000 larvas por kg de residuos, y se incubaron durante 10 días a temperatura ambiente, demostrando así que *Hermetia illucens* es capaz de crecer en residuos orgánicos, realizando el proceso que convierte los residuos orgánicos en biomasa de insectos dando como resultado 35,5 g, 57g y 91,4 g de biodiesel que se producen a partir de 1000 *Hermetia illucens* incubadas en 1 kg de estiércol de ganado, estiércol de cerdo y estiércol de pollo, respectivamente (Li et al., 2011).

En otro estudio en Antioquia, Colombia en el 2004, se estudió el valor nutritivo de la harina de larvas de *Hermetia illuscens* L. a partir del análisis composicional, prueba de digestibilidad y calidad microbiológica de esta, se observaron niveles altos de proteína, también las pruebas de digestibilidad en pepsina se realizaron a una concentración al. El resultado nos demuestra que la harina a base de pescado presenta una mayor digestibilidad de la harina de las larvas de *Hermetia illuscens* L. También se observaron niveles de grasa más altos comparados con la harina de pescado. En este caso la harina de la mosca soldado presenta un promedio de 18,73 % de grasas comparado con la harina de pescado que presenta un 10,49%, esto indica que la harina de mosca soldado tiene mayor contenido calórico que la harina de pescado (Gutiérrez A. Gloria. A; Vergara R. Rodrigo A; Mejía. V. Humberto. 2004).

Sheppard et al. (1994) alimentaron moscas soldado negra con estiércol de pollo. Aproximadamente 5,2 toneladas de estiércol de pollo fresco proveniente de 460 gallinas, los resultados obtenidos dieron la reducción de aproximadamente 2,6 toneladas de residuos, produciendo 242 kg de prepupa, con un peso medio de 0,22 g. La mosca soldado negro redujo el estiércol hasta en un 50%, mientras que al mismo tiempo eliminaba la cría de moscas domésticas (Sheppard et al., 1994).

A nivel comercial, en el mercado se encuentran tecnologías al alcance de personas en general. Paul Oliver, diseñó un modelo para criar larvas denominado BioPod™. El fabricante anuncia que el sistema BioPod™ degrada dos kilogramos diarios de desechos, produciendo como subproducto dos kilogramos de compost y nueve kilogramos de prepupas por cada 45kg de desechos degradados (Nandayure. M. Studt S. 2010).

5. JUSTIFICACIÓN

El manejo de residuos sólidos ha acompañado a los seres humanos siempre. La problemática que abordan los residuos sólidos es su disposición final. Actualmente en Bucaramanga los residuos tienen como disposición final, un relleno sanitario llamado El Carrasco donde también disponen los residuos otros municipios aledaños, teniendo en cuenta que este relleno sanitario ha llegado a su vida útil se deben buscar soluciones para realizar un adecuado tratamiento y aprovechamiento de estos con el fin de disminuir el total de residuos que allí ingresan y que ingresarán al nuevo relleno sanitario que se plantee como reemplazo.

Una solución a esta problemática es la implementación de producción de larvas de soldado negra para el aprovechamiento de residuos orgánicos biodegradables y el gusano de la harina para el aprovechamiento de residuos plásticos como el poliestireno expandido entre otros, usando únicamente técnicas de biodegradación, Teniendo en cuenta las características que presentan estas larvas se puede hacer un gran uso implementándola en el aprovechamiento de residuos sólidos, además que se obtiene un doble beneficio permitiendo incorporar el concepto de economía circular, debido a que por una parte se reduce considerablemente el volumen de residuos orgánicos y por otra parte se obtienen productos como sustrato acondicionador del suelo y alimento proteico para la industria pecuaria etc, garantizando la seguridad alimentaria en concordancia con el CONPES residuos sólidos 2016.

De lo cual se puede realizar cierre financiero por las utilidades generadas por la venta de estos productos o disminución de costos del vivero, ya que este actualmente cuenta con una demanda de 7500 kg/mensuales de sustrato.

En los últimos años han surgido estrategias para la alimentación de animales que se encuentran en crianza masiva como las industrias avícolas, porcinas, acuicultura, etc. entre ellas se encuentra el uso de harinas fabricadas a partir de invertebrados provenientes del cultivo controlado de teniendo en cuenta la alta tasa de crecimiento de dichos organismos, los ya conocidos aportes nutricionales que estos generan y su bajo costo de mantenimiento. En este tipo de procesos es ya conocido el uso de cultivos de larvas de moscas, entre las cuales se puede incluir la mosca soldada negra, la cual puede ser fácilmente cultivada y cosechada con variados residuos orgánicos incluidos los estiércoles.

En Colombia, debido a que las fuentes de proteína utilizada en las diferentes industrias de cría de animales son importadas, lo cual se precio es elevado, elevando los costos en la producción. Esta situación, obliga a la búsqueda de nuevas alternativas de producción y obtención de estos productos que permitan mayor accesibilidad y mejores costos. Sin embargo, la búsqueda en Colombia de nuevas fuentes de proteína no ha tenido mucha profundización ni estudio, a pesar de que las fuentes tenidas en cuenta como lo son el uso de insectos presenta un panorama positivo, dado su alto contenido de proteína y otros nutrientes, los cuales pueden ser utilizados en la producción de concentrados para diversas especies domésticas.

Un ejemplo, es el caso de la acuicultura, la cual actualmente abastece con el 46% de todos los alimentos de origen acuático consumidos en el mundo. Más del 25% de todos los peces capturados en la actualidad son usados para convertirlos en harina de pescado, y la mayor parte de esta harina

es usada para producir otros peces, lo cual ha producido la sobreexplotación de muchas especies y su consiguiente escasez seguida por un aumento en los precios de este tipo de alimentos.

Así mismo se dará solución a los problemas sanitarios que se generados por el inadecuado tratamiento residuos sólidos orgánicos y plásticos, ya que constituye un problema al llegar al relleno sanitario debido a que estos residuos pasan a través procesos biológicos de descomposición generando gran cantidad de gases de efecto invernadero y lixiviados, los cuales contaminan suelos, fuentes hídricas por infiltración y genera contaminación atmosférica como también terminan en fuentes hídricas los residuos de poliestireno expandido siendo su disposición final los océanos, o en el mejor de los casos permanecen durante cientos de años en los rellenos sanitarios.

6. OBJETIVOS

Objetivo General.

- Evaluar un sistema de vermicultura como estrategia para el aprovechamiento de residuos orgánicos y plásticos provenientes de plaza de mercado La Rosita.

Objetivos Específicos.

- Diseñar un sistema vermicultura para la crianza de larva soldado negro y gusano de la harina que permita un óptimo aprovechamiento de los residuos orgánicos y plásticos (poliestireno expandido) generado en la plaza de mercado La rosita.
- Evaluar la eficiencia de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos y plásticos (poliestireno expandido).
- Evaluar los subproductos obtenidos al final del proceso de degradación de los residuos como oportunidad de negocio verde utilizado como sustrato mejorador del suelo y proteína animal para seguridad alimentaria en la industria pecuaria.

