

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

INFORME DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

**USO DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia illucens*) PARA EL MANEJO
DE RESIDUOS MUNICIPALES ORGÁNICOS EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD
EARTH, COSTA RICA.**

**Tesis de Graduación para optar por el título de Ingeniera en Biotecnología con el grado
académico de Bachillerato**

Nandayure May Studt Solano

CARTAGO, 2010.



eawag
aquatic research ooo

Sandec
Water and Sanitation in
Developing Countries

The logo for EARTH features three stylized green leaves above the word 'EARTH' in a bold, black, sans-serif font.

EARTH

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA

ESCUELA DE BIOLOGÍA

INFORME DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

USO DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia illucens*) PARA EL MANEJO DE RESIDUOS MUNICIPALES ORGÁNICOS EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD EARTH, COSTA RICA.

Tesis de Graduación para optar por el título de Ingeniera en Biotecnología con el grado académico de Bachillerato

Nandayure May Studt Solano

CARTAGO, 2010.



eawag
aquatic research 000

Sandec
Water and Sanitation in
Developing Countries

The logo for EARTH features three stylized green leaves above the word 'EARTH' in a bold, black, sans-serif font.

EARTH

USO DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia illucens*) PARA EL MANEJO DE RESIDUOS MUNICIPALES ORGÁNICOS EN EL CAMPUS DE LA UNIVERSIDAD EARTH, COSTA RICA.

Nandayure May Studd Solano*

RESUMEN

La larva de la mosca *Hermetia illucens* procesa desechos orgánicos reciclando los nutrientes en proteína de insecto de alto valor, que puede ser comercializada como alimento animal, además de generar residuos orgánicos utilizables como enmiendas agrícolas. Sin embargo, existe poca información sobre su uso para el procesamiento de desechos orgánicos municipales. El objetivo del presente estudio fue optimizar procesos de manejo de desechos municipales con *Hermetia illucens*, para lograr un procesamiento continuo y evaluar los productos obtenidos. Los resultados mostraron un rendimiento en producción de prepupas diario de 264g/m² con 4,3kg/día de alimento y peso promedio por prepupa de 219mg, con 4,5kg/día de alimento, cobertura de sarán y alimento colocado sobre la superficie. Además, se demostró la gran utilidad de la especie en el procesamiento de desechos municipales al reducir el volumen en un 52,7% (DE** 0,13) peso fresco y 63,3% (DE 0,1) peso seco. Los sistemas de post tratamiento revelaron que bajo las condiciones de este experimento el desecho procesado no cuenta con las características apropiadas para ser composteado o utilizado en lombricultura.

Palabras clave: Mosca Soldado Negro, *Hermetia illucens*, desecho orgánico municipal, alimento animal, abono orgánico.

* INFORME DE TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN, Escuela de Ingeniería en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2010.

**DE: desviación estándar.

USING BLACK SOLDIER FLY LARVAE (*Hermetia illucens*) FOR MUNICIPAL ORGANIC WASTE MANAGEMENT AT EARTH UNIVERSITY, COSTA RICA.

Nandayure May Studt Solano*

SUMMARY

Black soldier fly larvae process a large range of organic waste, recycling the nutrients and transforming them into high value insect protein which can be sold as animal feed, also generating an organic residue potentially useful as organic fertilizer. Current evidence on the use of this technology for municipal organic waste treatment is however is not yet satisfactory. The main objective of this research is to optimize municipal organic waste management using *Hermetia illucens* to achieve a continuous process, and evaluate the products obtained. The results showed a daily yield of 264g/m² of prepupae, obtained with 4,3kg/day of waste added; and an average prepupal weight 219mg, with 4,5kg/day of waste placed on top without mixing and mesh covering. Furthermore, the processed waste was reduced a 52,7% (SD** 0,13) wet weight and 63,3% (SD 0,1) dry weight. The post treatments proposed for the composting of the final waste revealed that under the conditions of this experiment the processed waste is not appropriate as the only ingredient in compost or vermiculture.

Key words: Black Soldier Fly, *Hermetia illucens*, municipal organic waste, animal feed, organic fertilizer.

* FINAL REPORT, Escuela de Ingeniería en Biotecnología, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago, Costa Rica. 2010.

**SD: standard deviation.

**USO DE LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRO (*Hermetia illucens*) PARA EL
MANEJO DE RESIDUOS MUNICIPALES ORGÁNICOS EN EL CAMPUS DE LA
UNIVERSIDAD EARTH, COSTA RICA.**

**Informe presentado a la Escuela de Biología del
Instituto Tecnológico de Costa Rica como requisito parcial para optar al título de Bachiller en
Ingeniería en Biotecnología.**

Miembros del Tribunal



**Dr. Dora Flores,
Profesor Asesor-ITCR**



**Stefan Diener,
Asesor- Empresa**



**Randal Chacón,
Lector**

DEDICATORIA

Soy lo que soy y este trabajo es lo que es por la suma de todo lo que hemos vivido juntos, por eso todo mi esfuerzo es de ustedes y del mundo y lo dedico a ustedes y al mundo: no es gran cosa comparado con lo que falta por hacer, pero es un comienzo.

Nanda.

AGRADECIMIENTOS

El autor desea dejar constancia de su agradecimiento a los siguientes organismos y personas, por su colaboración en el presente trabajo:

A la organización Eawag (Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology) mediante el departamento Sandec (Water and Sanitation in Developing Countries), por el apoyo financiero y logístico para la ejecución del proyecto.

A los funcionarios de la Escuela de Biología, muy especialmente a los profesores Dora Flores y Randall Chacón por su apoyo en el desarrollo de la tesis.

A Stefan Diener, por su apoyo incondicional y dedicación como tutor, colega y amigo.

A los funcionarios de la Universidad EARTH, en especial a los de las secciones de lechería, ingeniería, centro de acopio, centro de cosechas, laboratorio de suelos y a don Javier, don Herman, don Richard y don Edgar Alvarado por la amistad y apoyo brindados durante mi permanencia en el campus.

A estudiantes y amigos que encontré durante el desarrollo de la práctica, por su buena compañía e interés mostrado en el tema de investigación.

INDICE GENERAL

RESUMEN	3
SUMMARY	4
DEDICATORIA	6
AGRADECIMIENTOS	7
INDICE GENERAL	8
INDICE DE CUADROS	10
INDICE DE FIGURAS	11
INTRODUCCION	13
JUSTIFICACIÓN.....	15
REVISIÓN DE LITERATURA.....	20
Descripción de la especie.....	20
Zonas y hábitos de vida	22
OBJETIVOS: GENERAL Y ESPECIFICOS	28
MATERIALES Y METODOS	28
Localización de la investigación	28
Cría, reproducción y cuidado de <i>Hermetia illucens</i>	29
Desmontaje de los experimentos	30
Establecimiento de la colonia	31
Experimento I. Evaluación del tipo de cobertura, disposición del material y cantidad de desecho diario a añadir	31
Experimento II. Evaluación de diferentes texturas y drenado del sistema	32
Experimento III. evaluación de la presencia y ausencia de drenaje en sistemas con material picado y 5kg diarios de alimento	33
Experimento IV: evaluación de sistemas de post tratamiento para el desecho procesado por las larvas.....	34
RESULTADOS	35
Cría, reproducción y cuidado de <i>Hermetia illucens</i>	35
Reproducción de la colonia de moscas	35
Comportamiento de cosechas promedio y pesos promedio por prepupa a través del tiempo	

.....	35
Evaluación del tipo de cobertura, disposición del material y cantidad de desecho diario a añadir	37
Evaluación de diferentes texturas y drenado del sistema	40
Evaluación de presencia y ausencia de drenaje en sistemas con material picado y 5kg diarios de alimento	42
Análisis del residuo procesado por las larvas	45
Sistemas de post tratamiento para el desecho procesado por las larvas	46
DISCUSION DE RESULTADOS	46
Cría, reproducción y cuidado de <i>Hermetia illucens</i>	46
Comportamiento del peso promedio por prepupa y la cosecha diaria de prepupas a través del tiempo	48
Evaluación del tipo de cobertura, disposición del material, cantidad de desecho diario a añadir, presencia o ausencia de sistemas de drenaje y textura del alimento (entero o picado)	49
Reducción en el peso del residuo procesado	51
Colonización y comportamiento de <i>H. illucens</i> en los tratamientos testigos	51
Contenido de nutrientes en el desecho procesado por las larvas	52
Sistemas de post tratamiento.....	53
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
BIBLIOGRAFIA	55

INDICE DE CUADROS

Núm.	Título	Pág.
1....	Variables, medición de resultados y duración del experimento involucrando cobertura de los larveros, disposición del material y cantidad de desecho agregado diariamente	31
2....	Variables, medición de resultados y duración del experimento involucrando textura y drenaje en los sistemas de tratamiento	32
3....	Variables, medición de resultados y duración del experimento involucrando presencia y ausencia de drenaje en los sistemas de tratamiento.....	33
4....	Porcentajes de reducción de la masa del residuo orgánico procesado por larvas de <i>H. illucens</i> en el experimento involucrando las variables de cobertura de los larveros, disposición del material y cantidad de desecho agregado diariamente.	39
5....	Porcentajes de reducción en la masa del residuo orgánico procesado por larvas de <i>H. illucens</i> en el experimento involucrando las variables de textura y drenaje.....	42
6....	Porcentajes de reducción en la masa del residuo orgánico procesado por larvas de <i>H. illucens</i> en el experimento involucrando las variables con y sin drenaje	44
7....	Contenido nutricional del residuo orgánico municipal procesado por larvas de <i>H. illucens</i> en tres experimentos diferentes.....	45

INDICE DE FIGURAS

Núm.	Título	Pág.
1.....	Cosecha diaria de prepupas de <i>H. illucens</i> durante los experimentos II y III, tomando en cuenta la variable con y sin drenaje	36
2.....	Peso fresco promedio diario por prepupa de <i>H. illucens</i> cosechada durante los experimentos II y III, tomando en cuenta la variable con y sin drenaje	36
3.....	a: Gráfico normal de efectos estandarizados del tipo de cobertura, cantidad y disposición de alimento sobre la cosecha diaria de prepupas de <i>H. illucens</i> . b: Cosechas promedio (g/m ² /d) de <i>H. illucens</i> obtenidas al combinar estas variables en un sistema de tratamiento de residuos orgánicos municipales.....	38
4.....	a: Gráfico normal de efectos estandarizados del tipo de cobertura, cantidad y disposición de alimento sobre el peso promedio por prepupa de <i>H. illucens</i> . b: Pesos promedio por prepupa (mg/m ² /d) de <i>H. illucens</i> obtenidos al combinar estas variables en un sistema de tratamiento de residuos orgánicos municipales.....	38
5.....	a: Gráfico normal de efectos estandarizados de las variables textura y drenaje sobre los datos de cosecha diaria de <i>H. illucens</i> utilizando 1,8kg diarios de alimento. b: Gráfico normal de efectos estandarizados de las variables textura y drenaje sobre los datos de peso promedio por prepupa utilizando 1,8kg diarios de alimento.	40
6.....	a: Cosechas promedio de <i>H. illucens</i> obtenidas al combinar las variables textura y drenaje utilizando 1,8kg diarios de alimento (g/m ² /día). b: Pesos promedio por prepupa de <i>H. illucens</i> obtenidas al combinar las variables textura y drenaje utilizando 1,8kg diarios de alimento (mg/m ² /día).....	41
7.....	a: Gráfico normal de efectos estandarizados de las variables cantidad de alimento y drenaje sobre los datos de cosecha diaria promedio de prepupas de <i>H. illucens</i> . b: Gráfico normal de efectos estandarizados de las variables cantidad de alimento y drenaje sobre los datos de peso promedio por prepupa de <i>H. illucens</i>	43

8..... a: Cosechas promedio de *H. illucens* obtenidos al combinar diferentes variables de manejo en un sistema de cría (g/m²/día). **b:** pesos promedio por prepupa de *H. illucens* obtenidos al combinar diferentes variables de manejo en un sistema de cría (mg/m²/día) 43

INTRODUCCIÓN

La generación y mal manejo de desechos sólidos orgánicos constituye un problema creciente a nivel mundial (Buenrostro et al. 2000, Torres 2008). Los residuos orgánicos sin tratar dentro de los desechos sólidos generan una gran problemática al llegar a vertederos municipales, ya que atraviesan procesos biológicos de descomposición generando gran cantidad de gases de efecto invernadero y lixiviados, los cuales contaminan suelos, agua y aire (Buenrostro et al. 2000, CYMA 2006, Janssen 2008). Estos desechos, tanto domiciliarios como industriales, podrían ser una importante fuente de materia prima para la generación de energía y productos útiles de alto valor económico, si se contara con la tecnología y manejo adecuado para tratarlos (Guadarrama 2007, Navarro 2008).

Actualmente en países con mayor desarrollo económico se ha invertido en la búsqueda e implementación de soluciones más seguras para disposición de desechos, siendo las opciones más ampliamente utilizadas los rellenos sanitarios y la incineración (Hamer 2003, Economopoulos 2009). A pesar de que los rellenos sanitarios disminuyen los efectos residuales de los desechos en el ambiente, estos requieren grandes extensiones de terreno y no son sostenibles en el tiempo, con el crecimiento urbano y del agro cada vez se cuenta con menos espacio para abrir nuevos rellenos (Zurbrügg 2003). Por su parte, la incineración produce energía calórica y reduce el espacio ocupado por los desechos, pero es energéticamente ineficiente y los residuos dejados y gases emitidos en el proceso son altamente contaminantes y contienen sustancias precursoras del cáncer (Hamer 2003).

En países en vías de desarrollo siguen prevaleciendo los botaderos a cielo abierto que actúan como foco de proliferación de microorganismos patógenos, roedores e insectos plaga como las moscas domésticas, las cuales son portadoras de enfermedades que afectan a poblaciones aledañas (Hamer 2003, Zurbrügg 2003). En gran parte del mundo y principalmente en países pobres de América Latina, África y Asia la mayoría de los desechos van a dar a paraderos desconocidos como botaderos clandestinos, calles, lotes baldíos, ríos y mares, generando graves problemas de contaminación e inundaciones urbanas por obstrucción de ríos y drenajes (Hamer 2003, Zurbrügg 2003).

