

ANEXO 1

INFORME EXPERIMENTAL

1. MOSCA SOLDADO NEGRO

La mosca soldado negro denominada científicamente como: *Hermetia illucens*, es una variedad de mosca perteneciente a la subfamilia *Hermetiinae* bajo el orden *Diptera*. La especie en estudio es procedente de Hawái, sin embargo, con el paso del tiempo y con cierta intervención artificial, ha migrado a zonas tropicales donde las condiciones ambientales son ideales para el desarrollo poblacional de la especie. Se caracterizan por su color negro, así como también presentar un mayor tamaño en comparación con las demás especies de mosca como lo es la mosca común. Adicionalmente la característica más destacable para su uso es su ciclo de vida compuesto por 5 etapas diferentes: huevos, larvas, pupas, pre pupas y adultos. [2]

En el ciclo de vida de las moscas soldado negro (BSF), las etapas de larva y pupa presentan mayor duración en tiempo para completar su desarrollo respectivamente, las etapas como huevos y adultos son las más cortas de todo el ciclo, obteniendo de esta manera un ciclo de vida de entre una semana a 7 semanas, presentando esta variación según las condiciones ambientales donde ellas lleven a cabo su ciclo. Son muy apetecidas para su producción en el consumo animal debido que cuando esta especie llega a la etapa adulta, a diferencia de otros tipos de mosca; no tiene un sistema digestivo y ya no presenta la necesidad de comer, lo que evita que este insecto tenga contacto con alguna otra especie, desecho o ser vivo; previniendo que sea capaz de ser un posible transmisor de enfermedades, viviendo prácticamente para reproducir a su especie y aumentar en número su población. [2]

1.1 Alimentación

Esta especie de mosca se alimenta únicamente en su etapa de larva, y lo hacen comúnmente de material de plantas y animales en descomposición, entre los cuales existen frutas, verduras, comida en descomposición, desechos fecales de humanos y animales. Esta especie es capaz de consumir el doble de su peso en desechos orgánicos de manera voraz, siendo de gran influencia para el tratamiento y

aprovechamiento de los residuos en cantidades considerables. [2] En la Figura 5 se presenta una tasa de conversión de alimento de la crianza de moscas soldado negro en diferentes sustratos.

Cada tipo de desecho ofrece valores diferentes en cantidad de nutrientes y elementos que ingieren las larvas, por ende, escoger precisamente cual consumen para transformarlo es vital si se quiere que las larvas tengan las propiedades más importantes que las caracterizan como alimento: la proteína y las grasas. [3] En la Figura 4 se presenta una tabla de la composición nutricional de las larvas (proteína bruta y grasa) basada en peso seco de harina de insectos.

S. No.	Feeding source	BSF larvae composition (%)		References
		Fats	Crude Proteins	
1	Poultry manure	18.73	37.9	Arango Gutierrez et al., (2004)
2	Swine manure	28	43.2	Newton et al.
3	Poultry manure	34.8	42.1	(2005a, 2005b)
4	50/50 Fish offal: Cow manure	30.44	-	St-Hilaire et al., (2007a)
5	Animal manures	31-35	42-44	Yu et al. (2009)
6	Food manufacturing by-products	21-35	38-46	Oonincx et al. (2015)
7	Biogas digestate	21.8	42.2	Spranghers et al.
8	Vegetable waste	37.1	39.9	(2017)
9	Fresh fruit waste	41.7	37.8	Mutafela (2015)

Fig. 1 Composición nutricional de las larvas (proteína bruta y grasa) basada en peso seco de harina de insectos. [2]

The Feed conversion ratio (FCR) value of rearing black soldier fly on various substrate.