7. MARCO TEÓRICO

Mosca Soldado Negro (Hermetia Illucens)

La orden díptera hace parte de los grupos principales de los insectos en los cuales se presentan aproximadamente 100 familias y más de 85000 especies conocidas. La mayoría de estos insectos presenta importancia en el papel que desempeñan en la descomposición de materia orgánica, y por su control biológico sobre plagas, además ejercen la función de polinización.

La *hermetia illucens* conocida como mosca soldado negra es una mosca díptera de la familia stratiomyidae que se encuentra en todo el mundo, que tolera temperaturas extremas. Las temperaturas mínima y máxima se denominan umbrales de desarrollo y cuando los insectos se enfrentan a entornos ambientales más allá de sus umbrales de desarrollo, éste se ralentiza o detiene. Las temperaturas óptimas para el ciclo biológico de *H. illucens* se sitúan en el rango 24 a 29,3 °C. En su fase adulta presentan dieta basada en el néctar, pero en condiciones de cautiverio pueden sobrevivir varios días sin alimento.

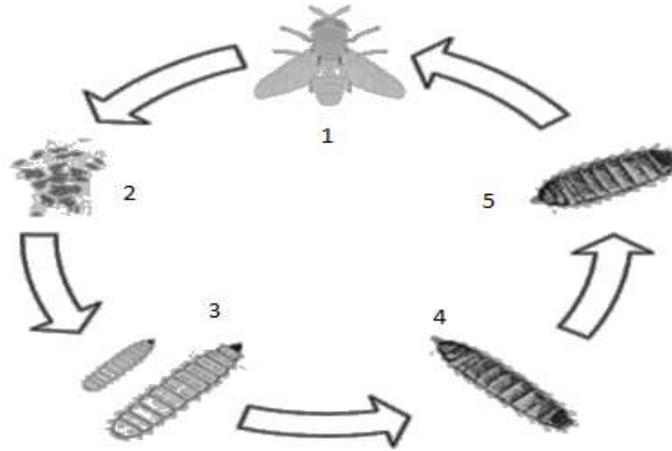
Las larvas pueden desarrollarse en diferentes materiales orgánicos desde frutas y vegetales hasta carne en proceso de descomposición y materia fecal. Después de cinco días de la fase adulta ocurre la copula, el apareamiento se produce en vuelo, las hembras se encuentran en reposo atraen a los machos que se encuentran en vuelo de manera que estos descienden para la copula, la reproducción de esta especie se realiza por ovoposición. (Gobbi, 2012). Los huevos presentan características cilíndricas, redondeados en sus extremidades, con longitudes aproximadamente de un milímetro de largo, presentan colores que varían de acuerdo a los días, como color crema cuando se

encuentran recién puestos y varia a amarillo al madurar. Las hembras depositan aproximadamente 600 a 900 huevos en orificios cerca a materia en descomposición. Las larvas nacen de cuatro a seis días después del desove, con longitudes que van hasta un milímetro de largo, presentan un color blanco, un crecimiento acelerado, presentando 6 estados larvales en la cual mudan seis veces de piel, pueden llegar a tener una longitud de 3 cm. Al llegar a su estado larval final denominada prepupa la mandíbula se modifica en forma de gancho para escavar buscan lugares secos y de penumbra, la cual presenta características de rápida movilidad y color marrón oscuro, días después pasa al estado de pupa donde son idénticas a las prepupas y conservan la última piel, su principal característica es la falta de movimiento. Los adultos emergen después de dos semanas tras la formación de la pupa. (Gobbi, 2012).

Los adultos BSF no son una especie molesta, ni un vector transmisor de enfermedades. Las hembras adultas colocan sus huevos en grietas alrededor de los bordes de las fuentes de alimento larval pero ni las hembras ni los machos se alimentan mientras sobreviven. La duración de cada etapa del ciclo de vida de *H. illucens* (**Figura 4**) está influenciado por diversos factores abióticos y bióticos, que pueden alterar de forma significativa el desarrollo de las etapas de esta especie. (Banks, 2014)

La mosca Soldado Negro *Hermetia illucens* se ha distribuido en los trópicos y zonas templadas cálidas de todo el mundo. La especie es nativa del continente Americano.

Figura 4: Ciclo de vida Mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) 1) Adulto, 2) Huevo, 3) Estado larval 1-5, 4) Prepupa, 5) Pupa.



Fuente: (Banks, 2014)

Para el desarrollo de sus larvas presenta ventajas en su alimentación, ya que posee una amplia dieta, en la cual se encuentra principalmente gran variedad de materia orgánica en descomposición desde residuos de alimentos hasta excrementos y tejidos, a diferencia de las demás especies de moscas, la *H. illucens* en su etapa adulta no ingresan a las viviendas humanas. (Nandayure. M. Studt S. 2010). Al presentar una amplia dieta de diversos residuos orgánicos permite emplearse como especie para el aprovechamiento, transformación y eliminación de diversos residuos orgánicos.

La utilización de insectos para la gestión de restos orgánicos es una gran alternativa, ya que estas especies transforman estos desechos y los adhieren como fuente de energía convirtiéndolos en biomasa presentando alternativas como alimento proteico animal. Su alto contenido de proteína y otros macronutrientes y micronutrientes como ácidos grasos, carbohidratos, minerales y vitaminas,

lo que conlleva a que pueda incluirse en la dieta alimenticia en la industria pecuaria como la la ganadería, avicultura, acuicultura, porcicultura entre otras (Gobbi, 2012)

El uso de larvas como fuente proteína y lípidos ha sido estudiado por (Sheppard, C.; Tomberlin, J.; Joyce, J.; Kiser, B. & Sumner, S. 2002), en donde evaluaron el uso de esta especie en ensayos con pollos cerdos y peces demostrando que puede ser un sustituto de la harina de pescado convencional usada para la alimentación en la industria pecuaria. Así mismo (Newton, L.; Sheppard, C.; Watson, D.; Burtle, G.; Dove, R.; Tomberlin, J. & Thelen, E. 2005) cambiaron la dieta usada en alevines de pez de gato americano (*Ictalurus punctatus*) sustituyendo el 50% de la harina de pescado con harina de larvas de mosca soldado negra al final del ensayo no hubieron efectos indeseables en el crecimiento. (Nandayure. M. Studt S. 2010).

Se ha demostrado que la mosca soldado negra reduce la cantidad de organismos patógenos presentes en los residuos como *Salmonella* spp (Erickson y Islam 2004, Liu et al., 2008, Lalander et al., 2013), Además, se ha encontrado que la presencia de la mosca doméstica común, *Musca domestica* L., y de la mosca doméstica menor, *Fannia canicularis* L, se reduce hasta en un 97% cuando hay actividad BSFL en el material (Furman y otros, 1959, Sheppard, 1983).

