

PRODUCCIÓN DE ABONO (FRASS) A PARTIR DE PULPA DE CAFÉ MEDIANTE BIOTRANSFORMACIÓN CON LARVAS DE MOSCA SOLDADO NEGRA (*HERMETIA ILLUCENS*)

PRODUCTION FOR COMPOST (*FRASS*) FROM COFFEE PULP BY BIOTRANSFORMATION WITH BLACK SOLDIER FLY LARVAE (*HERMETIA ILLUCENS*)

¹Juan Pablo Ospina-Yepes
²Nelson Ceballos-Aguirre
³Diana Marcela Cuesta-Parra

Cómo citar: Ospina Yepes, J. P. ., Ceballos Aguirre, N. ., & Cuesta Parra, D. M. (2025).
Producción de abono (frass) a partir de pulpa de café mediante biotransformación con larvas de mosca soldado negra
(hermetia illucens). Publicaciones E Investigación, 19(2). <https://doi.org/10.22490/25394088.10713>

Recibido 10 junio y aprobado 20 julio 2025

RESUMEN

La investigación aborda la alimentación de larvas de mosca soldado negra (MSN) para la biotransformación de la pulpa de café en abono orgánico. El método de transformación se efectuó con larvas cinco días después de la eclosión, en un reactor a escala, con control de temperatura entre 27 y 30 °C y humedad relativa entre 60 a 70 %. La pulpa de café, utilizada como sustrato, contenía humedad inicial de 82.67 %. Las tasas de alimentación elegidas fueron 222.2, 444.4, 666.6 y 777.7 mg/larva día en masa húmeda (se incluyeron los tratamientos elaborados con ILC y pulpa). La experimentación tuvo una duración de 15 días.

Para la prueba de germinación, se eligió la tasa de alimentación de 666.6 mg/larva día, correspondiente a 3 semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*) por contenedor, en mezcla de suelo sintético formulada con concentraciones de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100 de *frass* (abono de larvas de MSN) y turba de coco, respectivamente, con 10 réplicas para cada prueba. Los métodos de caracterización, incluidos en la NTC 5167:2022, fueron pH, humedad, cenizas, densidad, carbono orgánico total y fósforo total. Para el contenido de lignina se aplicó el método Klason.

El mejor abono obtenido en la experimentación correspondió a 666.6 mg/larva día, el cual presentó pH 8.12, densidad 0.42 g/cm³, lignina 43.91 %, carbono orgánico total 46.49 %, humedad final 76.92 %, cenizas 49.08 % y fósforo total 0.0013 %. Las plantas con mejor crecimiento fueron las del tratamiento 25:75 de *frass* y turba de coco,

¹ M. Sc. Universidad de Caldas, Manizales / juan.ospina@ucaldas.edu.co
<https://orcid.org/0009-0001-4795-4237>

² Ph. D. Ciencias Agrarias, Universidad de Caldas, Manizales / nelson.cebillos@ucaldas.edu.co
<https://orcid.org/0000-0002-8463-3379>

³ Ph. D. Química, Universidad de América, Bogotá D.C. / diana.cuesta@profesores.uamerica.edu.co
<https://orcid.org/0000-0001-9287-2452>



que registraron una altura 96.23 mm, diámetro 1.9 mm, 14 hojas y una germinación del 86.67 %; dicha medición se realizó durante 27 días.

Palabras clave: germinación; tomate; alimentación; eclosión; reactor.

ABSTRACT

The research addresses the feeding of black soldier fly (MSN) larvae for the biotransformation of coffee pulp into organic fertilizer. The transformation method was conducted with larvae five days after hatching in a scale reactor, with temperature controlled between 27 and 30 °C and relative humidity between 60 and 70 %. The coffee pulp, used as substrate, had an initial moisture content of 82.67 %. The feeding rates chosen were 222.2, 444.4, 666.6 and 777.7 mg/larva day in wet mass. The experimentation period lasted 15 days.