No	Substrate	FCR	Reference
1	Avocado	3.05	Nyakeri (2018)
2	Banana	1.97	Nyakeri (2018)
3	Banana peelings	4.50	Nyakeri (2018)
4	Brewer's waste	2.70	Nyakeri (2018)
5	Chicken manure	13.40	Sheppard et al. (1994)
6	Cookie meal	1.11	Nyakeri (2018)
7	Faecal sludge	3.40	Nyakeri (2018)
8	Feed mixed	2.40–3.60	Heckmann and Gligorescu (2019)
9	Food remains	2.60	Nyakeri (2018)
10	Food waste	1.70–3.60	Gligorescu et al. (2020)
11	Formulated diet	4.96–7.11	Danieli et al. (2019)
12	Human feces	2.00–3.00	Banks et al. (2014)
13	Kales	3.83	Nyakeri (2018)
14	Municipal organic waste	14.50	Diener et al. (2011a)
15	Pig manure	9.60	Newton et al. (2005b)
16	Pineapple	2.45	Nyakeri (2018)
17	Water melon	2.04	Nyakeri (2018)
	Average	4.67	

Fig. 2 Tasa de conversión de alimento de la crianza de moscas soldado negro en diferentes sustratos. [3]

1.2 Contenido de humedad del alimento

Como desecho orgánico, esta biomasa presenta fluidos, en el caso de los residuos de comida o alimentos llegan a ser producto de la descomposición biológica de partes orgánicas o de residuos sólidos, de manera aeróbica o anaeróbica producto de la percolación de agua cuando se descomponen; o en el caso de los desechos orgánicos como las materias fecales de animales estos fluidos se desarrollan de manera natural y pueden variar de cantidad según la especie que lo produce. Al estar presente en la biomasa se manejan como un contenido de humedad, varios estudios concluyen que un valor alto de este contenido genera que la biomasa sufra de descomposición temprana complicando el consumo por las moscas en etapas posteriores del proceso, sin embargo, ciertos porcentajes específicos pueden permitir un mejor crecimiento y supervivencia en la especie, variando según la proveniencia del desecho, en el caso de los desechos de alimentos, estudios concluyen que un 80% de contenido de humedad, así mismo para el caso de usar desechos fecales de los animales se recomienda un 85% de contenido de humedad; siendo estos óptimos para el crecimiento de las larvas de moscas respectivamente. [2]

1.3 Ph

Diferentes estudios realizados enfocados en el análisis del pH y su afectación en la vida de las moscas, se ha encontrado que los pH en la biomasa de un valor de 6 hasta

10 es el apropiado para el desarrollo y crecimiento de las larvas debido a que estas presentan mayor peso que aquellas con valores menores de pH (2-4). Cuando se realizaron análisis con respecto a residuos orgánicos, en el caso de los lixiviados líquidos orgánicos se encontró que las larvas de mosca son capaces de procesar valores de pH de un valor hasta 9, sin embargo; esta capacidad está estrictamente relacionada con la densidad que desarrollan estos seres vivos. [2]

1.4 Temperatura y humedad.

Esta especie lleva a cabo su ciclo de reproducción en un ambiente natural con un rango de temperatura entre 27,5°C – 37,5°C, y que presenta porcentajes de humedad relativa cercanos al 60%. Sin embargo, se trabaja una humedad del 50-90% cuando este proceso se lleva a cabo en laboratorios, producto de aquellos lugares donde las condiciones ambientales no son las adecuadas y tienen que generarse artificialmente. Para su máximo aprovechamiento en el desarrollo y crecimiento de las larvas, se concuerda que a los 27°C estas presentan un 5% más de peso, así como también un 10% más de longitud que todas aquellas que se desarrollan en temperaturas mayores, esta condición de temperatura trabajada en conjunto con una humedad relativa del valor antes mencionado del 60%.

Estas dos condiciones son vitales en la reproducción de las moscas, si no se cumplen se sabe que presentan problemas en la eclosión de los huevos y en el desarrollo de la colonia. [2]

2. EXPERIMENTACIÓN

Para la comprobación de la teoría planteada sobre nuestro prototipo, así como también el desarrollo y crecimiento de las larvas de mosca soldado negro, se llevó a cabo una prueba experimental en la ciudad de Bogotá, Colombia. Para esta prueba, fue necesario realizar la compra de dos gramos de huevos de mosca soldado negro por parte de dos proveedores diferentes, uno ubicado en la ciudad de Bogotá, y el otro ubicado en el municipio de Tuluá, Valle del Cauca.