Además presenta un gran potencial como controlador biológico de otras especies de moscas, entre las cuales se encuentra la mosca domestica (*Musca domestica*) y mosca doméstica menor, *Fannia canicularis* L reduciendo hasta un 97% su presencia (Erickson y Islam 2004, Liu et al., 2008, Lalander et al., 2013), siendo estas especies transmisoras de patógenos y enfermedades, se ha

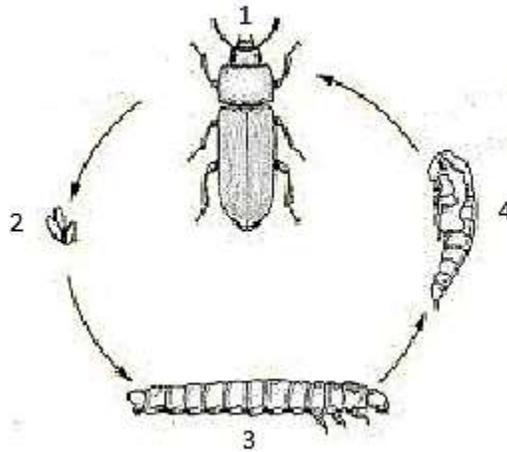
documentado reportes en los cuales se resaltaba el hecho de que residuos poblados por la mosca soldado negro *H. illucens* no fueran invadidos por otras especies de larvas. (Dortmans, 2014).

Estudios presentados Sheppard (1983) y Axtell y Edwards (1970) en los cuales se resalta la presencia de poblaciones de *H. illucens* en desechos fecales de gallinas y pollos en donde se evidencia la inexistencia de Mosca doméstica y al utilizar insecticidas para eliminar las poblaciones de mosca Soldado Negro se da una proliferación de moscas domésticas debido a que estas presentan mayor resistencia a los químicos por estar más en contacto con ambientes humanos. (Nandayure. M. Studt S. 2010). Así mismo el conjunto presentado por la actividad larvaria y bacteriana, reducen componentes como el nitrógeno y fosforo como lo demuestra (Myers et al., 2008), en donde evaluó el estiércol de ganado bovino mostrando una reducción de 43% para el nitrógeno y 67% para el fosforo.

Gusano de la harina (Tenebrio Molitor)

Gusano de la harina (Tenebrio Molitor) es una especie de coleóptero de la familia Tenebrionidae, en su fase adulta es un escarabajo de color negro, con alas pero no vuela, vive aproximadamente entre 2 y 3 meses, las larvas presentan una coloración miel en sus etapas iniciales y va cambiando a un color más pálido, su ciclo de vida (**Figura 5**) presentan 11 estados larvales, es decir mudan 11 veces de piel, alcanzan una longitud entre 2 y 3cm. Presenta un rango de temperatura optima entre 20°C y 30 °C. En su etapa adulta la hembra puede colocar alrededor de 800 huevos, teniendo una duración de su ciclo de vida de aproximadamente 4 meses comprendido en huevo, larva, ninfa y escarabajo. Esta especie es conocida ampliamente debido a que es usada para alimentación y suplementación de Aves, reptiles, peces y animales exóticos, ya que tienen un contenido alto de proteína, aproximadamente un 20% de su peso.

Figura 5: Ciclo de vida Gusano de la Harina (Tenebrio Molitor) 1) Adulto, 2) Huevo, 3) Estado larval 1-11, 4) Ninfa



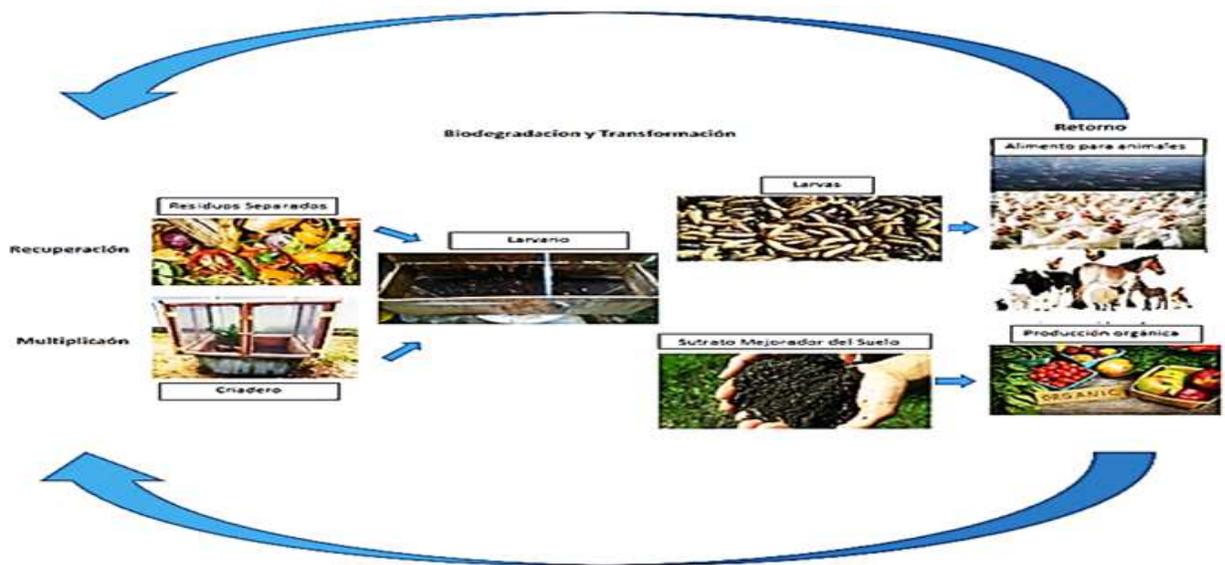
Fuente:Recuperado: <http://abcgestionparasitaire.com/guide-identification-parasitaire/insectes-de-produits-alimentaires/insecte-alimentaire-tenebrion-meunier>

En los últimos años se ha venido prohibiendo el uso de materiales fabricados con poliestireno expandido debido a su difícil degradación, reciclaje y transformación por esta razón el poliestireno expandido es un elemento que permanece cientos de años sin afectarse produciendo una acumulación de estos elementos en los sitios de disposición final . En el 2015 se realizó un estudio por parte de donde se descubrió que el gusano de la harina (Tenebrio Molitor) es capaz de degradar el poliestireno expandido, en el estudio se cambió de dieta los gusanos de la harina proporcionándoles única y exclusivamente poliestireno expandido como alimento, se concluyó que el balance de masas del carbono total presenta una transformación en CO₂ del 47,7%, Fécula 49,2 y Biomasa del 0,5% y no hubo un impacto negativo en su desarrollo.