En Costa Rica se han dirigido esfuerzos tanto privados como gubernamentales al apoyo e implementación de sistemas de aprovechamiento de residuos orgánicos, principalmente biodigestores, compost y lombricultura, los cuales cumplen con las características de dar un tratamiento adecuado a los desechos y generar un producto útil económicamente importante para el productor (Guadarrama 2007, Magera 2008, Navarro 2008, Zúñiga y Spies 2008). Estos sistemas se manejan a pequeña escala y contribuyen a aliviar una pequeña parte del problema generado por la basura (Convenio Costarricense-Alemán de Cooperación Técnica 2006, Guadarrama 2007, Magera 2008, Navarro 2008, Zúñiga y Spies 2008).

El uso de organismos saprófitos como hongos, bacterias y lombrices para transformar la materia orgánica en un producto aprovechable es una aplicación biotecnológica importante en el campo del tratamiento de desechos, y dentro de éste el uso de insectos como agentes de transformación de materia orgánica en proteína de alto valor es un tema que ha sido objeto de investigación durante décadas (Burns 2005, Diener et al. 2009).

La larva de la mosca soldado negro *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) presenta ventajas para el tratamiento de desechos orgánicos por sobre otras técnicas utilizadas. Sus larvas no sólo procesan una gran variedad de material orgánico, sino pueden ser fácilmente cosechadas y utilizadas como un alimento animal rico en nutrientes (Newton et al. 2005b). Además de esto, esta especie no requiere un tratamiento previo a la materia orgánica, funciona como controlador biológico de otras moscas, reduce la cantidad de microorganismos patógenos en los residuos, reduce la cantidad de materia orgánica introducida rápidamente y genera un material utilizable para fertilización agrícola (Erickson et al. 2004, Newton et al. 2005^a, Hem et al. 2008, Myers et al. 2008, Diener et al. 2009).

Este sistema de tratamiento cuenta con la ventaja de generar ingresos mediante la venta de las prepupas como alimento animal, contribuyendo a subsidiar los gastos de transporte y manejo de los desechos municipales (Newton et al. 2005b, Diener et al. 2009). Los residuos orgánicos procesados por las larvas también podrían ser comercializados como enmiendas en el mercado agrícola, con el fin de dar una mayor rentabilidad al sistema; sin embargo, existe poca información que compruebe su aplicabilidad en este campo (Newton et al. 2005a).

Por otra parte, también se requiere investigación que brinde información sobre el manejo del sistema utilizando desechos municipales orgánicos como materia prima, ya que el correcto desarrollo de las larvas depende en gran medida del alimento que se les suministre (Liu et al. 2008). Dado que en su mayoría esta tecnología se ha desarrollado a nivel experimental en climas templados con desechos animales como gallinaza, cerdaza y boñiga, existe un gran faltante de información que facilite la implementación del sistema como procesador de desechos municipales a gran escala en países en vías de desarrollo, en su mayoría en climas tropicales (Hem et al. 2008, Diener et al. 2009).

El presente estudio pretende optimizar procesos para el manejo de desechos municipales con la mosca soldado negro *Hermetia illucens*, con el fin de lograr un procesamiento continuo en una planta piloto y evaluar los productos orgánicos obtenidos y su aplicabilidad en el campo agropecuario.

JUSTIFICACIÓN

Inicialmente la industria del manejo de desechos utilizó métodos simples de administración de la basura como uso de botaderos, deposición en agua de ríos y mares o quemas, ninguno de los cuales ofrece una opción segura en cuanto a salud humana y ambiental (Zurbrügg 2003). Cuando los desechos son depositados en cualquiera de estos destinos sus características químicas suelen cambiar como resultado de la degradación, que unido a las malas condiciones de almacenamiento y las mezclas complejas en que se encuentran incrementa en gran manera el potencial contaminante de muchos desechos (Buenrostro et al. 2000, CYMA 2006, Janssen 2008).

Uno de estos productos contaminantes son los gases generados durante la digestión anaeróbica de desechos orgánicos, los cuales consisten aproximadamente de un 50% de metano, un gas de efecto invernadero altamente dañino: una tonelada de metano representa un potencial de calentamiento global de aproximadamente 56 toneladas de CO₂ para un horizonte de 20 años (CYMA 2008). Además, se generan lixiviados con alta demanda biológica de oxígeno, que puede afectar las aguas subterráneas y/o las aguas superficiales (CYMA 2008).

En general, en países de bajo y medio ingreso se produce un mayor porcentaje de basura orgánica y papel que en países desarrollados, llegando a formar más de un 50% del total del material descartado (Zurbrügg 2003). Una mayor fracción de basura orgánica genera una masa de desechos municipales más húmedos y densos, esto sumado a la particularidad de que en promedio contienen más materiales inertes como arena, polvo, piedra y cenizas dificulta su recolección, transporte y tratamiento al hacer la basura más pesada y acortar la vida útil de los equipos (Zurbrügg 2003). Los problemas relacionados a la no recolección de residuos son frecuentes, ya sea por falta de equipo o recursos o por la dificultad de acceso a la zona habitada, siendo las zonas más afectadas las rurales y urbanas marginales (CWG 2008).

En la región de América Latina y el Caribe el 70 % de los residuos provienen de la generación domiciliaria o residencial, lo cual se incrementa con el tamaño de las ciudades (Torres 2008). La mayoría de las municipalidades consideran que los botaderos son la mejor solución posible con los recursos que se tienen, más aún porque las respuestas alternativas en su mayoría están adaptadas a condiciones de países desarrollados y no a los climas y circunstancias especiales de países subdesarrollados (Zurbrügg 2003).

Para el 2006 la generación absoluta de basura por día en Costa Rica fue de aproximadamente 3 780 toneladas de residuos sólidos domiciliarios. El núcleo de generación de residuos domiciliarios más importante del país es la llamada Gran Área Metropolitana (GAM), la cual con sólo un 3% del territorio nacional alberga un 60% de la población. En ciudades de la GAM como San José, Desamparados o Alajuela se generaba más de un kilogramo de residuos por persona por día (CYMA 2008).

De los residuos domiciliarios depositados en botaderos municipales de Costa Rica aproximadamente un 55% es materia orgánica (CYMA 2008). En una publicación del 2008 de la revista Campus de la Universidad Nacional, se estima que en los próximos quince años habrá un aumento del 60% en la producción de basura en el país, esto sumado al mal manejo actual y a la saturación de los botaderos existentes nos obliga a tomar medidas para evitar un desastre ecológico y social (Ortiz 2008).

Algunas posibles soluciones adoptadas en otros países para los problemas de contaminación generados en rellenos sanitarios han sido la instalación de grandes tanques para la captación de gas metano, sin embargo el gas captado es de mala calidad y el costo de purificación para elevar el precio de mercado hace el proceso poco rentable (Hamer 2003). Otras opciones para bajar el impacto ambiental en los rellenos sanitarios son la recirculación de lixiviados, control de pH mediante adición de buffer, adición de nutrientes, inoculación de microorganismos benéficos y control de temperatura. Sin embargo, la practicidad de estas propuestas es cuestionable, y algunas podrían tener efectos secundarios dañinos sobre el ambiente (Hamer 2003).

Si el relleno sanitario no debe ser usado para el depósito de desechos biodegradables, surge una pregunta crítica: ¿cuál proceso se puede utilizar que sea a gran escala, económicamente viable, que cumpla con las legislaciones vigentes y sea de aceptación general para la población? Las dos opciones más ampliamente discutidas son el tratamiento biológico, principalmente compostaje y generación de biogás; y la incineración, pero se debe considerar que ambas requieren de la separación de los desechos antes de su tratamiento (Buenrostro et al. 2000, Hamer 2003, Economopoulos 2009).

La incineración no representa una opción viable en países en vías de desarrollo debido al alto contenido de humedad de los desechos y el alto costo energético y de infraestructura del proceso (Zurbrügg 2003). Además, al hablar de incineración se deben tomar en cuenta los peligros asociados con la producción y liberación de compuestos carcinógenos y tóxicos, tanto sólidos como gaseosos, que incluyen compuestos como dioxinas, furanos y estructuras bifeniles halógeno sustituidas, además de que existe un 0,5% de materia orgánica que permanece sin quemarse entre la ceniza y desechos sobrantes (Hamer 2003).

Los procesos de tratamiento biológico para desechos sólidos generalmente son de bajo rendimiento debido a falta de mezcla del material y al gran tamaño de partícula con la que se trabaja, estos problemas se pueden resolver mediante el mezclado y el picado mecánico del material, sin embargo, esto encarece el sistema de tratamiento al introducir mayores costos de maquinaria y costos energéticos (Hamer 2003).

En Costa Rica, en el plan de manejo de residuos sólidos PRESOL 2008 se hace un estudio extenso y completo en los ámbitos legal, administrativo, técnico, institucional, educativo y económico sobre el tema de los residuos sólidos en el país, estableciendo de forma clara la situación actual y proponiendo soluciones bien planificadas con mecanismos de acción e implementación adaptadas a la realidad nacional; además de las inversiones requeridas para su cumplimiento. Sin embargo, hasta ahora el plan no se ha puesto en marcha. Los principales inconvenientes encontrados son la falta de organización y que sigue siendo más barato depositar la basura en botaderos que invertir en cualquier cambio (CYMA 2008).

La producción de proteína de insectos de alto valor es una opción muy atractiva para lograr un sistema económicamente viable de tratamiento de residuos orgánicos, generando un producto con valor de mercado lo suficientemente alto como para mantener el sistema funcionando y generar ganancias (Diener et al. 2009). Esta opción se ha venido desarrollando desde hace ya muchos años, concentrándose en la cría de insectos comestibles tanto para humanos como para animales de granja (Burns 2005).

En este campo, el uso de larvas de la mosca *Hermetia illucens* para el tratamiento de los desechos se presenta como una solución a diversos problemas ambientales y logísticos, probado en diversos estudios científicos y económicos a través de los años (Bondari y Sheppard 1981, Lardé 1989, Sheppard et al. 1994, Newton et al. 2005a, Newton et al. 2005b, Hem et al. 2008). Esta especie se presenta como una mosca no plaga, ya que no se alimenta en su forma adulta por lo que no representa un riesgo de transmisión de enfermedades, al contrario, posee la particularidad de funcionar como biocontrolador de poblaciones de mosca doméstica (*Musca domestica*) y otras moscas comunes, reduciendo sus poblaciones desde un 94 hasta un 100% (Furman et al. 1959, Sheppard 1983, Bradley & Sheppard 1984).

Las larvas proveen un servicio de tratamiento de desechos ideal, ya que se pueden criar y cosechar de forma simple y económica y contribuyen a secar y disminuir malos olores en los residuos al aumentar la aireación y bajar significativamente el potencial contaminante del residuo, produciendo en cambio un material utilizable como abono orgánico que puede ser vendido en forma de producto secundario, lo que aumenta la rentabilidad del sistema (Burns 2005, Newton et al. 2005a, Diener et al. 2009).

Por otra parte, las larvas de *Hermetia illucens* reducen de un 42 a 56% el volumen de la materia orgánica original, consumiendo vorazmente los desechos orgánicos y acumulando en su masa corporal hasta un 40% o más de proteína, lo que resulta en un producto mercadeable de alto valor en la alimentación de animales de granja como aves, cerdos, anfibios y peces (Newton et al. 2005b).

Según Tomberlin y Sheppard (2001) y Tomberlin et al. (2002) si las larvas se mercadearan vivas como especialidad o se explotaran características especiales como la presencia de ácidos grasos esenciales y quitina, el valor comercial del producto sería aún mayor. Además, se puede dar un mayor valor agregado a las larvas al modificar su dieta, aumentando su valor nutricional, como se demuestra en el estudio de St-Hilaire et al. (2007)a, donde se lograron incorporar ácidos grasos omega-3 de alto valor en el contenido lipídico de las larvas al incluir un 22% de desechos de pescado dentro de sus dietas durante 21 días.

De darse un buen manejo al desecho procesado por las larvas éste se podría aprovechar como una fuente de nutrientes para la fertilización de cultivos, aprovechando la gran variedad de nutrientes en los desechos que se reciben (Newton et al. 2005a).

REVISIÓN DE LITERATURA _____

Según Economopoulos (2009) el compost se presenta como el método más económico y eficiente de tratamiento de residuos orgánicos municipales, en comparación con diversos tratamientos anaeróbicos, incineración y el secado biológico, una nueva tecnología de producción de sólidos combustibles. Sin embargo, el compost es un producto con bajo valor de mercado, insuficiente para mantener los altos costos de operación de una planta procesadora de desechos municipales (Diener et al. 2009).

En Costa Rica aún no se ha generalizado el aprovechamiento de desechos municipales a gran escala (Janssen 2008). El uso de larvas de la mosca soldado negro *H. illucens* para el tratamiento de desechos orgánicos se ha presentado como una tecnología prometedora en el campo del manejo de residuos sólidos (Newton et al. 2005b).

Descripción de la especie

La llamada Mosca Soldado Negro es un díptero de la familia Stratiomyidae, género *Hermetia*. La reproducción de esta especie se realiza por ovoposición, los huevos son puestos en grupos uno tras otro en hileras superpuestas, adheridos entre sí y al punto de ovoposición. Son cilíndricos con extremidades redondeadas, de un milímetro de largo, color crema cuando están recién puestos y varía a amarillo al madurar el feto (Copello 1926, Booth y Sheppard 1984).

Las larvas nacen de cuatro a seis días después del desove, son de poco más de un milímetro de largo, color blanco, con cabeza, cauda y diez anillos, tegumento fuerte con pelo en cada anillo. La cabeza presenta dos apéndices móviles en todo sentido; maxilas y antenas en forma de conos (Copello 1926, Booth y Sheppard 1984). Al crecer aumentan los segmentos inferiores tomando forma aplastada, el tegumento se obscurece pasando por crema, rojizo y llegando a plomo negruzco con la cauda más ancha y cabeza puntiaguda. Durante su desarrollo mudan seis veces de piel. En el último estadio, denominado prepupa, las mandíbulas se modifican a forma de gancho para escavar (Copello 1926, Sheppard et al. 1994).

Las pupas son idénticas a las prepupas y conservan la última piel del último instar de la misma, se les reconoce por la ausencia de movimiento. Después de aproximadamente dos semanas en estado de pupa sale el insecto perfecto o imago de su estuche por el método de ampolla frontal pulsátil, haciendo que el tegumento externo de la pupa se rasgue en la región dorsal en forma crucial: vertical desde la cabeza al quinto anillo y horizontal sobre la división que está entre el segundo y tercer segmento (Copello 1926, Sheppard et *al.* 1994).

Los imagos son insectos delgados y alargados, midiendo en promedio 18mm de largo por 4mm de ancho, la cabeza lleva dos antenas de 4mm compuestas de tres artejos color negro siendo el terminal ancho y abarquillado cubierto de pequeños vellos. Los ojos son grandes y verdosos con estriaciones anteposteriores color violeta (Copello 1926).