Imagen 1. Gramo de huevos comprado para la realización de la experimentación.

Además de los huevos fue necesario hacer una recopilación de residuos orgánicos entre los cuales estuvieron frutas, verduras y residuos de plantas decorativas. Estos residuos luego fueron clasificados, triturados, mezclados y depositados en 5 tipos de recipientes diferentes:

1. Residuos de frutas y verduras dulces.
2. Residuos de frutas y verduras acidas.
3. Mezcla de ambos tipos de residuos de frutas y verduras.
4. Residuos de frutas y verduras con residuos de plantas.
5. Frutas.

Para el día 13 mayo 2023 a cada recipiente se procedió a agregar en pequeñas tablas 0,4 gramos de huevos que se ubican en los recipientes, sobre el sustrato de cada uno. Por último, se procedió a poner en marcha el prototipo y ubicar los recipientes con sustratos y huevos dentro ya acondicionados.



Imagen 2. Residuo de frutas y verduras dulces.



Imagen 3. Residuo de frutas y verduras acidas.



Imagen 4. Mezcla de ambos tipos de residuos de frutas y verduras.



Imagen 5. Residuos de frutas y verduras con residuos de plantas.



Imagen 6. Residuo a partir de frutas.



Imagen 7. Disposición de las bandejas con sustrato dentro del equipo, los montones marrones sobre las tablas son los huevos ubicados para que en su nacimiento caigan al sustrato.

De la revisión de información que se había realizado, se determinaba que la eclosión de los huevos de la mosca ocurría entre el tercer y cuarto día después de ser puestos por una hembra adulta. Sin embargo, en esta prueba la eclosión no ocurrió en ese rango de tiempo, sino que ocurrió aproximadamente a los cinco y seis días de ser puestos (entre el jueves 18 y 19 de mayo). Teniendo en cuenta que los huevos del primer proveedor se colocaron el día 13 de mayo de las pruebas y los del segundo proveedor se colocaron 3 días después. Se evidencio que vivían porque las larvas eran visibles en la parte superficial del residuo y estaban empezando a alimentarse del sustrato en cada uno de los recipientes, como se muestra en las imágenes 8,9 y 10.



Imagen 8. Primeras larvas vistas del sustrato #2.



Imagen 9. Primeras larvas vistas del sustrato #4.



Imagen 10. Primeras larvas vistas del sustrato #1.

El sábado 20 de mayo, el recipiente con sustrato de frutas y verduras ácidas fue el que presentó menor cantidad de larvas nacidas y alimentándose, por lo cual se procedió a detener esa muestra y continuar con las demás. Sin embargo, como se muestra en las imágenes 11, 12, 13 que fueron los primeros sustratos introducidos en las bandejas, se evidencia un sustrato ennegrecido ocasionado seguramente por las condiciones de temperatura internas del prototipo, perdiendo nutrientes en el sustrato; a diferencia de la imagen 13 que fue una de los últimos sustratos en ser introducidos en el prototipo.



Imagen 11. Recipiente con sustrato 1 con larvas nacidas comiendo.



Imagen 12. Recipiente con sustrato 2 con larvas nacidas comiendo.



Imagen 13. Recipiente con sustrato 4 con larvas nacidas comiendo.



Imagen 14. Recipiente con sustrato 5 con larvas nacidas comiendo.

El día 21 de mayo se empezó a observar un crecimiento de más de 3mm en algunas larvas, siendo el sustrato con fruta el que mayor tamaño de larvas presentaba, así como donde el tamaño de las mismas era muy parejo, evidenciado en la imagen 18. En los demás sustratos, se evidencio una gran diferencia entre algunas larvas, siendo unas muy grandes y otras muy pequeñas, consecuencia del nacimiento en fechas diferentes de las diferentes muestras de huevos pedidas. Además, debido a la

tonalidad que tomaron varios sustratos se decidió agregarle más residuos, siendo este cascaras de frutas y verduras dulces.



Imagen 15. Recipiente con sustrato 1 con adición de residuos.



Imagen 16. Recipiente con sustrato 3 con adición de residuos.