La combinación de estas dos especies nos permite el aprovechamiento, transformación y retorno de los residuos, creando un producto de valor económico haciendo de estas especies una herramienta

muy prometedora para la gestión de residuos orgánicos y plásticos, cambiando así el concepto de economía, pasando de una economía lineal donde el modelo de producción y gestión de recursos, bienes y servicios busca potenciar un consumo a corto plazo el cual está llevando al planeta a una situación insostenible donde el producto finaliza en un vertedero o relleno sanitario a una economía circular (**Figura 6**) la cual tiene como objetivo la producción de bienes y servicios al tiempo que reduce el consumo y el desperdicio de materias primas, agua y fuentes de energía donde se aprovecha e incorpora los residuos en el flujo económico. Así se incorpora los materiales obtenidos al final del proceso de transformación de residuos, en el suelo la biomasa que servirá para la recuperación de suelos y para la aplicación en la agricultura y en el aumento de peso en los animales alimentados con las larvas.

Figura 6: Economía Circular



Fuente: Autor

8. METODOLOGÍA

Diseño del sistema para la cria, reproducción y cuidado de la mosca soldado (*Hermetia illucens*) y el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*)

Para la cria de larvas de *Hermetia Illuces* y tenebrio molitor se realizara en el vivero La rosita, propiedad de la Corporación Autónoma Regional para la Defensa de la meseta de Bucaramanga CDMB, allí se encuentra una instalación construida en ladrillo limpio la cual tiene unas dimensiones de 20metros x 9metros, se utilizaran recipientes o pimpinas plásticos de 5 galones usados para el transporte de líquidos, estas se cortaran por la mitad para que salgan dos camas por cada recipiente denominado larvarios, los larvarios se ubicaran en stands metálicos los cuales tienen 5 pisos, cada piso se podrán ubicar 4 larvarios para un total de 20 larvarios por stand, en total se ubicaran 20 stands los cuales se ubicaran en diferentes secciones (Pre acondicionamiento o hidratación, reproducción para el tenebrio molitor, nacederos, y la sección de degradación). Además se contara con la construcción de un insectario de 9m² su estructura será construido en madera proporcionada por la CDMB y forrada completamente con agrolene para evitar la salida de las moscas soldado negra, el cual se utilizara para la reproducción y ovoposición de la mosca soldado negro, para ovoposición se colocaran cortes de madera 10cm x 5cm en donde las hembras dejaran sus huevos dentro de los orificios de estos además se acondicionara el insectario con plantas para simular un ambiente natural.

Cria, reproducción y cuidado de la mosca soldado (*Hermetia illucens*) y el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*)

La obtención de las poblaciones de las dos especies se hará con el acompañamiento del Edil Miguel Antonio Cáceres Rojas, quien tiene en su finca ubicada en el corregimiento 2 de Bucaramanga el sistema de forma tradicional para el aprovechamiento de residuos.

Para la cria y reproducción de la Mosca Soldado negro, se inicia el proceso en el insectario para la reproducción y ovoposición por parte de la hembra en los recipientes de madera, posterior a esto se toman las tablas donde se encuentran los huevos. Una parte de los huevos se recogen y se llevan a las camas de degradación para que eclosionen y empiecen con las biotransformación de los residuos al finalizar la degradación de los residuos se separan las larvas para convertirlas en alimento proteico, la otra parte pasan a los stands de reproducción, donde se dejan las larvas hasta que lleguen al estado de pupa para posteriormente ingresarlas al insectario para su metamorfosis y continuar el ciclo. En cuanto al gusano de la harina, se inicia con el escarabajo adulto, las cama de reproducción de esta especie deben contar con harina, avena, cebada o algún cereal para su nutrición y reproducción, cuando se evidencie la presencia de huevos se trasladan a otra cama de igual condición hasta que estos eclosionen, después de la eclosión, se pasan a los stand donde se encuentra el material plástico a degradar, cuando llegan a la etapa de ninfas se debe separar para que continúen su ciclo convirtiéndose en escarabajos adultos.

Capacitación a los generadores de residuos sólidos y comunidad.

Se realizaron campañas de socialización a entidades públicas y privadas, y la comunidad en general con el fin de dar a conocer el funcionamiento y ventajas de este sistema para el tratamiento de residuos sólidos, así como la importancia de la separación en la fuente para el correcto aprovechamiento de materiales.

Evaluación de la eficiencia de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos y plásticos (poliestireno expandido).

Para la evaluación de la eficiencia de aprovechamiento de residuos orgánicos y plásticos se tendrá en cuenta la evaluación del consumo donde se analizara el tiempo para transformación del residuo, la velocidad de desarrollo de la pupa, los lixiviados generados por Kg de producto degradado en el caso del material orgánico, así como el balance de masas del producto

Evaluación los subproductos obtenidos al final del proceso de degradación de los residuos como oportunidad de negocio verde utilizado como sustrato mejorador del suelo y proteína animal para seguridad alimentaria en la industria pecuaria.

En la evaluación de los subproductos, se realizara haciendo un análisis de los sustratos obtenidos al final del proceso de biodegradación, para esto se harán seis estudios de evaluación completa materiales orgánicos, así mismo se procederá a evaluar el contenido nutricional de las pupas de ambas especies.

9. RESULTADOS

Diseño del sistema para la cría, reproducción y cuidado de la mosca soldado (*Hermetia illucens*) y el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*)

Las instalaciones donde se desarrollara la planta piloto están construidas en ladrillo limpio (**Figura 7**), cuentan con una cubierta en teja galvanizada, cuenta con unas dimensiones de 20 metros de ancho por 9 de largo, dentro de estas se cuenta con los servicios de agua y luz. Incorpora una cocina, y dos baños, para hombre y mujer cada uno con 2 baterías sanitarias y lavamanos.

Figura 7: Vista Frontal, Instalaciones Planta Piloto.

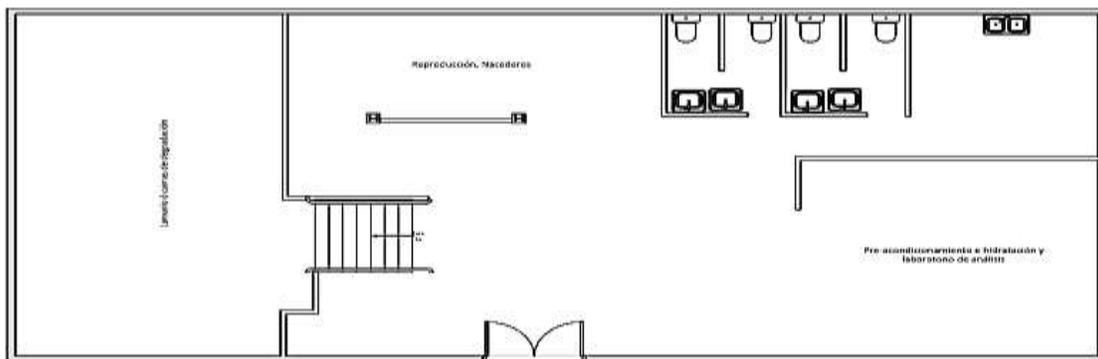


Fuente: Autor.