La cara posterior es cóncava, el sistema bucal está modificado al no alimentarse, tienen trompa corta, labio inferior en forma de doble saco abierto adelante, palpos pequeños cilindro cónicos velludos e hipofaringe tubular. Tiene cuello corto, delgado y muy flexible, permitiendo al insecto mover y girar su cabeza en todas direcciones (Copello 1926).

El tórax es ancho y alargado, de 7mm por 4mm, bombeado, con dos depresiones laterales, color negro azabache brillante con poco bello oscuro, alas de 12mm por 4mm, color marón con reflejos tornasolados azules y rojos, sobrepasan la extremidad del abdomen cuando el insecto está en reposo, 2mm en los machos y 1mm en las hembras. Los balancines en forma de mazos son muy blancos (Copello 1926).

Las patas son delgadas y largas cubiertas de pequeños vellos, las anteriores de 8mm de largo, las medianas de 9mm y las posteriores de 11mm, el primer par de patas está separado del segundo por 4mm, son de color negro a excepción de los tarsos, que son blanco amarillentos en los tres pares de patas; además el tercio superior de las tibias en el tercer par de patas es blanco (Copello 1926).

El abdomen es cilindro cónico con cinco anillos bien visibles color negro azabache, 9mm de ancho por 4mm, el primer y segundo segmento a menudo presentan dos ventanas translúcidas en la cara dorsal y una en la cara ventral. El macho suele ser un poco más pequeño que la hembra (Copello 1926).

Zonas y hábitos de vida

La mosca Soldado Negro *Hermetia illucens* se ha distribuido en los trópicos y zonas templadas cálidas de todo el mundo, incluida Costa Rica (Jiron et al. 1988, Sheppard et al. 2002, Tomberlin y Sheppard 2002). La especie es nativa de las Américas, desde Argentina hasta los Estados Unidos y ha sido transportada por el hombre distribuyéndose desde aproximadamente latitud 45°N hasta latitud 40°S, incluyendo Australia y Nueva Zelanda (Sheppard et al. 1994).

En Costa Rica existen registros de este insecto como descomponedor desde 1988, donde se encontraron larvas de la especie en cadáveres humanos en San José y Heredia, además de colmenas de abejas abandonadas, basureros y composteras en diferentes puntos del Valle Central (Jirón y Solano 1988).

Hermetia illucens se desarrolla mejor en zonas cálidas y es muy sensible a cambios en la temperatura. Tomberlin et al. (2009) reportan una fuerte influencia de la temperatura ambiental sobre el desarrollo de individuos criados bajo condiciones de laboratorio. Larvas criadas a 27 °C ocuparon 1,7 días más para alcanzar el estado de prepupa, un 83% llegó a adulto y los adultos sobrevivieron más tiempo, mientras que a 30°C las prepupas se formaron más rápido, hubo menos generación de adultos (74%) y éstos sobrevivieron menos días. A 36°C de 1800 larvas solamente tres llegaron a pupar, dos pasaron a adulto y sólo sobreviven dos días, probablemente debido a que al aumentar la temperatura aumenta el ritmo metabólico y no se logra acumular suficientes reservas de energía para sobrevivir a etapas posteriores a la de prepupa.

Esta especie utiliza gran variedad de materia orgánica en descomposición para el desarrollo de sus larvas, desde residuos vegetales hasta excremento y tejidos animales (Newton et al. 2005a, Hem et al. 2008, Myers et al. 2008). A diferencia de otras especies de moscas, el adulto rara vez ingresa a viviendas humanas y son mayoritariamente encontrados en zonas silvestres o cerca de materia en descomposición (Sheppard et al. 1994).

Para que este organismo pueda ser utilizado como agente de tratamiento de desechos se debe ser capaz de producir una población adecuada de huevos fértiles, con el fin de inocular de forma continua los desechos con larvas jóvenes (Tomberlin y Sheppard 200, Diener et al. 2009). Según Tomberlin et al. (2002) la crianza y producción de *Hermetia illucens* como agente de control y manejo de desechos no había sido posible sino hasta el 2002.

Las condiciones ambientales son determinantes para una adecuada reproducción, se sabe que existe todo un sistema de cortejo y apareamiento que debe ser tomado en cuenta (Tomberlin y Sheppard 2001, Tomberlin et al. 2002). Los adultos fértiles prefieren áreas con luz solar para aparearse, y los machos por lo general escogen un área físicamente separada de los desechos orgánicos para realizar el cortejo y apareamiento, el apareamiento se inicia en vuelo y termina posado sobre hojas o flores donde incida luz solar directa (Sheppard et al. 1994, Tomberlin y Sheppard 2001).

Las hembras viajan a las zonas de alimentación larval para depositar sus huevos, para lo que eligen una hendidura seca y protegida la que puede ser utilizada por una o varias hembras, el número de huevos por depósito es muy variable (Booth y Sheppard 1984, Tomberlin y Sheppard 2001, Tomberlin y Sheppard 2002). Las hembras pueden depositar huevos fértiles o estériles y los huevos tardan de 102 a 105h en eclosionar a 24°C (Booth y Sheppard 1984). Se cree que las larvas secretan algún tipo de feromona que atrae a las hembras a ovipositar, generando poblaciones gregarias de larvas en un mismo punto de alimentación (Furman et al. 1959, Booth y Sheppard 1984).

El apareamiento y oviposición de huevos fértiles y abundantes está influenciada por una gran cantidad de factores, entre los que se encuentran la intensidad de luz, la incidencia de luz solar, temperatura y grado de humedad, además de la aptitud fisiológica de los adultos, reservas de energía con que cuenten y días de vida que hayan descontado, ya que al no alimentarse gran parte de la energía se invierte en la reproducción (Tomberlin y Sheppard 2002, Sheppard et al. 2002). Tomberlin y Sheppard (2002) determinaron que la intensidad luminosa tiene influencia sobre el apareamiento, pero no sobre la ovoposición, ocurriendo el apareamiento temprano en la mañana y disminuyendo conforme avanza el día.

En el estudio de Tomberlin y Sheppard (2002) no se logró que los adultos se reprodujeran utilizando la luz de lámparas, resultando en la ovoposición de huevos estériles. El apareamiento sólo se logró al colocar una ventana que permitiera la entrada de luz directa del sol a la cámara donde se encontraban los adultos, logrando así la recolección de huevos fértiles. Además, se determinó que todos los huevos fueron depositados cuando la temperatura era mayor a 26°C y la mayoría de las ovoposiciones fueron observadas durante horas de la tarde (Tomberlin y Sheppard 2002). Esto coincide con datos del estudio de Booth y Sheppard (1984), en el que un 99,6 % de la ovoposición ocurre entre 27 y 37 °C. La humedad también tuvo influencia sobre la ovoposición, dándose la mayoría cuando la humedad fuera mayor al 60%.

Con el fin de establecer métodos adecuados de reproducción y crianza, Sheppard *et al.* (2002), analizaron conductas reproductivas de las moscas en condiciones de cautiverio, logrando una buena reproducción en una jaula de cedazo de 2x2x4m, con suficiente espacio aéreo para que se diera la reproducción, siendo importante la presencia de agua y luz solar.

Una vez obtenidos los huevos se puede usar gran variedad de materiales como alimento para la cría de las larvas, entre ellos diversos tipos de residuos orgánicos. Estudios con desechos como broza de café, gallinaza, cerdaza, desechos de palma aceitera y residuos del procesamiento de pescado han demostrado la versatilidad de este organismo para adaptarse a diferentes medios con excelentes resultados (Lardé 1989, Newton *et al.* 2005a, St-Hilaire *et al.* 2007a, Hem *et al.* 2008).

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

Myers et al. (2008) evaluaron el desarrollo de la especie en residuos de origen animal, logrando establecer que una alimentación de 70g de boñiga por día producía prepupas más rápido y adultos que sobrevivían más días, reduciendo la materia orgánica en un 33%; mientras que poblaciones alimentadas con 27g por día tardaban más en alcanzar el estado de prepupa y producían adultos que vivían de 3 a 4 días menos, con una reducción de un 58% de la materia orgánica original.

Por otra parte, Diener et al. (2009), utilizaron una dieta artificial de alimento de pollo para establecer la dosis adecuada de alimento diario, resultando en 100 mg por larva para lograr una máxima reducción de materia orgánica original con una máxima ganancia de peso por parte de las larvas.

Bajo condiciones ideales, las larvas tardan dos semanas en alcanzar el estado de prepupa, pero si hay limitaciones de alimento este período se puede extender hasta por cuatro meses (Furman et al. 1959). Esta habilidad para extender el estado larval en respuesta a la disponibilidad de alimento es útil en el manejo de poblaciones silvestres, para la producción a largo plazo y para adaptar y comenzar nuevas poblaciones (Sheppard et al. 1994).

Dado que las larvas en estado de prepupa abandonan el sitio de alimentación en busca de una zona seca donde transformarse en pupa, su recolección se puede llevar a cabo simplemente manipulando esta migración mediante la implementación de rampas y canales que conduzcan a recipientes de colecta (Sheppard et al. 2002, Diener et al. 2009). Adicionalmente, en esta etapa las larvas limpian sus intestinos de desechos y cuentan con un máximo de energía almacenada, lo que la hace ideal para su aprovechamiento como alimento animal (Sheppard et al. 1994).

Como se mencionó en la justificación, numerosos estudios respaldan a este organismo como un interesante agente de tratamiento para desechos orgánicos. Los beneficios son muchos y el estado de desarrollo actual de la tecnología en gallinaza y cerdaza proporciona datos que respaldan la viabilidad comercial y económica del sistema (Newton et al. 2005b).

Entre los beneficios se encuentra la reducción de más de un 50% del volumen del desecho y la reducción de la humedad del mismo, lo que contribuye al control de malos olores. Un sistema desarrollado por Sheppard et al. 1994 logró la conversión de gallinaza en alimento con 42% de proteína y 35% de grasa a una tasa de conversión del 8% de materia seca (Newton et al. 2005b). Por otra parte, Newton et al. (2005)a lograron una reducción de un 56% en la masa del residuo mientras que las concentraciones de la mayoría de los nutrientes se vieron reducidos de un 40 a un 55%. Un análisis de nutrientes de las prepupas cosechadas indicó que su utilidad como alimento animal, particularmente para acuicultura. Tratamientos posteriores para el residuo dejado por las larvas, que incorporen el uso de lombriz roja californiana u otros métodos de composteo, podrían brindar mayor estabilidad a la materia orgánica y hacer los nutrientes más disponibles para las plantas (Hoornweg et al. 2000, Guadarrama 2007).

Las prepupas secas han sido usadas experimentalmente como alimento para aves de granja, cerdos y peces (Newton et al. 1977, Ocio y Vinaras 1979, Bondari y Sheppard 1981, Bondari y Sheppard 1987, St-Hilaire et al. 2007b). En general, el uso de larvas de *Hermetia illucens* como alimento ha sido exitoso, pero se han encontrado algunos problemas a la hora de balancear las dietas, como resultado de los altos contenidos de grasa de las larvas. Esto sugiere que el mejor uso del producto es como sustituto parcial de proteínas, o que se le podría dar un mayor procesamiento a las prepupas (Newton et al. 2005b).

El potencial de este insecto como biocontrolador de otras especies de mosca, entre ellas la mosca doméstica (*Musca domestica*) se ha documentado desde fechas tan tempranas como 1916, sobre todo en reportes forenses donde se resaltaba el hecho de que restos colonizados por *H. illucens* no fueran invadidos por otras especies de larvas (Dunn 1916, Furman et al.1959, Sheppard 1983, Bradley y Sheppard 1984). En desechos fecales de gallinas y pollos estudios como el de Sheppard (1983) y Axtell y Edwards (1970) resaltan que en presencia de poblaciones bien establecidas de larvas de *H. illucens* no hay problemas de infestaciones con *M. domestica* y al eliminar a la mosca Soldado Negro con insecticidas se da una proliferación de moscas domésticas, las cuales presentan mayor resistencia a los químicos por estar más en contacto con ambientes humanos que *Hermetia*.

Comercialmente ya existen iniciativas para colocar esta tecnología al alcance de usuarios en casas de habitación o empresas. Paul Oliver, investigador, diseñó un modelo para criar larvas denominado BioPod™, que ahora está siendo mercadeado por la División de Tecnologías de Bioconversión de ESR International (Wilson 2009). Según el fabricante, el sistema BioPod™ puede procesar hasta dos kilogramos diarios de desechos, produciendo dos kilogramos de compost y nueve kilogramos de prepupas por cada 45kg de desechos agregados. La versión más grande de este sistema, el ProtaPod™, puede procesar 9,5kg diarios en un sistema lleno hasta la mitad, con una tasa de conversión de desechos a prepupas de aproximadamente 24% (Página comercial, the biopod 2010).

En cuanto a posibles enemigos naturales se ha documentado la presencia del parasitode endófago *Trichopria* sp, afectando poblaciones de *H. illucens*. Según Bradley et al. (1984) bajo condiciones de laboratorio este parasitode mostró preferencia por *H. illucens* frente a *M. doméstica*, con un 8.3% de parasitación; sin embargo, se desconoce si esto podría afectar significativamente programas de manejo de residuos y control biológico con *H. illucens*.

Al respecto de posibles daños que puedan causar las moscas sobre el entorno se han documentado casos aislados de miasis en animales, sin que llegue a ser un riesgo significativo por la ocurrencia esporádica de tales infecciones (Calderón et al. 2005, Fuentes y Risco 2009). En Panamá, en 1975, también se reporta daño a la apariencia física de racimos de banano por ovoposición de la mosca, sin que las larvas penetren al fruto; el problema fue corregido al retirar montículos de banano en descomposición de las cercanías de los racimos jóvenes, que atraía a las hembras a ovopositar al sitio (Stephens 1975).

OBJETIVOS_____

Objetivo General

Establecer un sistema que permita un adecuado manejo de desechos orgánicos municipales utilizando larvas de la mosca *H. illucens*, en el campus de EARTH, Costa Rica, y evaluar la calidad de los desechos orgánicos procesados como abono orgánico.

Objetivos específicos

Implementar una metodología para la reproducción y cuidado de moscas soldado negro (*Hermetia illucens*) producidas a partir de desechos orgánicos municipales (sobras de cocina y desechos de alimentos).

Evaluar diferentes condiciones de manejo del sistema de tratamiento, con el fin de establecer la máxima cosecha de larvas y mejor procesamiento del desecho.