Imagen 17. Recipiente con sustrato 4 con adición de residuos.



Imagen 18. Recipiente con sustrato 5 con larvas comiendo.

En esa imagen 18, se evidencia un efecto producto de la naturaleza de esta especie de mosca soldado negro. La forma como el vapor de agua del prototipo mantenía la temperatura interna, generaba que la parte baja de las bandejas fuera la zona mas caliente de las mismas y donde la mayoría de larvas estaban concentradas alimentándose, mientras en la superficie no se veía mucha actividad.

Para el día 23 de mayo, se presentó un aumento en el consumo de los sustratos dispuestos por parte de las larvas, debido a la gran cantidad que habían empezado a alimentarse, llevando a que el color y la densidad de los sustratos fuera muy similar a un material barroso, como se evidencia en las imágenes 19, 20, 21 y 22, además de repetirse el efecto de las larvas grandes ocupan la parte inferior de las bandejas y las más pequeñas están cerca de la superficie.

Para este mismo día se presencié que una porción de las larvas subía por las paredes de los diferentes recipientes y se lanzaban de los mismos, aun cuando las condiciones internas del prototipo eran las adecuadas, posiblemente como resultado de una gran cantidad de larvas para muy poco sustrato o un sustrato con pocos nutrientes.



Imagen 19. Recipiente con sustrato 1 con larvas nacidas comiendo.



Imagen 20. Recipiente con sustrato 5 con larvas nacidas comiendo.



Imagen 21. Recipiente con sustrato 3 con larvas nacidas comiendo.



Imagen 22. Recipiente con sustrato 4 con larvas nacidas comiendo.



Imagen 23. Recipiente con sustrato 5 con larvas crecidas comiendo.

En la imagen 23, tomada el miércoles 24 de mayo, se evidencia ya el crecimiento de larvas, siendo estas las que mayor tamaño presentan de los diferentes recipientes, determinando que el uso de fruta fue uno de los sustratos que tuvo mayor tasa de consumo por parte de las larvas. La variación de tamaño entre las más grandes y las más pequeñas que se perciben en la imagen puede ser el resultado del día en el cual nacieron y comenzaron a alimentarse.

Para el día 25 de mayo, por cuestiones logísticas se tuvo que transportar el prototipo a una ubicación diferente, y con ello se debieron transportar los diferentes recipientes donde estaban alojados los residuos y las larvas, procurando mediante diferentes medios mantener la temperatura de los recipientes. Lastimosamente cuando se preparó el equipo para retomar su operación y se revisaron los recipientes, algunos que estuvieron sellados para evitar la pérdida de condiciones, evidenciaron que las larvas ya no tenían signos de vida, así como sustratos bastante secos. Consecuencia probablemente de muchos factores como una cantidad muy alta de larvas para muy poco sustrato, un sustrato sin los nutrientes necesarios y tener los recipientes sellados sin aire limpio que no permitió la oxigenación de las larvas.