Se realizó una división en 4 secciones como se observa en la (**Figura 8**), en donde se ubicaran stand fabricados en hierro con dimensiones de 1,8metros de largo por 0,6 metros de ancho y una altura no superior a 1,7 metros esto para facilitar la maniobra en el proceso y evitar problemas con la salud y seguridad en el trabajo, las secciones están comprendidas en : el pre acondicionamiento

e hidratación para el tenebrio molitor el cual contara con 4 stands, reproducción y nacederos con 4 stands, larvario o camas de degradación con 10 stands y finalmente se ubicaran 2 stand en el insectario (**Figura 9**) que se encuentra ubicado por fuera de la instalaciones, junto a la zona de pre acondicionamiento, el cual estará construido en una estructura de madera y forrado con agrolene y malla de alambre esto con el fin mantener el sitio protegido de la invasión de especies depredadoras, así como fenómenos atmosféricos como la lluvia y controlar la intensidad de los rayos solares, contara con unas dimensiones de 3 metros de ancho por 3 metros de largo y 3 metros de alto.

Figura 8: Vista Superior Planta piloto.



Fuente: Autor.

Figura 9: Diseño Insectario.



Fuente: Autor.



El sistema a utilizar para la cria, reproducción y degradación será un sistema en vertical (**Figura 10**), para ello se diseñó una estructura metálica, con dimensiones de 2 metros de ancho por 0,5 metros de largo, cada estructura (**Figura 11**) tendrá 4 pisos en los cuales cada piso tendrá cabida para 4 bandejas, en total cada estructura soportara 16 bandejas, la bandejas que se usaran como camas son las pimpinas de 5 galones que se usa para el transporte de líquidos, las cuales se cortaran por mitad para obtener dos bandejas por cada pimpina, esto debido a que se busca minimizar los costos. Inicialmente se evaluaron diferentes sistemas para el aprovechamiento de los residuos, lo primero que se analizo fue el tipo de sistema en vertical u horizontal, se escogió el sistema en vertical debido al ahorro de espacio que este genera, luego se procedió a evaluar el tipo de bandejas a utilizar, en la cual se realizó el análisis de bandejas que contaban con dimensiones de 2 metros por 1 metro fabricadas en materiales de fibra de vidrio, lámina galvanizada. Este tipo de bandejas se descartó debido a varios factores entre ellos la dificultad para el manejo de residuos en espacios tan amplios, así como el tipo de material tal como la fibra de vidrio que presenta problemas al manejar grandes pesos de residuos, así mismo la lámina galvanizada puede presentar problemas debido a la generación de lixiviado que generen corrosión. Finalmente se optaron por las bandejas de recipientes de 5 galones debido a la facilidad y control para manejar los residuos sólidos. En total cada bandeja manejara un promedio de 5 kg residuos, proporcionando así una capacidad por stand de 80 kg para un total en las instalaciones de 800 kg, así mismo para el icopor se manejará 0,15 kg por bandeja para un total de 3kg por stand y una capacidad máxima en las instalaciones de 15 kg .

Figura 10: Sistema vertical



Figura 11: Estructura metálica. Fuente: Autor.



Fuente: Autor.

En la **tabla 1** se observa la capacidad total con la que contarán las instalaciones del proyecto piloto.

Tabla 1: Capacidades de transformación residuos orgánicos y plásticos

Cantidad de residuos orgánicos por cama	5 Kg
Cantidad de residuos orgánicos por stand	80 Kg
Cantidad de residuos icopor por cama	0,15 kg
Cantidad de residuos icopor por stand	3 Kg
Cantidad total de residuos orgánicos	300 Kg
Cantidad total de residuos plásticos	15 Kg
Área Total Infraestructura	192 m ²

Cria, reproducción y cuidado de la mosca soldado (*Hermetia illucens*) y el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*)

Las dos especies se obtienen gracias al Edil Miguel Antonio Cáceres Rojas quien tiene implementado el sistema en su finca ubicada en el corregimiento 2 de Bucaramanga, allí cuenta con un insectario (**Figura 11**), y recipientes para la degradación del material orgánico y plástico.

Figura 11: Insectario Convencional.



Fuente: Autor.

En cuanto a los recipientes para la degradación del material orgánico (**Figura 12**), cuenta con dos uno rectangular fabricado en madera con unas dimensiones de 1 metro de ancho por 0,5 metros de largo, con una capacidad máxima de 100 kg de residuos cuando se encuentra completamente lleno y un bidón en material plástico. Para la degradación del poliestireno, se utilizan recipientes plástico transparentes.

Figura 12: Larvarios convencionales.



Fuente: Autor.

Dentro del análisis, se identificaron los comportamientos de las dos especies así como el cuidado dentro de cada etapa de desarrollo de las mismas, a continuación se describe los comportamientos observados y cuidados que se deben tener para el desarrollo del proceso.

Tenebrio molitor

Escarabajo

Duración: 90 días

Para la reproducción en su etapa adulta se emplean varios materiales en recipientes secos como avena, harina pan aliñado entre otros cereales, esto para llevar un pie de cria única y exclusivamente para proteína animal, en el caso del icopor este material ha demostrado servir como dieta principal convirtiéndolo en su alimento de subsistencia directa

Inicialmente hubieron intentos fallidos por mortalidad y otros por esterilidad, la alimentación con solo material de icopor redujo la capacidad reproductiva de especie, así mismo hubo una alta mortalidad en el estado de ninfa, los individuos que lograron reproducirse no lo hicieron con la misma eficiencia que si lo hicieran con una dieta normal, por medio del ensayo y error se buscaron soluciones a esto usando diferentes frutas y verduras para recuperar la fertilidad. Estos ensayos de prueba y error se descubrieron que ellos eran netamente de penumbra y donde mejor evolucionan. Los escarabajos también se alimentan de icopor con sus patas desmenuzan y posteriormente proceden a comer, los espacios que van devorando los utilizan como nidos para sus huevos, así mismo hay que aplicarle fruta y verduras para su hidratación.

Huevos

Duración: 10 días

Inicialmente los escarabajos se colocaban en recipientes por 30 días en parejas de 15 para la reproducción y colocación de los huevos, pero esto acarreó problemas, debido a que ocurrían pérdidas ya que se generaba exceso de residuos como orina (mancha amarilla) y material fecal (filamentos negros) que impedía el desarrollo de los huevos así mismo los escarabajos machos devoran los huevos al dejarlos mucho tiempo en el mismo recipiente, este problema se solucionó modificando el tiempo que se dejaban en un recipiente, se pasó a dejarlos solamente 5 días de postura en el mismo recipiente, pasados los 5 días se empezaron a trasladar a otros recipientes acondicionados para que siga su postura.

Larva

- **Pre acondicionamiento**

Duración: 25 días

Cuando la larva acaba de nacer, se trasladan a otro recipiente, llevan como material harina, avena cereales y frutas y verduras para su hidratación con un tiempo de 25 días, ejerciendo una adaptación para posteriormente pasar a la degradación, se puede colocar cartón, periódico sobre ellos para un mejor proceso de incubación.