Comprobar la aplicabilidad de los desechos orgánicos procesados por *H. illucens* como abono orgánico, elaborando un vermicompost y un compost.

MATERIALES Y METODOS_____

Localización de la investigación

La presente investigación se desarrolló en el campus de la Escuela de Agricultura de la Región Tropical Húmeda (EARTH) en Guácimo, Costa Rica (T: 26.0°C (17.1–32.8°C); HR: 93.3% (52–100%). El área de experimentación (18mx8m) se situó dentro de un galpón, con techo de zinc corrugado y cercado con malla. Para referencias futuras se denominará el sitio de experimentación “larvario”.

Cría, reproducción y cuidado de *Hermetia illucens*.

Para la cría de larvas de *Hermetia illucens* L. (Diptera: Stratiomyidae) se utilizaron recipientes rectangulares con dos paredes inclinadas como rampas, denominados larveros, de 2m de largo por 81cm de ancho, 30 cm de profundidad y 26° grados de inclinación en ambas rampas, construidos en acero galvanizado. Al final de cada rampa se colocaron tubos sanitarios de 1m de largo por 11cm de diámetro, con una abertura de 5x80cm al final de la rampa, para permitir el ingreso de prepupas. A cada extremo de estos tubos se colgaron bolsas plásticas con un trozo de cedazo (aprox. 50cm²) para la colecta de prepupas. Los larveros se mantuvieron cubiertos con plástico negro o cedazo sostenido por varas de madera y se apoyaron sobre cuatro patas contenidas dentro de recipientes abiertos con agua jabonosa, como barrera contra la entrada de insectos.

Las larvas de mosca *Hermetia illucens* se obtuvieron de una colonia de adultos reproductores mantenidos en un invernadero de 2x3x2,5 m denominado moscario, situado afuera del larvario bajo luz directa del sol. Dentro del moscario se colocó un larvero con larvas vivas, las cuales se alimentaron con desecho orgánico municipal (desechos de cocina, sobras de comida, etc.) dos o más veces por semana. Sobre la materia orgánica con larvas se colocaron soportes de madera con trozos de cartón corrugado enrollados en forma de cilindro de aproximadamente 5cm de largo por 3cm de diámetro, que sirvieron como sitios de ovoposición para las hembras.

La recolección de huevos se dio cerca de las once de la mañana cada dos o tres días. Los cilindros de cartón conteniendo paquetes de huevos, fueron retirados del larvero y rotulados según la cantidad de paquetes de huevos contenidos, reemplazándolos por cilindros vacíos. Los huevos fueron llevados al larvario y colocados en recipientes de eclosión plásticos de 12 cm de profundidad por 11cm de diámetro y tapas agujereadas cubiertas por malla. Adentro se colocaron aproximadamente 20g de alimento de conejo remojado en agua, cuidando que el cartón con los huevos no quedara tocando el alimento ni las paredes del recipiente.

Posteriormente fueron almacenados en un lugar fresco con buena aireación. Transcurridos seis días se sacaron las larvas jóvenes de los recipientes y se inocularon en los larveros respectivos, anotando la fecha, edad de las larvas y la cantidad de paquetes de huevos introducidos en cada larvero.

Las larvas contenidas en los larveros fueron alimentadas a intervalos de uno a tres días con desechos orgánicos procedentes de residencias de la comunidad EARTH, con aproximadamente 76,1% de contenido de humedad. Cada larvero consistió en una unidad experimental separada.

Las bolsas con prepupas de cada larvero se recolectaron a intervalos de uno a tres días y se separaron las larvas de la especie contaminante (*Ornidia obesa*, Diptera; Syrphidae) de las larvas de *H. illucens*, depositándolas en recipientes separados. Se anotó el peso de un grupo de 200 prepupas al azar y el de la cosecha completa de ambas especies por separado.

Una vez a la semana se almacenaron 900g de la cosecha de prepupas para ser utilizados como fuente de adultos. Para ello los insectos se mantuvieron aproximadamente dos semanas en un recipiente plástico de 19cm de diámetro por 9cm de profundidad con tapa de malla bien ventilado, en condiciones de oscuridad. Al comenzar a notar pupas vacías en la superficie del grupo de prepupas éstas se trasladaron a seis bolsas abiertas de plástico con aserrín seco colgadas dentro del moscario, donde emergieron los adultos.

Desmontaje de los experimentos

Para el desmontaje se mantuvieron los larveros dos días sin alimentación, luego se colocó sobre el material con larvas redes de cedazo de aprox. 1m² de área con dos kilos de alimento fresco encima, apuñado en el centro de la red. Estas trampas se dejaron un máximo de tres horas dentro del larvero, hasta notar una acumulación significativa de larvas sobre la superficie del alimento, momento en que se recogió la red conteniendo el alimento con las larvas capturadas, las cuales fueron pesadas y colocadas en un larvero vacío para ser utilizadas en el siguiente experimento. Este trampeo se realizó dos o tres veces por larvero antes de continuar con el desmontaje.

Seguidamente se tomaron tres muestras de 1kg del material de cada larvero, las cuales se secaron en una estufa a 80°C durante al menos 72h. A cada muestra se le determinó el peso fresco, peso seco y contenido de nutrientes (C, N, P, K y microelementos). Además, en cada larvero se separó el material sin digerir, anotando el peso y tipo de material colectado y se pesó y anotó el total de material residual.

Este procedimiento fue el mismo para el desmontaje de cada experimento.

Establecimiento de la colonia

Durante los primeros 20 días se llevó a cabo el proceso de establecimiento de la población, dando el mismo tratamiento a los ocho larveros del primer experimento, excepto por el tipo de cobertura. Se añadieron larvas jóvenes periódicamente procedentes de los recipientes de eclosión, para un total de 66 paquetes de huevos por larvero. Las larvas se alimentaron con un promedio de 1,2 kg de comida fresca por día, colocado sobre la superficie. Transcurrido este proceso se inició el régimen experimental.

Experimento I. Evaluación del tipo de cobertura, disposición del material y cantidad de desecho diario a añadir.

En este ensayo se evaluó el tipo de cobertura, disposición del material y cantidad de desecho diario a añadir (cuadro 1).

Cuadro 1: Variables, medición de resultados y duración del experimento involucrando cobertura de los larveros, disposición del material y cantidad de desecho agregado diariamente. EARTH, 2009.

Tratamientos			Colecta de prepupas	Periodo experimental
Cobertura	Cantidad de alimento diario	Disposición del alimento	5días/semana	35 días
Plástica	1,5	Superficie		
Sarán	1,5	Superficie		
Plástica	1,5	Mezclado		
Sarán	1,5	Mezclado		
Sarán	4,5	Superficie		
Plástica	4,5	Superficie		
Sarán	4,5	Mezclado		
Plástica	4,5	Mezclado		

Experimento II: evaluación de diferentes texturas y drenado del sistema.

Para iniciar el experimento se diseñaron e instalaron sistemas de drenaje en seis larveros y a cada tratamiento se le añadieron 3kg de larvas en todas las etapas de crecimiento y 5kg de materia orgánica, molida o entera según el tratamiento (Cuadro 2). Se manejaron tres repeticiones por tratamiento y dos testigos.

Cuadro 2: Variables, medición de resultados y duración del experimento involucrando textura y drenaje en los sistemas de tratamiento. EARTH, 2009.

Tratamientos		Cantidad de desecho agregado (kg/m ² , peso fresco)	Colecta de prepupas	Periodo experimental
Drenado	Textura	5kg tres días por semana, para un aproximado de 1,8kg de desecho orgánico a procesar por día; puesto sobre el material sin revolver	2 días/ semana	41 días
Con drenaje	Entero			
Sin drenaje	Entero			
Con drenaje	Picado			
Sin drenaje	Picado			
Testigo 1*				
Testigo 2**				

* En el primer testigo se depositaron los desechos orgánicos enteros en un larvero, según el régimen seguido por todos los tratamientos, sin inoculación de larvas.

** En el segundo testigo se añadieron 3kg iniciales de larvas en todas las etapas de crecimiento, sin realizar inoculaciones sucesivas. Se le añadieron desechos picados según el régimen de alimentación seguido por todos los tratamientos.

Experimento III: evaluación de la presencia y ausencia de drenaje en sistemas con material picado y 5kg diarios de alimento.

Una vez concluido el experimento anterior el material proveniente de los tratamientos con desecho picado se regresó a sus respectivos larveros. Todas las larvas trampeadas se dividieron en partes iguales y se repartieron en los seis larveros con material picado, recibiendo cada larvero un total de 11kg de material orgánico+larvas, del que aproximadamente 5,5kg eran larvas. Se manejaron tres repeticiones por tratamiento y dos testigos (cuadro 3).

Cuadro 3. Variables, medición de resultados y duración del experimento involucrando presencia y ausencia de drenaje en los sistemas de tratamiento. EARTH, 2009.

Tratamiento	Cantidad de desecho agregado (kg/m², peso fresco)	Colecta de prepupas y medición de líquido vertido	Periodo experimental
Con drenaje	10kg, tres días por semana, material picado puesto sobre la superficie	5 días/ semana	21 días
Sin drenaje			
Testigo 1*			
Testigo 2**			

* El primer testigo se manejó mediante la depositación de desechos picados en un larvero, según el régimen seguido por todos los tratamientos, sin inoculación de larvas.

** El segundo testigo se manejó añadiendo 11kg iniciales de material con larvas en todas las etapas de crecimiento, sin realizar inoculaciones sucesivas. Se le añadieron desechos picados según el régimen de alimentación seguido por todos los tratamientos.

Experimento IV: evaluación de sistemas de post tratamiento para el desecho procesado por las larvas.

Se evaluaron tres metodologías de post tratamiento para el residuo orgánico dejado por las larvas, después de procesar el desecho. La materia prima empleada fue el material orgánico residual de menor olor, nivel de humedad más bajo y consistencia más friable. Se evaluaron tres tratamientos: compostaje con EM (microorganismos eficientes), compostaje sin EM y tratamiento con lombriz roja californiana (*Eisenia foetida*).

Para el proceso de compostaje se hicieron seis montículos en forma de cono de 26kg cada uno dentro de los larveros, se les añadieron 200g de aserrín espolvoreado por encima y se mantuvieron cubiertos con sarán. Para el tratamiento con EM se utilizó una solución de microorganismos facilitada por la división Agropecuaria de la universidad EARTH, y se hicieron aplicaciones diarias de EM activado con melaza al 50% de dilución mediante aspersion sobre la superficie del montículo hasta notar que toda la superficie estuviera impregnada, aproximadamente 50ml. Para el tratamiento sin EM solamente se aplicó la fuente de azúcar. El sustrato en cada repetición se mezcló una vez por semana durante dos semanas.

En el caso de la lombricultura se añadieron 2kg de lombrices rojas californianas (*Eisenia foetida*) y se dejó procesando durante dos semanas.

Para el análisis de los datos se utilizaron los programas Microsoft Excel y Minitab15, para determinar las diferencias entre variables se realizaron Diseños Factoriales (α : 0,05), en los que se tomaron en cuenta solamente las últimas diez mediciones tomadas durante el período experimental de cada experimento, debido a que es cuando las larvas presentaban una mayor adaptación al sistema de cultivo.

Los análisis estadísticos utilizados tienen un poder de resolución de 0,91% para separar efectos de hasta 200g en el caso de la cosecha diaria de prepupas; y un poder de resolución de 0,66% para separar efectos de hasta 20mg en el análisis de peso promedio diario de prepupas cosechadas.

Para la determinación del porcentaje de reducción del material orgánico procesado se aplicó la fórmula $(T-R)/T$; donde T: es el material orgánico agregado al sistema y R: es el residuo dejado por las larvas al finalizar el período experimental.

RESULTADOS

Cría y cuidado de larvas de *Hermetia illucens*.

La metodología desarrollada para el cuidado de la colonia de larvas de mosca soldado negro (*H. illucens*) resultó adecuada para su mantenimiento bajo las condiciones estudiadas.

Muy ocasionalmente, se observaron migraciones masivas de larvas prematuras en larveros demasiado húmedos.

Reproducción de la colonia de moscas.

Se tuvieron dificultades en el logro de una producción continua y abundante de huevos dentro del moscario. Al final del periodo experimental se encontraron muertas todas las larvas del moscario, en días siguientes la colecta de huevos disminuyó hasta ser casi nula. Ocasionalmente no se recuperaron larvas de los recipientes de eclosión donde se habían introducido huevos, y al momento de inocular larvas jóvenes en los tratamientos algunas veces se observaron larvas de tamaños muy variados, a pesar de que los huevos fueran recolectados el mismo día.

Comportamiento de cosechas promedio y pesos promedio por prepupa a través del tiempo.

Aún con la baja en la colecta de huevos y pocas larvas inoculadas se mantuvieron poblaciones suficientes en los larveros para procesar la cantidad de desecho manejado, además de resultados positivos en cuanto a las cosechas y pesos promedio por prepupa.

En los tres experimentos desarrollados la cosecha diaria y el peso promedio por prepupa se incrementaron hacia el final del periodo experimental; además la cosecha diaria permaneció muy irregular a través del tiempo, alternándose entre alta y baja en cada colecta. Los gráficos de cosecha diaria y peso promedio por prepupa durante los experimentos II y III, tomando en cuenta la variable con y sin drenaje, ejemplifican estos comportamientos (figuras 1 y 2). En ambos gráficos se observa un alza en la primera parte, seguido por una depresión entre las semanas seis y siete, al terminar un experimento e iniciar el siguiente (Figura 1 y Figura 2).