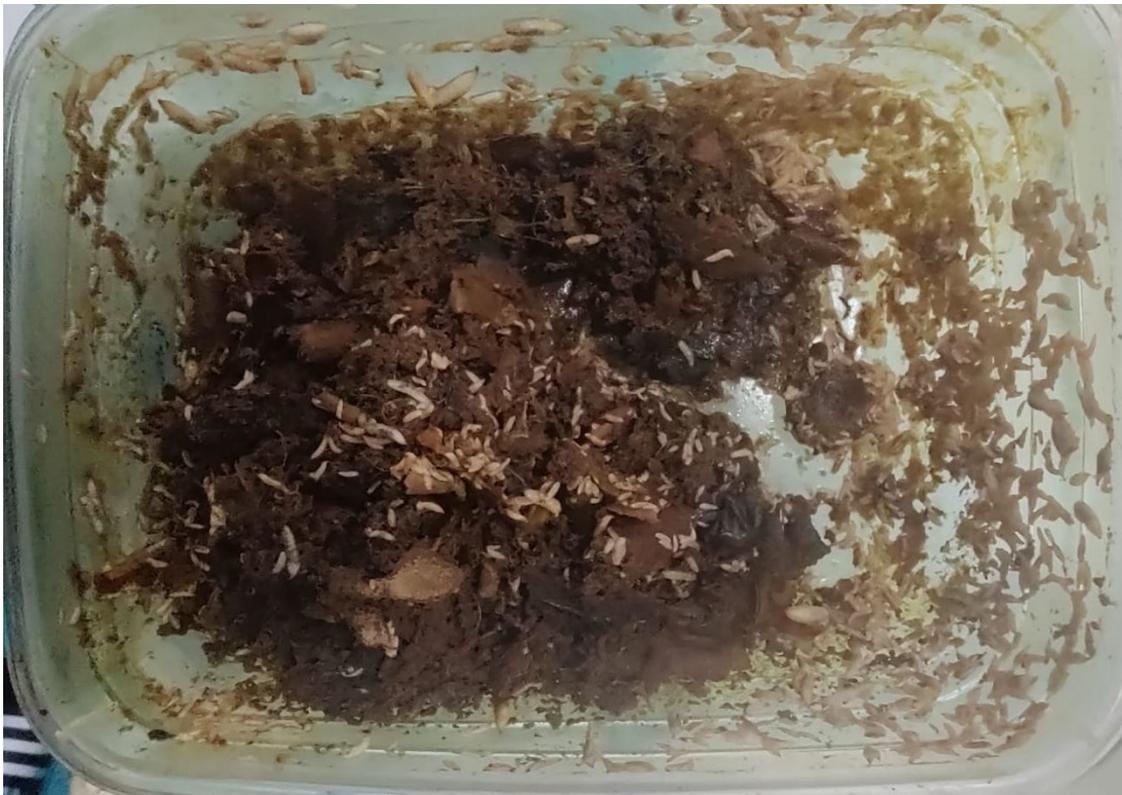


Imagen 24. Recipiente con sustrato 3 con larvas fallecidas.



Imagen 25. Recipiente con sustrato 1 con larvas fallecidas.



Imagen 26. Recipiente con sustrato 5 con larvas fallecidas.

Sin embargo, no de todos los recipientes murieron larvas, del sustrato #4 todas salieron intactas y del sustrato #1 se pudo recuperar una gran cantidad, así como unas cuantas del sustrato #3. De tal manera que se procedió inmediatamente a

llevarlas a un sustrato reciente formado por cascara de frutas como papaya, mango, banano y que fue repartido en tres diferentes recipientes para evitar a toda en lo posible una cantidad muy grande de lavas por sustrato, como se puede evidenciar en la imagen 27.



Imagen 27. Recipiente con nuevo sustrato a base de cascara de fruta con larvas.

A estos sustratos se los dejo dentro del prototipo con tapas que permitieran conservar mejor las condiciones y permitir la ventilación. Para el lunes 29 de mayo se evidencio una mejora en el consumo de este sustrato por parte de las larvas, siendo mucho mas pareja la distribución de las mismas en todo el recipiente y donde ya se empezaban

a dar inicios de larvas que se acercaban a la etapa de pupa, debido al tamaño que tenían respecto a las demás y por la coloración marrón que tenían.



Imagen 28. Recipiente 1 con nuevo sustrato después de 4 días.



Imagen 29. Recipiente 2 con nuevo sustrato después de 4 días.



Imagen 30. Recipiente con nuevo sustrato después de 4 días.



Imagen 31. Larvas de mayor tamaño en el recipiente 1.



Imagen 32. Larvas de mayor tamaño en el recipiente 3.

Es así como el día 31 de mayo se procede a buscar cuales son las larvas mas grandes en los 3 recipientes con sustrato, debido a que ya se habían cumplido 13-15 días, en los que los textos revisados determinaban que comenzaba la etapa de pre pupa a pupa. De tal manera que se encontraron aproximadamente 40 larvas cuyo tamaño las diferenciaba del resto y que ya cumplían con el característico oscurecimiento en la cola de las pre pupas, así como se muestra en la imagen 33 y 34. Estas se procedieron a ser procesadas como lo menciona el documento [3], siendo limpiadas en agua hirviendo a 100°C por medio del método de escaldado y luego deshidratadas en un horno a 60°C durante una hora. En las imágenes 35, 36 y 37 se tiene el peso de estas larvas recién sacadas de los sustratos, el peso después de terminar el proceso de deshidratación y el producto en forma de harina molida.