- **Etapas de degradación**

Duración: 90 días

Los comportamientos de los tenebrios directamente para el consumo de icopor se necesitan recipientes pueden ser en pastas duras, canecas metálicas y una conservación bajo techo, encerramiento en penumbra acondicionamiento para el trabajo las 24 horas (oscuridad), cuartos aireados con protección para depredadores y enemigos naturales (arañas, hormigas, especies de reptiles y todo aquel organismo que pueda destruir la cría) y donde se pueda realizar un aseo y limpieza del sitio. Al ser un invertebrado, cuando se alimenta él se desliza por la superficie para mejorar su digestión, nunca se ven inactivos siempre se encuentran en continuo movimiento.

Al colocar las láminas de icopor, existen grupos donde se dividen el trabajo, unos juegan un papel importante en despedazar el material, los que se encuentran en la parte de encima del material hacen este proceso, mientras lo que se encuentran por debajo del material se encargan de digerirlo y transformarlo para entregarlo como material biorremediador del suelo. La temperatura juega un papel muy importante, la especie es del trópico, y se llevaron dos muestras dentro del páramo de Berlín y efectivamente se pudo acondicionar un aislamiento térmico para darles las propiedades con las que ellos trabajan. Acercándolos a una cocina de leña, junto a la brasa que este genera como residuo, efectivamente ninguno de los individuos falleció y siguieron su proceso rutinario, este monitoreo se realizó por mes y medio en una finca del corregimiento Berlín del municipio de Tona. Dentro de las observaciones se analizó la necesidad de mantenerlos con hidratación. Ya que el material del icopor al no tener humedad generaba un estrés, haciendo pruebas se llevó a la conclusión de aplicando frutas y verduras esto mejoraba su comportamiento y digestibilidad del material.

Ninfas

Duración: 20 días

Las larvas pasan a estado ninfa, con una duración de una o dos semanas hasta convertirse en escarabajos, las condiciones para un óptima metamorfosis, se deben separar en diferentes recipientes, y posteriormente hay que revisar las ninfas que realizaron la metamorfosis para separarlos ya que una vez realizada su metamorfosis existe la posibilidad de que los escarabajos se alimenten de las ninfas que aún no han culminado su ciclo.

Mientras se encuentran en ninfas hay que colocarles un objeto que las cubran y tener un procurar tener control de depredadores, ya que ellas no tienen movilidad alguna.

Hermetia illucens

Mosca soldado negro (etapa adulta)

Duración: 8 días

Se debe recolectar y clasificar una muy buena pupa para la reproducción. Protegerla dentro de un recipiente de poca movilidad y hacerle un insectario con protección de malla de polipropileno ya que existen muchos depredadores naturales para ella y así se aseguró un pie de cria óptimo para desarrollar la cadena alimenticia dentro de la finca para especies como (perros, gatos, peces, gallinas, codornices, cabros, cerdos, equinos y bovinos como se ha mostrado en los videos realizados en las diferentes fechas. Hay que colocarles cartones para que las mosca depositen sus huevos, así mismo hay que agregar con aspersor alimentación para ellas para su nutrición, este alimento está compuesto principalmente por agua y panela. Hay que acondicionar el sitio como un ambiente natural para ella para esto hay que agregar plantas con floración.

Huevo

Duración: 5 días

Los huevos se recogen de los cartones usados para la deposición por parte de la mosca y se colocan sobre el material a descomponer para su posterior eclosión.

Larva

Duración: 12 días

Una vez se produce la eclosión los huevos las larvas proceden a degradar todo tipo de material orgánico, para ellos es necesario contar con un lugar aireado y en condiciones de oscuridad para mejorar la actividad de degradación. Una vez el material orgánico se encuentre degradado, se procede a tamizar el material ya convertido como biorremediador de suelos y así poder separarlo de las larvas que serán usadas como alimentación animal.

Pupa

Duración: 15 días

Para que siga el ciclo de multiplicar la cría, es necesario dejar las larvas hasta el estado de pupa, para esto es necesario dejar salidas superiores para recoger las pupas y posteriormente que la larva pueda salir a un lugar seco para su posterior transporte al insectario y se produzca la metamorfosis que es el paso de larva a Mosca

Realización de actividades de socialización.

Se contó con la realización de varias campaña de socialización, entre las que se destacan la presentación de la iniciativa de negocios verdes apoyada por la CDMB en la actividad organizada por la gobernación de Santander “Expedición Santander” (**Figura 13**) realizada el día 1 de octubre en el corregimiento 2 de Bucaramanga-Santander. La exposición se realizó en compañía de ASORURAL-COLOMBIA y el ING José Alberto Peña. La iniciativa fue presentada al gobernador de Santander Didier Tavera, así como su gabinete, el secretario de infraestructura, secretario de agricultura, secretario de desarrollo social, Policía nacional, ejército nacional, comunidad en general entre otros. También se realizó una nota periodística por parte del canal TRO.

Figura 13: Presentación proyecto en Expedición Santander.



Fuente: Autor

De igual forma se realizó una exposición de la iniciativa en el comando de policía metropolitana de Bucaramanga (**Figura 14**) con el fin de dar a conocer el proyecto de a los integrantes de la institución.

Figura 14: Presentación proyecto al comando de la Policía metropolitana de Bucaramanga.



Fuente: Autor

Para el día 09 de octubre de 2017 se realizó una campaña de sensibilización y educación ambiental dentro de las instalaciones de la electrificado de Santander-ESSA (**Figura 15**), allí se dio a conocer el proceso de biodegradación de residuos sólidos por parte de las dos especies de larvas a los funcionarios pertenecientes al comité ambiental, así como a toda la comunidad que se encontraba cerca al stand.

Figura 15: Presentación proyecto a la ESSA- Bucaramanga.



Fuente: Equipo de comunicaciones de prensa ESSA.

También se realizó la presentación al concejo municipal del PLAYÓN (**Figura 16**) realizada el día 21 de noviembre en el municipio del Playón-Santander. La exposición se realizó en compañía de ASORURAL-COLOMBIA. La iniciativa fue presentada a los Honorables Concejales. Dando un balance positivo, ya que la iniciativa fue apoyada y se dieron espacios dentro de la sesión para debatir acerca del tema, al final los concejales propusieron que se implementara el proyecto como piloto para evaluar su eficiencia, dado que el playón es un municipio que presentan una adecuada gestión integral de residuos sólidos ya que presenta una alta separación en la fuente de los residuos por parte de la comunidad así como la aplicación de compostaje en la planta de tratamiento de residuos.

Figura 16: Presentación proyecto al concejo municipal de El Playón Santander.



Fuente: Autor

Evaluación de la eficiencia de aprovechamiento de residuos sólidos orgánicos y plásticos (poliestireno expandido).

Debido a la terminación del tiempo de pasantías, no se pudo ejecutar el proyecto para la evaluación de los diversos análisis previstos como el análisis del tiempo requerido para la transformación del residuo, así como los lixiviados generados por Kg de producto degradado en el caso del material orgánico, como el balance de masas de los productos. En este caso, se presentan los estudios existentes en este tema.