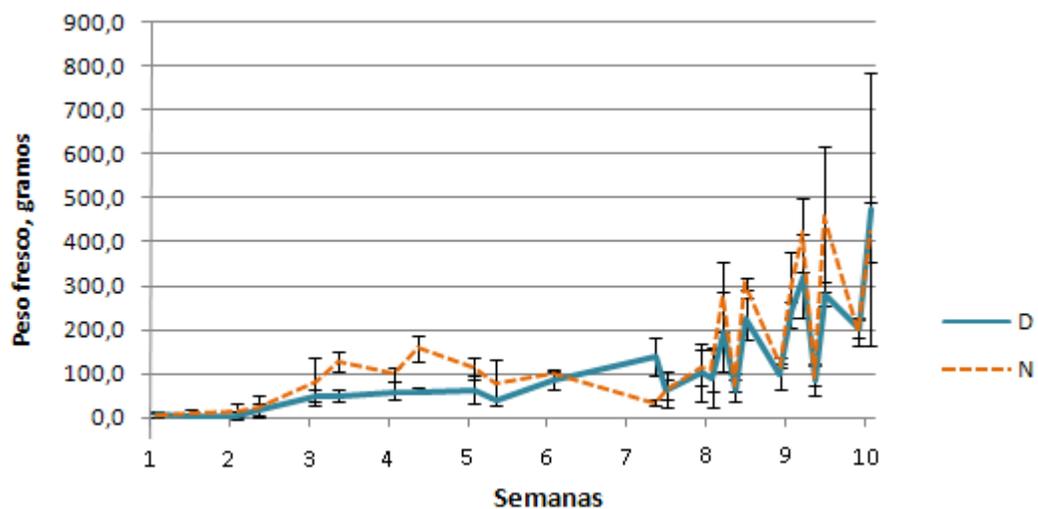


Figura 1: Cosecha diaria de prepupas de *H. illucens* durante los experimentos II (semana uno a seis) y III (semanas siete a diez) tomando en cuenta la variable con y sin drenaje. EARTH, 2009. Simbología: D: con drenaje, N: sin drenaje. La cantidad de alimento se duplicó a partir de la semana seis.

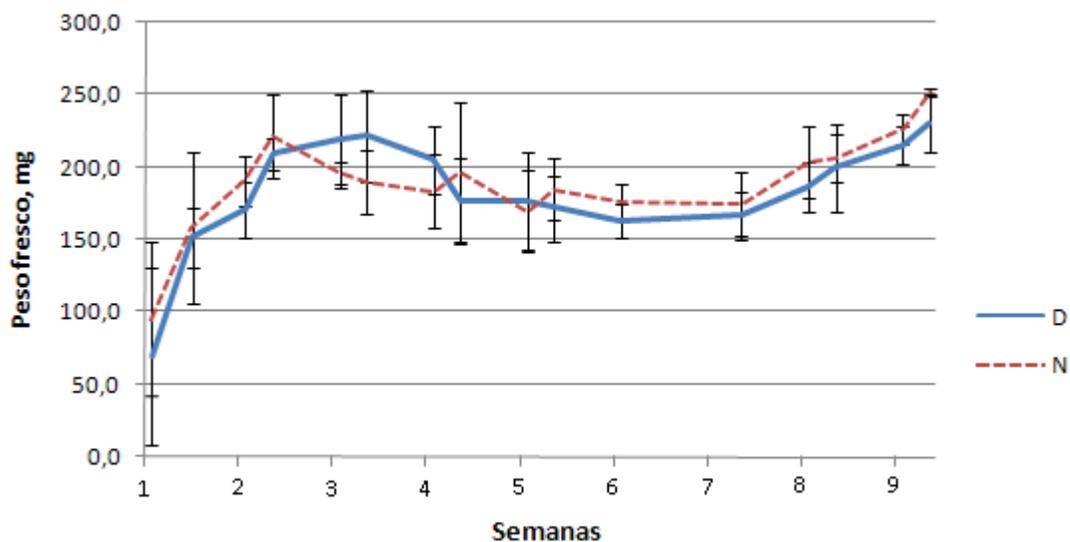


Figura 2: Peso fresco promedio diario por prepupa de *H. illucens* cosechada durante los experimentos II (semana uno a seis) y III (semanas siete a nueve) tomando en cuenta la variable con y sin drenaje. EARTH, 2009. Simbología: D: con drenaje, N: sin drenaje. La cantidad de alimento se duplicó a partir de la semana seis

Evaluación del tipo de cobertura, disposición del material y cantidad de desecho diario a añadir.

En las figuras 3a y 4a, la línea inclinada refleja la normalidad de los datos cuando se evalúan las variables de cada experimento, en este caso cobertura, disposición del material y cantidad de alimento. Cuanto más se aleje la respuesta de los factores de esta línea mayor será la porción de datos que se comporten distinto a lo esperado, y cuanto más alto sea el porcentaje del eje “y” mayor será la criticidad del factor para el parámetro evaluado.

En los gráficos de cubo mostrados se presentan el resultado de la combinación de las distintas variables, en este caso la cara frontal presenta los resultados obtenidos con 1,5kg/m² diarios de alimento y la cara distal con 4,5 kg/m² de alimento, la derecha los resultados con cobertura de sarán y la izquierda con cobertura plástica, mientras que la cara superior presenta los resultados con material mezclado y la inferior con material colocado de forma superficial, siendo cada esquina el resultado de una combinación distinta de tres variables.

En este experimento la cantidad de alimento causó diferencias significativas en los resultados de cosecha diaria, mientras que los otros factores evaluados no tuvieron un efecto significativo sobre la cosecha diaria (figura 3a). En los tratamientos con 4,5kg diarios de alimento colocado superficialmente y cobertura de sarán se obtuvieron mayores cosechas (536 g diarios/m²) (figura 3b).

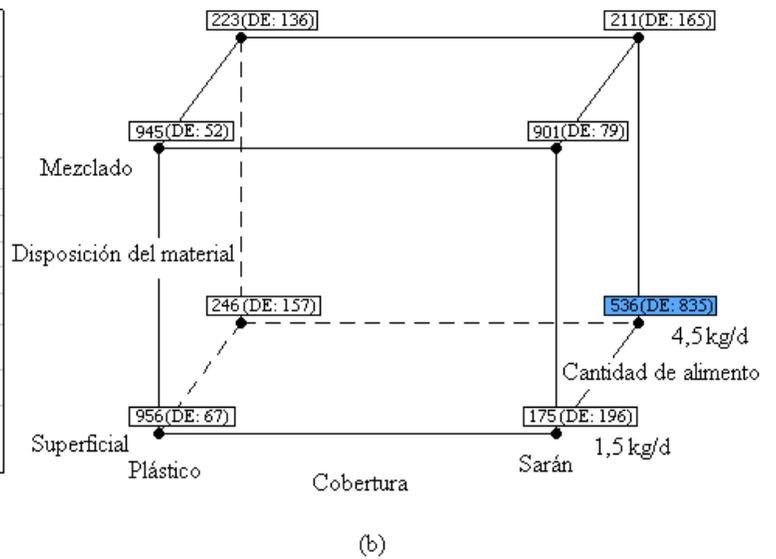
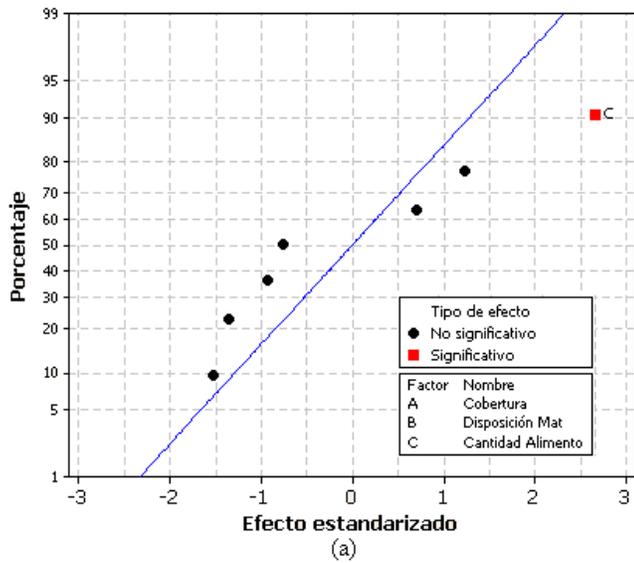


Figura 3. a: Gráfico normal de efectos estandarizados del tipo de cobertura, cantidad y disposición de alimento sobre la cosecha diaria de prepupas de *H. illucens*. **b:** Cosechas promedio ($g/m^2/d$) de *H. illucens* obtenidas al combinar estas variables en un sistema de tratamiento de residuos orgánicos municipales (DE: desviación estándar; α : 0,05). EARTH, 2009.

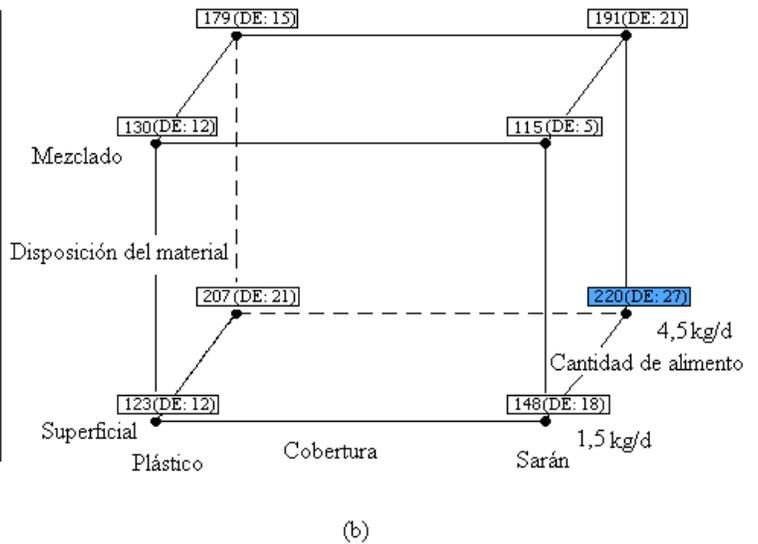
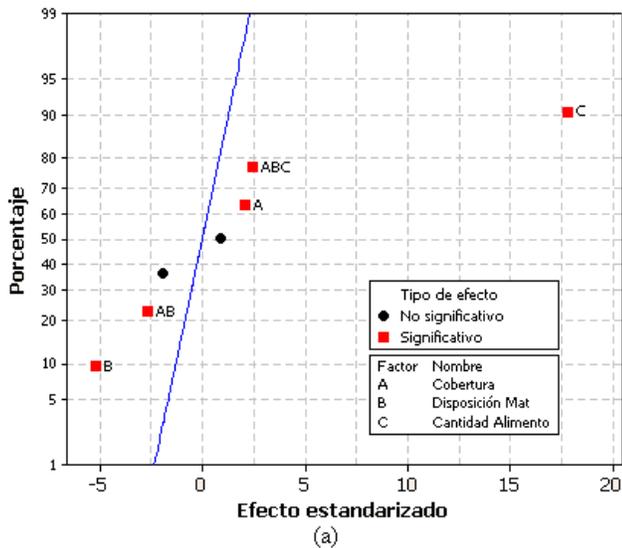


Figura 4. a: Gráfico normal de efectos estandarizados del tipo de cobertura, cantidad y disposición de alimento sobre el peso promedio por prepupa de *H. illucens*. **b:** Pesos promedio por prepupa ($mg/m^2/d$) de *H. illucens* obtenidos al combinar estas variables en un sistema de tratamiento de residuos orgánicos municipales (DE: desviación estándar; α : 0,05). EARTH, 2009.

En el caso del peso promedio por prepupa cosechada se observan interacciones dobles y triples junto con factores principales cerca de la línea de la normalidad, indicando que todas las variables evaluadas y la interacción entre las tres (cobertura, disposición del material y cantidad de alimento) tiene un efecto significativo, siendo la cantidad de alimento el factor de mayor criticidad (figura 4a). El peso máximo promedio por prepupa fue de 219mg, obtenido con la combinación de 4,5kg diarios de alimento, cobertura de sarán y alimento colocado sobre la superficie (figura 4b).

El mayor porcentaje de reducción de la masa del residuo procesado, se logró con el tratamiento de cobertura plástica, material mezclado y 1,5kg de alimento diario y el mínimo porcentaje de reducción se presentó en el tratamiento con cobertura de plástico, alimento mezclado y 4,5kg diarios de alimento (Cuadro 4).

Cuadro 4. Porcentajes de reducción de la masa del residuo orgánico procesado por larvas de *H. illucens* en el experimento involucrando las variables de cobertura de los larveros, disposición del material y cantidad de desecho agregado diariamente. EARTH, 2009.

Tratamiento			Reducción peso fresco (%)	Reducción peso seco (%)
Cobertura	Cantidad de alimento	Disposición del alimento		
Plástica	1,5	Superficie	72,2%	80,3%
Sarán	1,5	Superficie	78,2%	77,1%
Plástica	1,5	Mezclado	80,2%	83,6%
Sarán	1,5	Mezclado	71,4%	54,3%
Sarán	4,5	Superficie	52,9%	67,1%
Plástica	4,5	Superficie	50,7%	73,2%
Sarán	4,5	Mezclado	49,2%	68,7%
Plástica	4,5	Mezclado	43,1%	65,3%

Evaluación de diferentes texturas y drenado del sistema.

La presencia o ausencia de un sistema de drenaje así como la textura del material orgánico introducido no tuvieron un efecto significativo sobre el peso de cosecha diaria y el peso promedio de las prepupas cosechadas, cuando las larvas fueron alimentadas con 1,8kg diarios de material orgánico (figura 5 a y b).

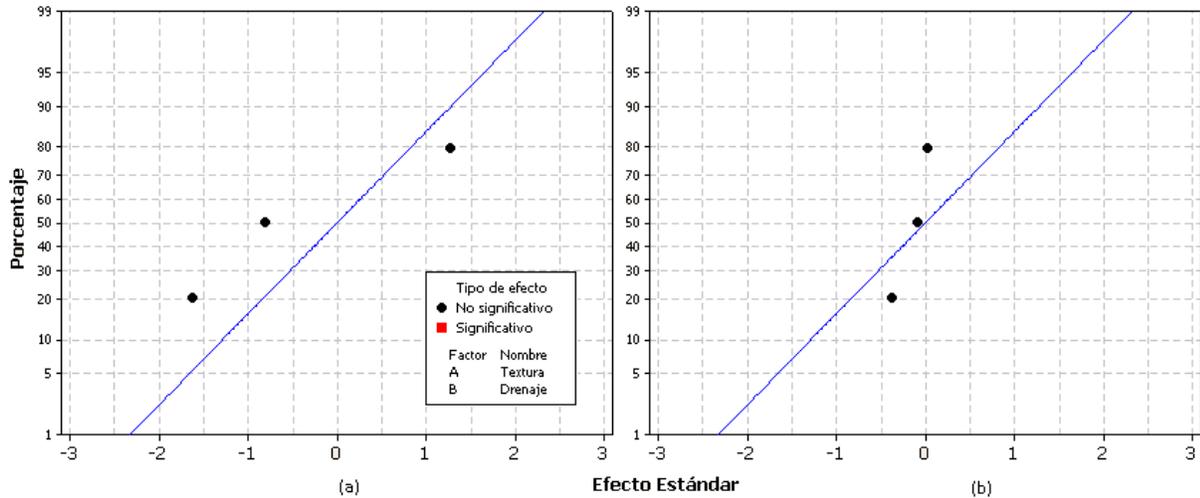


Figura 5. a: Gráfico normal de efectos estandarizados de las variables textura y drenaje sobre los datos de cosecha diaria de *H. illucens* utilizando 1,8kg diarios de alimento. **b:** Gráfico normal de efectos estandarizados de las variables textura y drenaje sobre los datos de peso promedio por prepupa utilizando 1,8kg diarios de alimento. (α : 0,05). EARTH, 2009.