Imagen 33. Larvas recuperadas de mayor tamaño.



Imagen 33. Larvas que cumplen con la característica cola oscura de las pre pupas..



Imagen 35. Larvas pesadas recién recogidas de los recipientes.

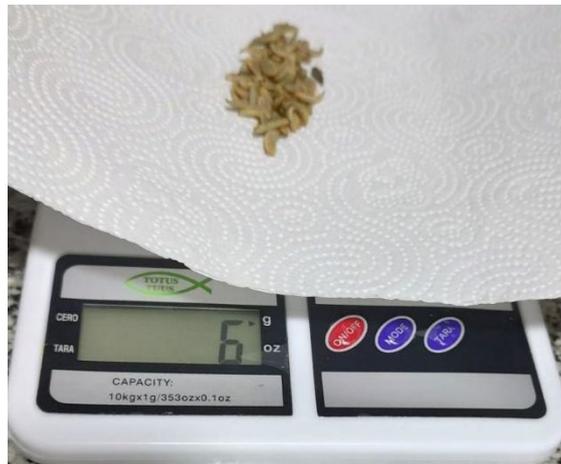


Imagen 36. Larvas pesadas después de ser procesadas.



Imagen 36. Larvas trituradas.

3. CONCLUSIONES.

La conclusión más importante de la experimentación realizada, fue el hecho de que las condiciones internas brindadas por el prototipo fueron ideales para el crecimiento y desarrollo de las larvas, por lo tanto, se puede considerar un éxito.

Sin embargo, existen otros análisis igual de concluyentes. Se identificó que, aunque las condiciones externas de los recipientes eran importantes, la fundamental y que permitió la alimentación era la temperatura del sustrato al igual que su humedad. Debido a que aquellos recipientes más cercanos a la salida del vapor dentro del prototipo y que contenían mayor humedad específica, fueron los que arrojaron las larvas de mayor tamaño, a diferencia de los recipientes y sustratos que no cumplían esta característica. Permitiendo ser mucho más específico con las condiciones que un prototipo futuro necesita generar. Además, el hecho de haber sellado los recipientes para su transporte y el debido fallecimiento de muchas larvas, permitió comprender la importancia de la ventilación de los mismos, así como la necesidad de tener suficiente sustrato para la cantidad de larvas que fueron adquiridas ya que aproximadamente 1 gramo de huevos son 20-25 mil larvas por lo cual era necesario una cantidad muy alta de residuos que no se preparó. Cuando se repartieron mejor las larvas se pudo evidenciar una mejora en la alimentación y en el comportamiento del sustrato.

Por último, a pesar de que la prueba de alimentación fue un éxito, es necesario realizar una prueba donde se lleve la larva hasta su estado de pupa, realice su metamorfosis a mosca adulta y se reproduzca mediante la postura de huevos, siendo este el proceso que permite la sostenibilidad de la propuesta industrial.

BIBLIOGRAFÍA.

1. Singh, K. Kumari. (2019, diciembre 1). An inclusive approach for organic waste treatment and valorization using Black Soldier Fly larvae: A review (online) Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479719312873>
2. S.A.Siddiqui, T. Rahayu, N.S. Putra, N. Widya Yuwono, S. Smetana, A. Nawaz, A. Nagdalian (2022, marzo 1). Waste Management (online) Available at: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956053X22000010>
3. Dortmans B.M.A., Egger J., Diener S., Zurbrügg C. (2021) Black Soldier Fly Biowaste Processing - A Step-by-Step Guide, 2nd Edition (online). Available at: https://wiki.lowtechlab.org/images/3/36/Elevage_de_Mouches_Soldats_Noirs_BSF_Biowaste_Processing_2nd_Edition_LR.pdf