Así como los estudios realizados en la Universidad de Earth, Costa Rica, donde se evaluaron el proceso de degradación de residuos orgánicos utilizando la Mosca soldado negro (*Hermetia illucens*), allí se realizaron varios ensayos y se tuvieron en cuenta diferentes variables como texturas de los residuos (Entero, Picados), drenado del sistema (Con drenado, Sin drenado), cobertura (Plástica, Sarán). A partir de los resultados obtenidos se determinó que el mayor porcentaje de reducción de la masa del residuo procesado se logró con el ensayo con cobertura plástica, material orgánico picado y con sistema de drenaje. En promedio del porcentaje de reducción en volumen del desecho en los tres tratamientos fue en material húmedo del 52,7% y en materia seca del 63,3%. (Nandayure. M. Studt S. 2010).

Así mismo un estudio realizado en el Instituto de energía y tecnología en Suecia, buscó identificar los parámetros específicos de procesos que conducen a optimizar los sistemas de vermicultura usando la mosca soldado negro, para ellos se plantearon parámetros tales como cantidad de desechos suministrados, pH, madurez de compost. Dando resultados similares en dos regímenes de alimentación en donde menor cantidad de desechos suministrados dio como resultado una mayor mortalidad de larvas. Se obtuvo un promedio de reducción del material en peso seco cerca

del 70%, así como una reducción del 85% en peso húmedo. En cuanto a conversión de biomasa, los resultados dieron un promedio de conversión del 20%.(Dortmans, 2014).

Por otro parte, en la Universidad del estado de carolina del norte, se realizó la evaluación de un sistema a pequeña escala para la transformación de desechos sólidos de estiércol de cerdos. En él se pudo evidenciar la reducción de la masa del estiércol en un 56%, así como la reducción de nutrientes que se redujo en 40% al 55%. También se evidencio la trasformación de 169 Kg de estiércol fresco (67,8 Kg de peso seco) por parte de 45000 larvas, generando así 41,6 Kg de peso seco de sustrato para el suelo de Mosca soldado negro, además resultando 37978 pre pupas para la cosecha con peso de 26,2 Kg. (Newton, G.L.; Sheppard, D.C.; Watson, D.W.; Burtle, G.; Dove, R. (a) 2005).

Por su parte (Gutiérrez, Ruiz, & Vélez, 2004), evaluó la conversión de residuos a biomasa usando la Mosca soldado negra, se presentaron cambios en las propiedades físico químicas del material orgánico como el pH donde sin degradar presentada valores de 5,6 y después de degrada aumento a 8,3, así mismo la concentración de fosforo total aumento durante el procesos de 33 mg/g antes de degradar y 48 mg/g después de haber degradado el material. En cuanto al nitrógeno no hubo un cambio significativo, parte del nitrógeno se incorporó a la biomasa de las prepupas como proteínas. La degradación del material fue del 55,1%, así como la tase de conversión en biomasa del 11,8%. En cuanto al gusano de la harina (*Tenebrio Molitor*), (Yang, Wu, Zhao, & Yang, 2015) analizo la descomposición del poliestireno expandido por parte de esta especie, los resultados obtenidos demuestran que el *tenebrio molitor* degrada este plástico y lo convierte en CO₂ (aproximadamente un 47,7%), fécula con un 49,2% y biomasa alrededor del 0,5%. Esto se debe a la presencia de

bacterias dentro de su sistema digestivo y que tienen la capacidad de degradar poliestireno expandido entre estas se logró identificar la *Exiguobacterium* sp.

Evaluación los subproductos obtenidos al final del proceso de degradación de los residuos como oportunidad de negocio verde utilizado como sustrato mejorador del suelo y proteína animal para seguridad alimentaria en la industria pecuaria.

Para la evolución de los subproductos obtenidos se tenía previsto la realización de estudios de materiales orgánicos para analizar los componentes de los sustratos obtenidos, así la composición nutricional de ambas especies de larva. Para ello es necesario citar los estudios presentes en este ámbito.

En el caso de la larva soldado negra, las características de su compost fue registrado por (Nandayure. M. Studt S. 2010), allí se realizaron varios ensayos y se tuvieron en cuenta diferentes variables como texturas de los residuos (Entero, Picados), drenado del sistema (Con drenado, Sin drenado), cobertura (Plástica, Sarán), los análisis de nutrientes del residuo orgánico procesado se presentan en la **tabla 2**.

Tabla 2: Contenido Nutricional residuos Mosca Soldado Negra (*Hermetia Illucens*)

Experimento	C	N	P	K	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn	Mn	C/N
	%						ppm				
I: Evaluación del tipo de cobertura, disposición del material y cantidad de desecho a añadir.	47,64	3,92	0,85	2,76	2,08	0,28	1260,47	16,66	4737,81	80,78	12,42
II: Evaluación de diferentes texturas y drenado del sistema	45,91	3,03	0,89	5,52	2,23	0,3	864,33	24,11	4396,04	43,44	15,23
III: Presencia y ausencia de drenaje en sistemas con material picado y 5kg diarios de alimento.	47,15	2,85	0,72	2,39	2,32	0,24	1432,67	15,47	3029,4	60,33	16,76

Fuente: (Nandayure. M. Studt S. 2010).

En cuanto al compost de poliestireno expandido generado por el gusano de la harina (*Tenebrio Molitor*), no se tienen análisis del contenido nutricional.

En cuanto al valor nutricional de las pupas, se han realizado análisis bromatológicos de la *Hermetia Illucens* por parte de (Gutiérrez, Ruiz, & Vélez, 2004) como se muestra en la **tabla 3**.

Tabla 3: Análisis Bromatológico *Hermetia Illucens*

Composición	Cantidad %		
	Laboratorio 1	Laboratorio 2	Laboratorio 3
Humedad	10	7,484	9,58
Materia seca	90	92,516	90,42
Proteína	36,98	39,3	37,375
Grasas	18,82	13,89	23,506
Cenizas	17,47	23,05	25,68
Calcio	7,6	7,54	7,8
Fósforo	0,58	0,63	0,69

Fuente: (Gutiérrez, Ruiz, & Vélez, 2004)

Así mismo (Soto, 2003), realizo los análisis bromatológicos para la especie de *Tenebrio molitor* mostradas en la tabla 4.