El valor promedio de cosecha fue de 205g en sistemas con desecho picado y sin drenar (figura 6a) y el peso promedio por prepupa promedio fue de 190mg al usar desecho entero y sistema drenado (figura 6b).

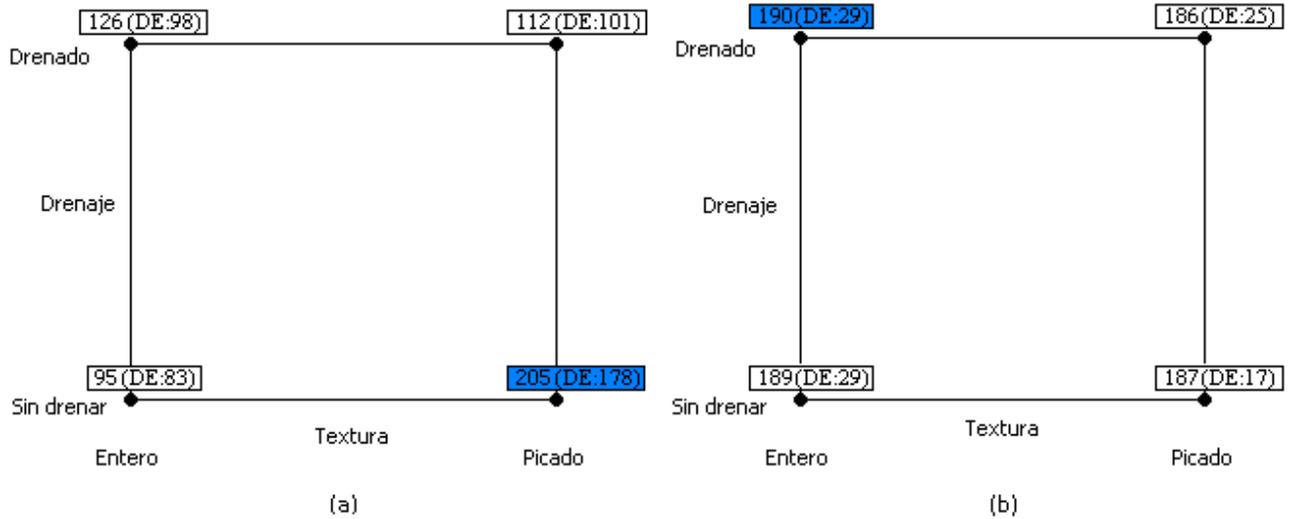


Figura 6. a: Cosechas promedio de *H. illucens* obtenidas al combinar las variables textura y drenaje utilizando 1,8kg diarios de alimento ($\text{g}/\text{m}^2/\text{día}$). **b:** Pesos promedio por prepupa de *H. illucens* obtenidas al combinar las variables textura y drenaje utilizando 1,8kg diarios de alimento ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{día}$). (DE: desviación estándar; α : 0,05). EARTH, 2009.

El tratamiento testigo (testigo 1) de este experimento se infestó primero de larvas de *M. domestica* y paulatinamente fue colonizado por larvas de mosca *H. illucens*, sin embargo, no se cuantificó la cosecha de ninguna de las dos especies. El tratamiento manejado con un inóculo inicial de *H. illucens* y sin inoculaciones sucesivas (testigo 2) presentó una cosecha promedio diaria en las últimas diez mediciones de 126g (DE* 107g) y un peso promedio por prepupa de 201mg (DE 36); con 76,3% de contenido de humedad en el material residual procesado.

Los porcentajes de reducción en la masa de desecho procesado, tomando en cuenta los factores de textura y drenaje con la aplicación de 1,8kg diarios de alimento, fueron de 39,7 a 56,4% en el peso fresco y de 47 a 54,7% en el peso seco (cuadro 5).

En la última semana de este experimento se observó la muerte repentina de todas las larvas de tres larveros, en las repeticiones 1 y 3 de los tratamientos con alimento entero y sin drenaje; y la repetición 3 del tratamiento con alimento entero y con drenaje, por lo que no fue posible realizar la toma de muestras para el cálculo de porcentaje de reducción en estas repeticiones. En estos larveros, una vez muertas las larvas de *H. illucens* se dio una infestación con larvas de *M. domestica*.

*DE: desviación estándar

Cuadro 5. Porcentajes de reducción en la masa del residuo orgánico procesado por larvas de *H. illucens* en el experimento involucrando las variables de textura y drenaje (D.E.: desviación estándar, N.A.: no aplica). EARTH, 2009.

Tratamiento		Porcentaje de reducción peso fresco	D.E.	Porcentaje de reducción peso seco	D.E.
Drenado	Textura				
Con drenaje	Entero	56,4%	12,9	54,7%	12,2
Sin drenaje	Entero	39,7%	N.A	47,7%	N.A.
Con drenaje	Picado	47,3%	7,2	54,1%	2,1
Sin drenaje	Picado	50,4%	3,8	54,3%	7,5
Testigo 1		38,8%		58,3%	
Testigo 2		55,3%		54,7%	

Evaluación de presencia y ausencia de drenaje en sistemas con material picado y 5kg diarios de alimento.

Al duplicar la cantidad de alimento diario en los tratamientos con material picado se dio un aumento significativo tanto en el peso promedio de la cosecha diaria como en el peso promedio de las prepupas cosechadas, sin embargo, la presencia o ausencia de un sistema de drenado continuó sin ejercer un efecto significativo sobre estas dos variables (figura 7).

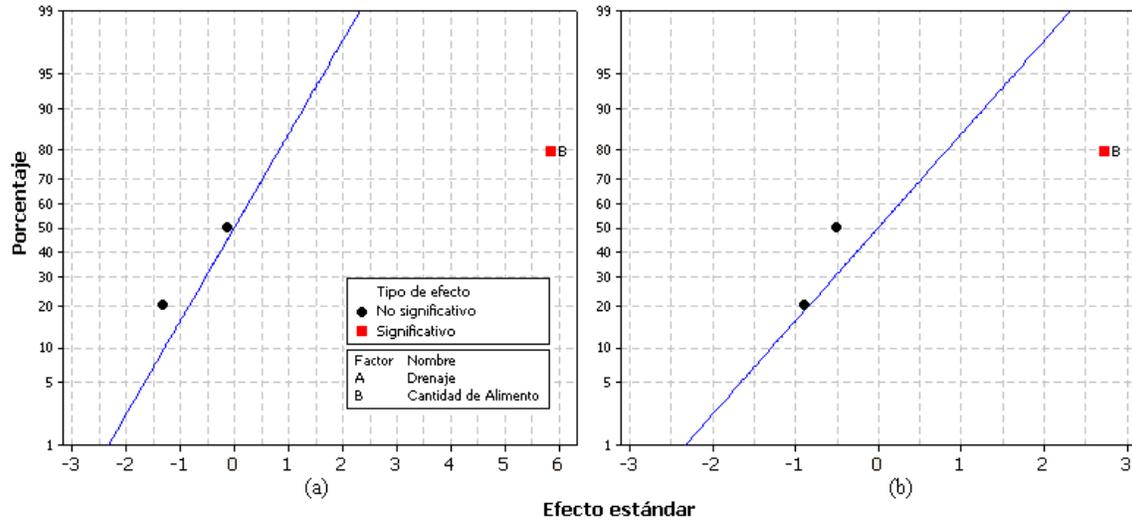


Figura 7. a: Gráfico normal de efectos estandarizados de las variables cantidad de alimento y drenaje sobre los datos de cosecha diaria promedio de prepupas de *H. illucens*. **b:** Gráfico normal de efectos estandarizados de las variables cantidad de alimento y drenaje sobre los datos de peso promedio por prepupa de *H. illucens* (α : 0,05). EARTH, 2009.

El peso promedio de cosecha diaria más alto fue de 264g/m² (Figura 8a), y el peso promedio por prepupa de 212mg (Figura 8b), ambos obtenidos al aplicar 4,3kg/m² diarios de alimento sin drenaje.

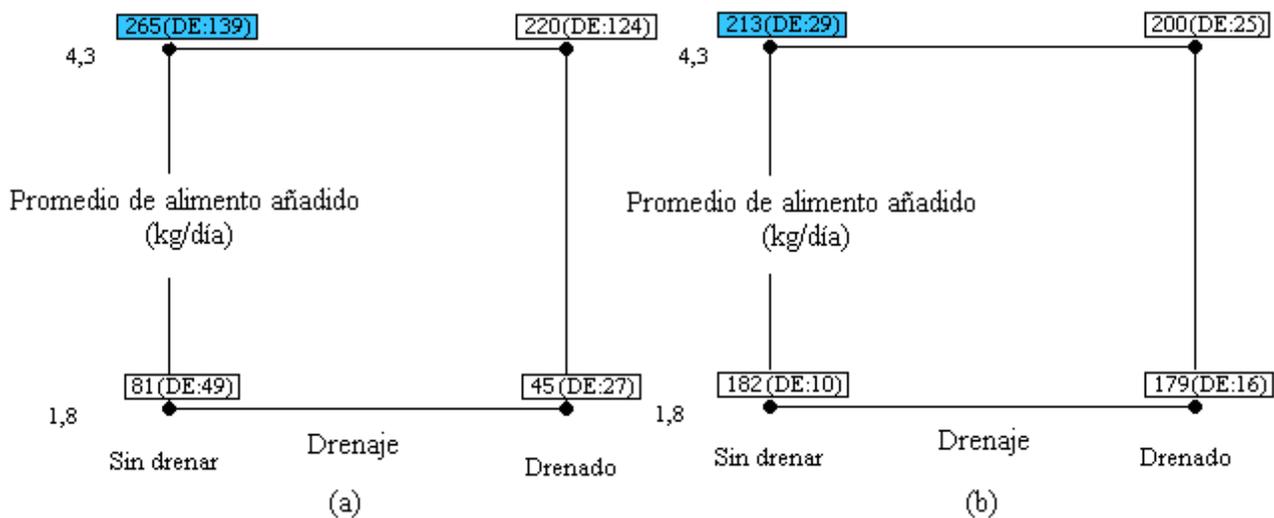


Figura 8. a: Cosechas promedio de *H. illucens* obtenidos al combinar diferentes variables de manejo en un sistema de cría (g/m²/día). **b:** pesos promedio por prepupa de *H. illucens* obtenidos al combinar diferentes variables de manejo en un sistema de cría (mg/m²/día) (DE: desviación estándar; α : 0,05). EARTH, 2009.

Por otra parte, los porcentajes de reducción de la masa del residuo procesado en los tratamientos donde se colocaron 4,3 kilos diarios de material picado, fueron numéricamente mayores en los tratamientos con drenaje, al compararlos con los tratamientos sin drenaje (cuadro 6). Sin embargo, el porcentaje de humedad del residuo en todos los tratamientos fue de aproximadamente 82%, sin que la presencia o ausencia del sistema de drenaje afectara el resultado.

Cuadro 6. Porcentajes de reducción en la masa del residuo orgánico procesado por larvas de *H. illucens* en tratamientos con y sin drenaje. EARTH, 2009.

Tratamiento	Porcentaje de reducción peso fresco	Desviación estándar	Porcentaje de reducción peso seco	Desviación estándar
Con drenaje	50,8%	6,0	72,1%	3,1
Sin drenaje	38,9%	4,9	65,5%	4,3
Testigo 1	47,8%		69,7%	
Testigo 2	22,1%		67,0%	

A través de los sistemas de drenaje se dio el escape de gran cantidad de larvas por los tubos de desagüe, al colocar una malla como barrera ésta se obstruyó por el material orgánico imposibilitando el paso del líquido.

En el testigo 1 se dio en los primeros días la descomposición del material orgánico, generando malos olores; una semana después se notó una gran infestación de larvas de *M. domestica*, y pocas larvas de *H. illucens* y *O. obesa*. Transcurrida otra semana se cosecharon 17g de una población mixta de prepupas y pupas conformada por las tres especies mencionadas anteriormente, de las cuales muy pocas eran *H. illucens*. Al día siguiente la cosecha ascendió a 144g de población mixta, esta vez en su mayoría *H. illucens* y *Ornidia obesa* y muy pocas *Musca domestica*. Transcurridos cuatro días ya se contabilizaba una cosecha de 140g de *H. illucens*, 34g de *O. obesa* y 0g de *M. domestica*.

El tratamiento al cual se le aplicó un inoculo inicial de *H. illucens* y sin inoculaciones posteriores (testigo 2) tuvo una cosecha promedio en las últimas diez mediciones de 248g diarios (DE 170) de *H. illucens* con un peso promedio en las cinco mediciones realizadas de 231 mg/ prepupa (DE 18). El contenido de humedad del residuo fue de 84,4%.

Análisis del residuo procesado por las larvas.

Los análisis de nutrientes del residuo orgánico procesado por las larvas en los distintos ensayos mostraron una relación carbono/nitrógeno cercana a 15 y contenidos de hierro y zinc elevados; además, en todos los tratamientos se mantuvo una consistencia pegajosa, nivel alto de humedad (aproximadamente 80%) y fuerte olor desagradable (cuadro 7).

Cuadro 7. Contenido nutricional del residuo orgánico municipal procesado por larvas de *H. illucens* en tres experimentos diferentes (D.E.: desviación estándar). EARTH, 2009.

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.	Promedio	47,64	3,92	0,85	2,76	2,08	0,28	1260,47	16,66	4737,81	80,78	12,42	
	D.E.	4,70	0,67	0,40	0,36	0,76	0,07	394,42	4,48	1249,36	24,57	1,99	
II: Evaluación de diferentes texturas y drenado del sistema	Promedio	45,91	3,03	0,89	5,52	2,23	0,30	864,33	24,11	4396,04	43,44	15,23	
	D.E.	5,06	0,43	0,29	0,37	0,66	0,04	500,15	4,47	1370,07	11,99	1,14	
III: Presencia y ausencia de drenaje en sistemas con material picado y 5kg diarios de alimento.	Promedio	47,15	2,85	0,72	2,39	2,32	0,24	1432,67	15,47	3029,40	60,33	16,76	
	D.E.	6,18	0,52	0,18	0,21	0,51	0,03	704,65	3,16	1041,87	11,21	1,91	

Sistemas de post tratamiento para el desecho procesado por las larvas.