Tabla 4: Análisis Bromatológico *Tenebrio molitor*

Composición	Cantidad
Humedad	58.02 %
Proteína	20.23 %
Grasas	16.00 %
Fibra Cruda	4.28 %
Cenizas	1.00 %
Calcio	57,37 ppm
Fósforo	0.27 %

Fuente: (Soto, 2003)

10.CONCLUSIONES

El desarrollo de un sistema que permita la degradación materiales orgánicos y plásticos utilizando organismos vivos puede ser una opción viable en el ámbito económico debido a los beneficios que se obtienen, ya que en el proceso se generaran dos subproductos que dan viabilidad económica al sistema, el sustrato que puede ser usado para aplicarlo en diferentes cultivos agrícolas así como la utilización de prepupas como fuentes de proteína para la industria pecuaria debido a sus características nutricionales así como el gusto que les genera a los animales al alimentarse de estas. Así mismo Ambientalmente, las ventajas que presenta la mosca soldado negra (*Hermetia Illucens*) frente a otros procesos de biodegradación son mayores ya que es un organismos que presenta adaptabilidad a diferentes condiciones ambientales, además que tiene la capacidad de degradar cualquier material orgánico sin un acondicionamiento previo. En cuanto al tenebrio Molitor, presenta características únicas, debido a su capacidad para sobrevivir alimentándose única y exclusivamente de Poliestireno expandido, un material no degradable que perdura por cientos de años, es así una alternativa que puede llegar a cerrar el ciclo de un material que presenta muchos impactos negativos en la tierra. Finalmente podemos empezar a utilizar el término de Economía circular ya que se podrán aprovechar la mayor cantidad de residuos que se generan, reincorporándolos en el ciclo económico y productivo del sistema.

En el diseño del sistema se tuvieron en cuenta factores como el espacio, la economía al momento de calcular el presupuesto total del proyecto, los materiales de fabricación, la facilidad de manejar los residuos y la salud y seguridad de la persona encargada de supervisar el proceso, por tales razones se escogieron los diseños ilustrados anteriormente, pero cabe aclarar que no se tiene

certeza de que estos diseños sean los más óptimos en el proceso, por tal razón se presenta la recomendación presente en el capítulo 11 del documento de evaluar diferentes tipos de sistemas.

En cuanto a la evaluación en el proceso de degradación, es necesario la comprobación de la literatura que se encuentra en este tema, por medio de balances de masa, para ello es necesario la comparación con dicha literatura así como el planteamiento donde se evalué diferentes residuos orgánicos, así como la mezcla de diferentes tipos de estos residuos mediante relaciones, las cuales pueden servir para hallar la alimentación óptima de las pupas en caso de que se utilicen las especies con fines exclusivos de alimentación pecuaria así como determinar los residuos que mejor porcentaje de aprovechamiento tienen por parte de las especies .

Los análisis realizados a los subproductos presentados por (Gutiérrez, Ruiz, & Vélez, 2004) y (Soto, 2003) , evidencian la competitividad de estos frente a los productos presentes hoy en día en el mercado, por esta razón el proceso de tratamiento y aprovechamiento de los residuos usando este sistema puede ser una opción viable debido a las rentabilidades económicas que se pueden generar, es importante la realización de un estudio costo beneficio como se menciona en el capítulo 11.

11.RECOMENDACIONES

En el diseño es necesario la implementación de otros sistemas para la evaluación conjunta donde se puedan comparar los resultados en la cría, reproducción de las especies y transformación de los residuos, para determinar cuál es el sistema más óptimo y adecuado que favorezca al mejoramiento de los 3 ítems mencionados donde se evalúen los materiales usados, las áreas de degradación y otros factores que puedan alterar el comportamiento de las especies a evaluar.

Se recomienda la realización de la caracterización de los residuos sólidos generados en la plaza de mercado donde se realizara el montaje del proyecto piloto, con el fin de poder analizar la degradación de los diferentes tipos de residuos generados allí.

Es necesario tener en cuenta un estudio de costo beneficio en donde se determine la viabilidad económica de un proyecto de este tipo al momento que se requiera implementar a gran escala para el tratamiento y aprovechamiento de los residuos sólidos.

12.BIBLIOGRAFÍA

- Banks, I. J. (2014). *To assess the impact of black soldier fly (Hermetia illucens) larvae on faecal reduction in pit latrines*. London.
- Bucaramanga, A. (2016). *Plan De Gestion Integral De Residuos Solidos (Pgirs) 2016-2027*. Bucaramanga, Colombia.
- Dortmans, B. (2014). *Effect of the Feeding Regime on Process Parameters in a Continuous Black Soldier Fly Larvae Composting System*. Sweden.
- Erickson, M. a. (2004). Reduction of Escherichia coli O157: H7 and Salmonella enterica serovar enteritidis in chicken manure by larvae of the black soldier fly. *J. Food*. 67, 685-690.
- Furman, D. P. (1959.). *Hermetia illucens (Linnaeus) as a Factor in the Natural Control of Musca domestica*. *J. Econ. Entomol.* 52, 917-921.
- Gamboa. R. Eliana. M, & Nicolas, J. O. (2008). *Degradación De Residuos De Almidón Y Carnicos, Mediante La Producción De La Larva Soldada Negra*. Bogotá Dc, Colombia.
- Gobbi, F. (2012). *Biología reproductiva y caracterización morfológica de los estadios larvarios de Hermetia illucens (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae). Bases para su producción masiva en Europa. España*.
- Gutiérrez, G. P., Ruiz, R. A., & Vélez, H. M. (2004). *Análisis composicional, microbiológico y digestibilidad de la proteína de la harina de larvas de hermetia illuscens l (diptera: stratiomyiidae)*. Antioquía, Colombia. Medellín, Colombia.
- Lalander, C. H., Fidjeland, J., & Diener, S. (2014). *High waste-to-biomass conversion and efficient Salmonella spp*.
- Li, Q., Zheng, L., Cai, H., Garza, E., Yu, Z., & & Zhou, S. (2011). From Organic Waste To Biodiesel: Black Soldier Fly, Hermetia Illucens, Makes It Feasible. *Fuel*, 90(4), , 1545-1548.
- Myers, H., Tomberlin, J., Lambert, B., & & Kattes, D. (2008). Development of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Fed Dairy Manure. *Environ. Entomol.* 37(1), 11-15.

- Nandayure, M. (2010). *Uso de larvas de mosca soldado negro (hermetia illucens) para el manejo de residuos municipales orgánicos en el campus de la Universidad Earth*. Cartago, Costa Rica.
- Newton, L., Sheppard, C., Watson, D., Burtle, G., Dove, R., & Tomberlin, J. &. (2005). *The Black Soldier Fly, Hermetia illucens, as a manure management / resource recovery tool. Symposium on the State of the Science of Animal Manure and Waste Management*. San Antonio, Texas, USA.
- Salomone, R., Saija, G., Mondello, G., Giannetto, A., Fasulo, S., & Savastano, D. (2017). Environmental Impact Of Food Waste Bioconversion By Insects: Application Of Life Cycle Assessment To Process Using Hermetia Illucens. *Journal of Cleaner Production*, 140, 890-905.
- Sheppard, C., Tomberlin, J., Joyce, J., Kiser, B., & Sumner, S. (2002). Rearing Methods for the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae). *Journal of Medical Entomology*. 39(4): , 695-698.
- Soto, H. (2003). *GUSANOS DE LA HARINA (Tenebrio Molitor)*.
- Yang, J., Wu, W., Zhao, J., & Yang, R. (2015). *Biodegradation and Mineralization of Polystyrene by Plastic-Eating Mealworms*.