Los ensayos diseñados para el post tratamiento del residuo fueron finalizados a las dos semanas, debido al inadecuado funcionamiento de los sistemas probados. En el caso de la lombricultura murieron las lombrices que entraron en contacto con el desecho procesado por las larvas. Por otra parte, los montículos con y sin EM no presentaron aumento de temperatura, la cual se mantuvo en 32 °C.

DISCUSION DE RESULTADOS_____

Cría, reproducción y cuidado de *Hermetia illucens*.

Cría de las larvas en los larveros.

El éxito de la metodología utilizada respondió al ajuste continuo del sistema de manejo acorde con las necesidades de cada experimento, este proceso de tropicalización del protocolo es un factor de suma importancia en el alcance de cualquier proceso productivo funcional (Hem et al. 2008, Diener et al. 2009). La adaptación de las larvas de mosca soldado negro a los desechos orgánicos municipales como alimento está acorde con lo teóricamente esperado, tomando en cuenta la gran versatilidad de este organismo para adaptarse a materias primas diversas (Lardé 1989, Newton et al. 2005a, St-Hilaire et al. 2007a, Hem et al. 2008).

Mediante el control del nivel de humedad del desecho se podrían mejorar los resultados obtenidos, ya que la alta humedad, cercana al 80%, pudo afectar el correcto desarrollo de las larvas. Sheppard (1983) asegura que en condiciones de alta humedad (porcentaje de humedad no especificado) las larvas de mosca soldado negro tienen un crecimiento lento.

Reproducción de las moscas en el moscario.

Tomberlin y Sheppard (2002) determinaron en su estudio sobre reproducción y ovoposición de *H. illucens* que la ovoposición ocurre a temperaturas mayores a 26°C. Por otra parte Sheppard et al. (2002) encontraron que un rango de temperaturas entre 24 y 40°C favorece la reproducción de la mosca, mientras que Booth y Sheppard (1984) reportaron que un 99,6% ocurren entre 27,5 y 37,5 °C. Dado que durante el ensayo la temperatura dentro del moscario varió desde 14.5°C hasta 47.4°C (promedio: 27.0°C, DE:7.7), los momentos en que la temperatura estuvieran fuera del rango óptimo pudieron influir negativamente sobre la reproducción del insecto.

Igualmente, en los estudios de Booth y Sheppard (1984), Tomberlin y Sheppard (2002) y Sheppard et al. (2002) se demostró que la incidencia de luz solar es indispensable para que se de el apareamiento y ovoposición de huevos fértiles, por lo que en días de alta nubosidad la reproducción también se pudo ver afectada.

Si las condiciones ambientales dentro del moscario no fueran las adecuadas durante varios días consecutivos se vería comprometida la capacidad reproductiva de la hembras, ya que al no alimentarse éstas dependen de sus reservas de energía para mantenerse vivas y si no se aparean en los primeros días después de surgido el imago reabsorben sus oocitos para usarlos como fuente de energía (Tomberlin y Sheppard 2002, Tomberlin et al. 2002).

La falta de ovoposición después de morir las larvas del larvero mantenido dentro del moscario comprueba la teoría de que las acumulaciones de larvas de *H. illucens* estimulan hembras de su misma especie a poner huevos en el sitio de alimentación de las larvas, formando poblaciones gregarias (Bradley y Sheppard 1984, Booth y Sheppard 1984). Al morir la población de larvas dejó de darse este estímulo a las hembras de la población, disminuyendo considerablemente la cantidad de huevos recolectados.

En los estudios de Furman et al. (1959) y Tomberlin y Sheppard (2002) se reporta que al no haber condiciones adecuadas para la cópula, las hembras depositan huevos estériles, esto junto con la muerte por contaminación explica la ausencia de larvas dentro de los recipientes de eclosión donde se habían introducido huevos. Por otra parte, la presencia de larvas de diversos tamaños en un mismo recipiente de eclosión podría ser consecuencia de la ovoposición de varias hembras en diferentes tiempos en el mismo grupo de huevos (Tomberlin et al. 2002).

La muerte de las larvas en los tratamientos mencionados y en el moscario pudieron deberse al uso de insecticidas comerciales en las casas de habitación de donde provenían los desechos que se empleaban con el fin de evitar la molestia de moscas y hormigas atraídas por estos desechos dentro de las casas. De contener insecticidas dentro del desecho las larvas de *H. illucens* se verían muy afectadas, ya que al ser una especie silvestre no ha desarrollado resistencia contra insecticidas de uso común en hogares (Axtell y Edwards 1970, Tomberlin et al. 2002). En un estudio de Tomberlin et al. (2002) se demostró que la larva de mosca soldado negro es de 10 a 30 veces más susceptible que *M. doméstica* a los piretroides, usados como ingrediente activo en insecticidas; esto explica la aparición de larvas de *M. domestica* en el desecho una vez muertas las larvas de *H. illucens*.

Comportamiento del peso promedio por prepupa y la cosecha diaria de prepupas a través del tiempo.

El aumento tanto en el peso promedio por prepupa como en la cosecha diaria al final de los ensayos pudo deberse al proceso de establecimiento y adaptación de las larvas al medio, siendo ambos mayores hacia el final del período de cada experimento, cuando la colonia se encontrara mejor establecida; siguiendo el comportamiento de la curva de crecimiento descrita por Madigan et al. (2004).

En el caso del peso promedio por prepupa el comportamiento es el esperado para cualquier grupo de organismos vivos adaptándose a un medio nuevo, el aumento sostenido al inicio se da en condiciones de abundancia de recursos de alimento y al establecerse la población y aumentar el número de individuos el peso promedio se regula por el incremento en la competencia por la comida (Madigan et al. 2004).

El patrón irregular observado en las cosechas, alternando entre alto y bajo de una cosecha a la siguiente, ya ha sido reportado para esta especie en el ensayo de Lardé (1989) quien sostiene que la gran variación entre pesos de cosecha podría deberse a la dinámica poblacional de la especie, al encontrarse en un sistema abierto expuesto a la ovoposición de hembras silvestres; además pueden existir comportamientos migratorios en las larvas, las que muestran preferencia por migrar en grupos.

Myers et *al.* (2008) afirman que variaciones entre distintas generaciones de larvas podrían ser causados por efectos parentales sobre la descendencia, donde variables que afectan a los adultos dentro del moscario como fotoperiodo y temperatura producirían efectos significativos sobre las larvas, notándose diferencias entre una generación y otra.

Evaluación del tipo de cobertura, disposición del material, cantidad de desecho diario a añadir, presencia o ausencia de sistemas de drenaje y textura del alimento (entero o picado).

Cosecha diaria.

De todas las variables evaluadas solamente la cantidad de alimento tuvo un efecto significativo sobre el peso promedio de cosecha diaria de prepupas, esto coincide con estudios realizados tanto con dietas artificiales como con dietas a partir de desechos, en los que al aumentar la cantidad de alimento aumenta el peso promedio de cosecha de prepupas obtenido (Myers et *al.* 2008, Diener et *al.* 2009).

La cosecha promedio máxima de 536g/m² con 4,5kg diarios de desecho obtenido en primer experimento supera a los 264g/m² obtenidos en el tercer experimento con 4,3kg diarios de alimento, sin embargo, se debe tomar en cuenta que en el primer experimento se dieron dos migraciones masivas que produjeron datos de pesos promedio de cosechas diarias de 2,7kg y 1kg de larvas respectivamente, no todas en estado de prepupa, lo cual afectó los resultados.

En el estudio de Lardé (1989) se reportan grandes migraciones masivas en respuesta a condiciones de estrés dentro del sitio de crianza, como aumentos de temperatura y exceso de humedad por condiciones climáticas de alta precipitación. En el presente estudio las migraciones masivas posiblemente respondieron a estrés por exceso de humedad, ya que todas se observaron cuando el desecho estaba muy anegado, tras varios días consecutivos de lluvia.

El peso promedio de cosecha máxima de $264\text{g}/\text{m}^2$ obtenido en el experimento con 4,3kg, diarios de alimento demuestra un rendimiento superior al reportado por Newton et al. (2005)b en un estudio realizado con cerdaza, donde los pesos promedio de cosechas obtenidos fueron de 214g de prepupas/día, con un régimen de alimentación aproximado de 5,9kg diarios de cerdaza (Newton et al. 2005b, Padilla 2006).

Peso promedio por prepupa.

El mayor peso promedio obtenido con 4,5kg diarios de alimento colocado sobre la superficie y cobertura de sarán probablemente respondió a que este tratamiento generó menos estrés para las larvas, por brindar una mayor abundancia de alimento, menos movimiento mecánico y el sarán permitió mayor evaporación y menos acumulación de líquido dentro del larvero.

El estrés por mezclado del material se reporta en estudios como el de Bradley et al. (1984) y Lardé (1989), donde después de revolver el material se notan migraciones provocadas por el ambiente hostil y la alarma de los insectos. Por otra parte, el aumento en el peso promedio por prepupa es directamente proporcional con la cantidad de alimento, lo que está acorde con lo reportado en el estudio de Diener et al. (2009), donde larvas mejor alimentadas tienen un mayor peso y mayor contenido nutricional.

En tratamientos con menos cantidad de alimento diario las larvas pudieron verse obligadas a consumir su propia excreta o consumir material viejo a falta de suficiente alimento fresco, al consumir materia en etapas más avanzadas de descomposición las larvas obtienen menos nutrientes, ya que microorganismos presentes en el desecho ya han comenzado a digerir los nutrientes, disminuyendo la energía disponible, esto junto al consumo parcial de sus propias excretas produce larvas de menor peso (Tomberlin et al. 2002, Myers et al. 2008).

Reducción en el peso del residuo procesado.

En los porcentajes de reducción de la materia procesada por las larvas, nuevamente se notó un efecto de la cantidad de alimento sobre los resultados, lo cual es acorde con lo esperado, ya que ningún otro factor influyó significativamente en la ganancia de peso promedio de las larvas.

El consumo de materia vieja y de poca calidad nutricional en tratamientos con menor disponibilidad de alimento no sólo afectó el peso de las larvas sino aumentó el porcentaje de reducción del material, ya que este debe ser utilizado más exhaustivamente por los insectos (Myers et al. 2008).

En el primer experimento se observaron porcentajes mayores de reducción en el peso del desecho de tratamientos donde se aplicó menor cantidad alimento diario, lo que coincide con el estudio de Diener et al. (2009), donde al alimentar larvas de *H. illucens* con 200mg diarios de concentrado para pollo se cuantificó una disminución de 26,2% (DE1,40) en el peso del material procesado, mientras que con 50mg diarios de alimento el porcentaje ascendió al 43,2% (DE1,41). Por otra parte, en el estudio de Myers et al. (2008) larvas alimentadas con 70 g de boñiga bovina por día redujeron la cantidad de desecho un 25% menos que en tratamientos alimentados con 27 g/d.

En general, el promedio del porcentaje de reducción del desecho en todos los tratamientos de los tres experimentos fue de 52,7% (DE 0,13) en el peso fresco y 63,3% (DE 0,10) en el peso seco, lo que coincide con numerosos estudios donde se reporta la reducción de más de un 50% de los desechos al utilizar esta especie como agente de tratamiento (Newton et al. 2005a, Newton et al. 2005b, Myers et al. 2008).

Colonización y comportamiento de *H. illucens* en los tratamientos testigos.

Todos los testigos manejados con desecho sin inoculación de larvas mostraron una dinámica similar de sucesión de especies de larvas de díptero, comenzando con una gran diversidad de especies incluyendo *H. illucens* durante la primera semana y observándose un paulatino desplazamiento de todas las especies por *H. illucens* en días sucesivos, hasta establecerse un total predominio de esta especie en el medio.

Un estudio realizado por Lardé (1989) en pulpa de café obtuvo resultados muy similares a los observados en la presente investigación, al notarse mayoritariamente larvas de *O. obesa*, *M.*

domestica y *H. illucens* en la primera semana de experimentación. La reducción de otras especies de moscas al aumentar la población de *H. illucens* dentro del desecho se debe a un efecto de inhibición natural hacia especies competidoras en el mismo espacio, se ha demostrado que esta inhibición actúa fuertemente contra *Musca domestica* en condiciones silvestres, sin embargo no se ha encontrado evidencia de depredación entre especies ni de factores químicos duraderos que eviten el desarrollo de *M. domestica* en un medio que haya sido habitado por *H. illucens* (Sheppard 1983, Bradley y Sheppard 1984).

Según Bradley y Sheppard (1984) podría estar presente una alomona que ejerza control sobre otras especies al alcanzar un límite de densidad poblacional óptimo sobre un mismo recurso, en este caso al verse limitada la fuente de alimento por el aumento en las poblaciones de larvas en el desecho se da una competencia, manifestándose la capacidad inhibitoria de *H. illucens*. Por otra parte, Furman et al. (1959) sostienen que la inhibición podría darse por el constante movimiento de la población de larvas de *H. illucens*, que evitarían la ovoposición de hembras de otras especies.

Los resultados obtenidos en tratamientos con inóculo inicial de larvas y sin inoculaciones sucesivas muestran pesos promedio diarios de cosechas finales y pesos promedio por prepupa diarios similares a los obtenidos en los tratamientos con inoculaciones sucesivas, por lo que se supone que la inoculación de larvas jóvenes en estos tratamientos fue insuficiente para provocar un aumento significativo en los pesos promedio de cosecha obtenidos, y demuestra que la ovoposición de hembras silvestres juega un papel fundamental en el mantenimiento de la población de larvas dentro del desecho.

Contenido de nutrientes en el desecho procesado por las larvas.

Acercas de las concentraciones finales de nutrientes se nota que en su mayoría permanecen muy similares al contenido original de nutrientes del desecho.

En todos los experimentos se observó un aumento en el contenido de zinc en el desecho, probablemente esto se deba al desprendimiento de zinc del metal de los larveros; debido a esto se debe considerar construir los larveros en algún tipo de material que no desprenda sustancias al medio.

La relación carbono: nitrógeno cercano a 15 y contenido de nitrógeno mayor a 2% en los residuos de todos los experimentos, indica que el desecho podría usarse como abono orgánico (Leblanc et al. 2007). Sin embargo, el contenido de zinc de 4737, 4396 y 3029 ppm en los experimentos I, II y III, respectivamente, está muy por encima de los 300 ppm recomendados para compost en países en vías de desarrollo; esto junto con el mal olor, excesiva humedad y textura pegajosa del residuo lo hace inadecuado para su aplicación en campo (Hoornweg et al. 2000).

Sistemas de post tratamiento.

Los resultados negativos de los tres sistemas de post tratamiento probados demuestran que el desecho procesado por las larvas bajo las condiciones de este experimento, no cuenta con las características apropiadas para ser composteado o utilizado como materia prima en lombricultura.

En el caso de la lombricultura, las lombrices pudieron haber muerto por problemas en el pH del desecho, ya que la especie utilizada (*Eisenia foetida*) muere al ser expuesta a medios con pH mayor a 9 y el desecho mostró un valor aproximado a 10 en todos los tratamientos (Peña et al. 2002, Schuldt et al. 2007). Además, según Peña et al. (2002), la cantidad de proteínas en el desecho también pudo afectar los resultados, ya que un exceso o déficit de proteínas puede causar la muerte de las lombrices.

En cuanto al compostaje, con y sin EM, la falta de un incremento en la temperatura de los montículos es un indicador de la poca actividad microbiana en el medio, probablemente debido a la falta de volumen en los montículos, el exceso de humedad lo que causaría la creación de condiciones anaeróbicas en los montículos, y la inadecuada relación carbono: nitrógeno para empezar un proceso de compostaje o sencillamente el material ya se encontraba demasiado estable como para sufrir futuro calentamiento (Peña et al. 2002).

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES_____

El sistema de manejo propuesto puede producir cantidades considerables de prepupas utilizables como alimento animal de alto valor de mercado.

Esta especie representa una excelente opción de tratamiento de residuos municipales orgánicos para países tropicales en vías de desarrollo, con las ventajas de funcionar como biocontrolador de otras especies de mosca y disminuir el volumen de desecho sin presentar un riesgo a la salud al no diseminar enfermedades, consumir solamente material en descomposición y ser una especie silvestre que prefiere mantenerse alejada del entorno urbano.

Los resultados negativos de los sistemas de post tratamiento probados demuestran que el desecho procesado por las larvas, bajo las condiciones de este experimento, no cuenta con las características apropiadas para ser composteado o utilizado como materia prima en lombricultura.

Se debe mejorar el sistema de producción de huevos para asegurar una inoculación estable de larvas jóvenes al sistema.

Se sugiere disminuir el nivel de humedad del residuo con el fin de mejorar tanto el sistema de cría como la calidad del desecho procesado por las larvas.

Se debe considerar la opción de utilizar otras opciones post tratamiento como el uso del desecho como un ingrediente de compost junto con otros materiales que complementen los nutrientes contenidos y mejoren las características de olor, textura y humedad del material, o buscar tratamientos que saquen provecho a la alta humedad como el uso de biodigestores para la producción de gas metano.

BIBLIOGRAFIA

- Axtell, R. & Edwards, T. 1970. *Hermetia illucens* control in poultry manure by larviciding. *Journal of Economic Entomology*. 63(6): 1786-1787.
- Bondari, K. & Sheppard, D. 1981. Soldier fly larvae as feed in commercial fish production. *Aquaculture*. 24: 103-109.
- Bondari, K. & Sheppard, D. 1987. Soldier fly, *Hermetia illucens* L., larvae as feed for channel catfish, *Ictalurus punctatus* (Rafinesque), and blue tilapia, *Oreochromis aureus* (Steindachner). *Aquaculture and Fisheries Management*. 18: 209-220.
- Booth, D. & Sheppard, C. 1984. Oviposition of the Black Soldier Fly, *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae): Eggs, Masses, Timing, and Site Characteristics. *Environmental Entomology*. 13: 421-423.
- Bradley, S. & Sheppard, D. 1984. House fly oviposition inhibition by larvae of *Hermetia illucens*, the black soldier fly. *Journal of Chemical Ecology*. 10(6).
- Bradley, S.; Booth, D. & Sheppard, D. 1984. Parasitism of the Black Soldier Fly by *Trichopria* sp. (Hymenoptera: Diapriidae) in Poultry Houses. *Environmental Entomology*. 13: 451-454.
- Buenrostro, O.; Cram, S.; Bernache, G. & Bocco, G. 2000. La Digestión Anaeróbica como alternativa de tratamiento a los residuos sólidos orgánicos generados en los mercados municipales. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*. 16(1): 19-26.
- Burns, R. 2005. 'Grubby' research promises environmental/economic benefits. *Innovations report, Forum for Science, Industry and Business*. Disponible en: http://www.innovations-report.com/html/reports/agricultural_sciences/report-41281.html. Visitado el 1 feb 2010.
- Calderón, O.; Murillo, J. & Solano, M. 2005. Miasis entérica por *Hermetia illucens* (Diptera:Stratiomyidae) en una paciente geriátrica de Costa Rica. *Parasitol Latinoam*. 60: 162-164.
- Calvert, C.; Martin, R. & Morgan, N. 1969. House Fly Pupae as food for poultry. *Journal of economic entomology*. 62(4): 938-939.
- Convenio Costarricense-Alemán de Cooperación Técnica. 2006. Utilización Energética de Residuos Orgánicos en Costa Rica, bajo consideración del Mecanismos de Desarrollo Limpio. Programa

- Competitividad y Medio Ambiente. Boletín de Prensa N.5. Disponible en: <http://www.programacyma.com/boletines/boletin5/noticia01.php>. Visitado el 19/07/2009.
- Copello, A. 1926. Biología de *Hermetia illucens* Latr. Revista de la S.E.A. (2): 23-26.
- Eawag. 2008. Global Waste Challenge. Situation in developing countries. 12p. disponible en: http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications_swm/downloads_swm/global_waste_challenge.pdf . Visitado el: 1 feb 2010.
- Diener, S.; Zurbrügg, C. & Tockner, K. 2009. Conversion of organic material by black soldier fly larvae: establishing optimal feeding rates. Waste Management & Research. 27: 603-610.
- Dunn, L. 1916. *Hermetia illucens* breeding in a human cadaver. Entomological News. 17(2): 59-61.
- Economopoulos, A. 2009. Technoeconomic aspects of alternative municipal solid wastes treatment methods. Waste Management. 30(4): 707-715.
- Erickson, M.; Islam, M.; Sheppard, C.; Liao, J. & Doyle, M. 2004. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* Serovar Enteritidis in Chicken manure by larvae of the Black Soldier Fly. Journal of food protection. 67(4): 685-690.
- Fuentes, O. & Risco, G. 2009. Primer reporte en Cuba de miasis intestinal por *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). Rev Cubana Med Trop. 61(1): 97-99.
- Furman, D.; Young, R. & Catts, P. 1959. *Hermetia illucens* (Linnaeus) as a Factor in the Natural Control of *Musca domestica* Linnaeus. Journal of Economic Entomology. 52(5): 917-921.
- Guadarrama, R. 2007. ¡Manos a la composta! Hypatia. 6(23).
- Hamer, G. 2003. Solid waste treatment and disposal: effects on public health and environmental safety. Biotechnology Advances. 22: 71-79.
- Hem, S.; Toure, S.; Sagbla, C. & Legendre, M. 2008. Bioconversion of palm kernel meal for aquaculture: Experiences from the forest region (Republic of Guinea). African Journal of Biotechnology. 7(8): 1192-1198.
- Hoornweg, D.; Thomas, L. & Otten, L. 2000. Composting and Its Applicability in Developing Countries. Urban Waste Management. The World Bank. Urban And Local Government. 52p.
- Janssen, J. 2008. Opciones tecnológicas en el manejo de residuos sólidos. Ambientico. (178): 23-24.
- Jiron, L. & Solano, M. 1988. Notes on the eclectic feeding preferences of the black soldier fly *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) in Costa Rica. Brenesia. 30: 101-103.

- Koo, S.; Currin, T.; Johnson, M.; King, E. & Turk, D. 1980. The nutritional value and microbial content of dried Face Fly Pupae (*Musca autumnalis* (De Geer)) when fed to chicks. Poultry Science. 59:2514-2518.
- Lardé, G. 1989. Investigation on Some Factors Affecting Larval Growth in a Coffee Pulp Bed. Biological Wastes. 30: 11-19.
- Leblanc, H.; Cerrato, M.; Miranda, A. & Valle, G. 2007. Determinación de la calidad de abonos orgánicos a través de bioensayos. Tierra Tropical. 3(1): 97-107.
- Liu, Q.; Jeffery, K.; Tomberlin, J.; Brady, M.; Sanford, R. & Ziniu, Y. 2008. Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae Reduce *Escherichia coli* in Dairy Manure. Environmental Entomology. 37(6): 1525-1530.
- Madigan, M.; Martinko, J. & Parker, J. 2004. Brock Biología de los Microorganismos. Décima edición. Madrid, España. Editorial Prentice-Hall. 1096p.
- Magera, M. 2008. Viabilidad Económica del Reciclaje de Residuos Sólidos: Un estudio de caso en el cantón de San Rafael de Heredia, Informe Programa CYMA.
- 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.
- Navarro, L. 2008. El Plan de Residuos Sólidos Costa Rica. Proceso y perspectivas. Ambientico. (178): 13-15.
- Newton, G.L.; Booram, C.V.; Barker, R.W. & Hale, O.M. 1977. Dried *Hermetia illucens* larvae as a supplement for swine. Journal of animal science. 44(3): 395-400.
- Newton, G.L.; Sheppard, D.C.; Watson, D.W.; Burtle, G.; Dove, R. (a) 2005. Using the black soldier fly, *Hermetia illucens*, as a value-added tool for the management of swine manure. Animal and poultry waste management center, North Carolina State University, Raleigh, NC. 17p.
- Newton, L.; Sheppard, C.; Watson, D.; Burtle, G.; Dove, R.; Tomberlin, J. & Thelen, E. (b) 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. January 5–7, San Antonio, Texas, USA. G. L.
- Ocio, E. & Vinaras, R. 1979. House fly larvae meal grown on municipal organic waste as a source of protein in poultry diets. Animal Feed Science and Technology. 4: 227-231.
- Ortiz, L. 2008. Manejo de residuos sólidos: reto mundial. Campus. 20(191).

- Padilla, M. 2006. Algunas consideraciones sobre el manejo y utilización de los remanentes de granjas porcinas. Ministerio de Agricultura y Ganadería, Dirección de Programas Nacionales. Programa Nacional de Cerdos. PITTA – Cerdos. San José, Costa Rica. 10p.
- Peña, E.; Carrión, M.; Martínez, F.; Rodríguez, A. & Companioni, N. 2002. Producción de abonos orgánicos en la agricultura urbana. Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo. INIFAT. 65p.
- Programa competitividad y medio ambiente (CYMA). 2006. Reporte nacional de manejo de materiales, Costa Rica. 126 p.
- Programa competitividad y medio ambiente (CYMA). 2008. Plan de Residuos Sólidos Costa Rica (PRESOL). Diagnóstico y Áreas Prioritarias. 220 p.
- Schuldt, M.; Christiansen, R.; Scatturice, L. & Mayo, J. 2007. Lombricultura. Desarrollo y adaptación a diferentes condiciones de Temperie. Revista electrónica de Veterinaria. 8(8).
- Sheppard, C. 1983. House Fly and Lesser Fly Control Utilizing the Black Soldier Fly in Manure Management Systems for Caged Laying Hens. Environ. Entomol. 12: 1439- 1442.
- Sheppard, C.; Newton, L.; Thompson, S. & Savage, S. 1994. A value added manure management system using the Black Soldier Fly. Bioresource Technology. 50: 275-279.
- 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.
- Stephens, C. 1975. *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) as a banana pest in Panama. Agricultura Tropical. 52(2): 173-178.
- St-Hilaire, S.; Cranfill, K.; Mcguire, M.; Mosley, E.; Tomberlin, J.; Newton, L.; Sealey, W.; Sheppard, C. & Irving, S. (a) 2007. Fish Offal Recycling by the Black Soldier Fly Produces a Foodstuff High in Omega-3 Fatty Acids. Journal of the World Aquaculture Society. 38(2).
- St-Hilaire, S.; Sheppard, C.; Tomberlin, J.K.; Irving, S.; Newton, L.; McGuire, M.A.; Mosley, E.E.; Hardy, R.W. & Sealey, W. (b) 2007. Fly Prepupae as a Feedstuff for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. Journal of the world aquaculture society. 38(1): 59-67.
- Teotia, J. & Miller, B. 1974. Nutritive content of House Fly pupae and manure residue. Br. Poultr. Sci. 15: 177-182.
- The Biopod, página principal. 2009. THE BIPOD™: Food Waste Composter & Grub Grower. Disponible en: Grubs!.<http://thebiopod.com/>. Visitado el 1 feb 2010.

- Tomberlin, J. & Sheppard, C. 2001. Lekking behavior of the black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae). *Florida Entomologist*. 84(4): 729-730.
- Tomberlin, J. & Sheppard, C. 2002. Factors Influencing Mating and Oviposition of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) in a Colony. *J. Entomol. Sci.* 37(4): 345-352.
- Tomberlin, J.; Sheppard, C. & Joyce, J. 2002. Selected Life-History Traits of Black Soldier Flies (Diptera: Stratiomyidae) Reared on Three Artificial Diets. *Arthropod Biology*. 95(3): 379-386.
- Tomberlin, J.; Sheppard, D. y Joyce, J. 2005. Black soldier fly (Diptera: Stratiomyidae) colonization of pig carrion in south Georgia. *Journal of Forensic Sciences*. 50(1):152-153.
- Tomberlin, J.; Adler, P. & Myers, H. 2009. Development of the Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) in Relation to Temperature. *Environmental Entomology*. 38(3): 930-934.
- Torres, B. 2008. Análisis de desechos sólidos en el casco urbano de San Esteban, Olancho, Honduras. *Tierra Tropical*. 4(1): 415-489.
- Wilson, A. 2009. Growing Food Locally: Integrating Agriculture Into the Built Environment. *Sidebar: Recycling Food Waste: Black Soldier Fly Larvae*. Building green. Feature from Environmental Building News. Disponible en: <http://www.buildinggreen.com/auth/article.cfm?fileName=180201a.xml>. Visitado el 1 feb 2010.
- Zúñiga, R. & Spies, S. 2008. Participación social necesaria en la gestión integral de residuos sólidos. *Ambientico*. (178): 19-20.
- Zurbrugg, C. 2003. Solid Waste Management in Developing Countries. Eawag/Sandec. 5p. Disponible en: http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen/sandec/publikationen/publications_swm/downloads_swm/basics_of_SWM.pdf. Visitado el 1 feb 2010.