*For the germination test, the feeding rate of 666.6 mg/larva day was chosen, corresponding to 3 tomato (*Solanum lycopersicum*) seeds per container, in synthetic soil mixture constructed with concentrations of 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, 0:100, frass (MSN larvae compost) and coco peat respectively, with 10 replicates for each test. The characterization methods include, according to NTC 5167:2022, pH, moisture, ash, density, total organic carbon and total phosphorus. The Klason method was used for lignin content.*

The best compost obtained in the experiment was produced at 666.6 mg/larva day, which presented pH 8.12, density 0.42 g/cm³, lignin 43.91 %, total organic carbon 46.49 %, final moisture 76.92 %, ash 49.08 %, total phosphorus 0.0013 %. The plants with the best growth were those of the 25:75 frass and coco peat treatment, showing a height of 96.23 mm, diameter 1.9 mm, 14 leaves and 86.67 % germination; this measurement was taken over during 27 days.

Keywords: germination; tomato; feeding; hatching; reactor.

1. INTRODUCCIÓN

El café en Colombia tiene una historia de cerca de 300 años desde su llegada al país, y fue en 1835 cuando iniciaron las exportaciones de los primeros sacos de café desde la Aduana de Cúcuta. Posteriormente, la producción comenzó a expandirse en las regiones de Norte de Santander, Antioquia, Cundinamarca y Caldas (Café de Colombia, 2021). De acuerdo con la Federación Nacional de Cafeteros (2023), la producción registrada en 2022 ascendió a 11.1 millones de sacos de 60 kg, alrededor de 12 % menos que en 2021.

Únicamente el 5 % del peso del fruto seco se utiliza para elaborar la bebida de café y el otro 95 %

corresponde a los subproductos derivados del aprovechamiento e industrialización del grano, entre los cuales se encuentra la pulpa de café, pues por cada 2 toneladas de granos se genera alrededor de 1 tonelada de pulpa de café (Manasa *et al.*, 2021). Asimismo, se producen el cisco, el mucílago, las pasillas, la borra y los tallos del café (Fernández-Cortés *et al.*, 2020).

La pulpa de café es un subproducto que representa, en base húmeda, alrededor del 43.58 % del peso del fruto seco (Fernández-Cortés *et al.*, 2020) y puede provocar problemas ambientales como la contaminación del agua cuando se genera en grandes cantidades,

ya que incrementa la demanda bioquímica del oxígeno, reduce el pH y favorece la presencia de sólidos en suspensión, lo que limita el paso de la luz. También puede generar contaminación del suelo, lo que afecta las poblaciones de la microflora edáfica (Cervantes *et al.*, 2015).

Se ha buscado agregar valor a la pulpa de café mediante su transformación en procesos de compostaje o biodigestión. Sin embargo, también se han desarrollado investigaciones que proponen la alimentación de larvas de mosca soldado negra (MSN, *Hermetia illucens*) con estos desechos. Las larvas de MSN consumen múltiples tipos de residuos orgánicos como desechos de frutas, verduras y estiércol en poco tiempo. Diversos estudios señalan que este organismo puede disminuir patógenos como *Escherichia coli* y *Salmonella sp.*, presentes en el sustrato, además de transformar residuos orgánicos en abono (Hutabarat y Mangindaan, 2024; Wantulla *et al.*, 2024). Asimismo, las larvas pueden ser utilizadas como alimento para animales, en consonancia con los principios de sostenibilidad y economía circular (Ruschioni *et al.*, 2024; Amrul *et al.*, 2022; Nedi, 2021).

El presente estudio se realizó con desechos de pulpa de café con el objetivo de evaluar las características de un abono orgánico obtenido a partir de larvas de MSN (*Hermetia illucens*) y su efecto en la germinación y desarrollo de plántulas de tomate. Se desarrollaron dos fases experimentales: en la primera se analizaron las características nutricionales de abono comparando cuatro tasas de alimentación; la segunda fase consistió en un escalamiento de los mejores resultados para obtener la materia prima destinada a la prueba de germinación y crecimiento. En el capítulo de materiales y métodos se describen las técnicas usadas para la caracterización fisicoquímica, nutricional y de transformación. Los resultados arrojaron que el abono con mejores cualidades correspondió a la tasa de alimentación de 666.6 mg/larva día.

2. MATERIALES Y MÉTODO

A continuación, se describen los materiales y las metodologías empleadas para la elaboración de abono a partir de excremento de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) sobre residuos de pulpa de café.

Curva de eclosión

La curva de eclosión de los huevos de mosca *Hermetia illucens* se realizó por el método de “lluvia de crías”, preparando previamente el sustrato de iniciación molido con una mezcla 50:50 de comida para pollo (25 g) y agua (25 g) hasta obtener una mezcla homogénea.

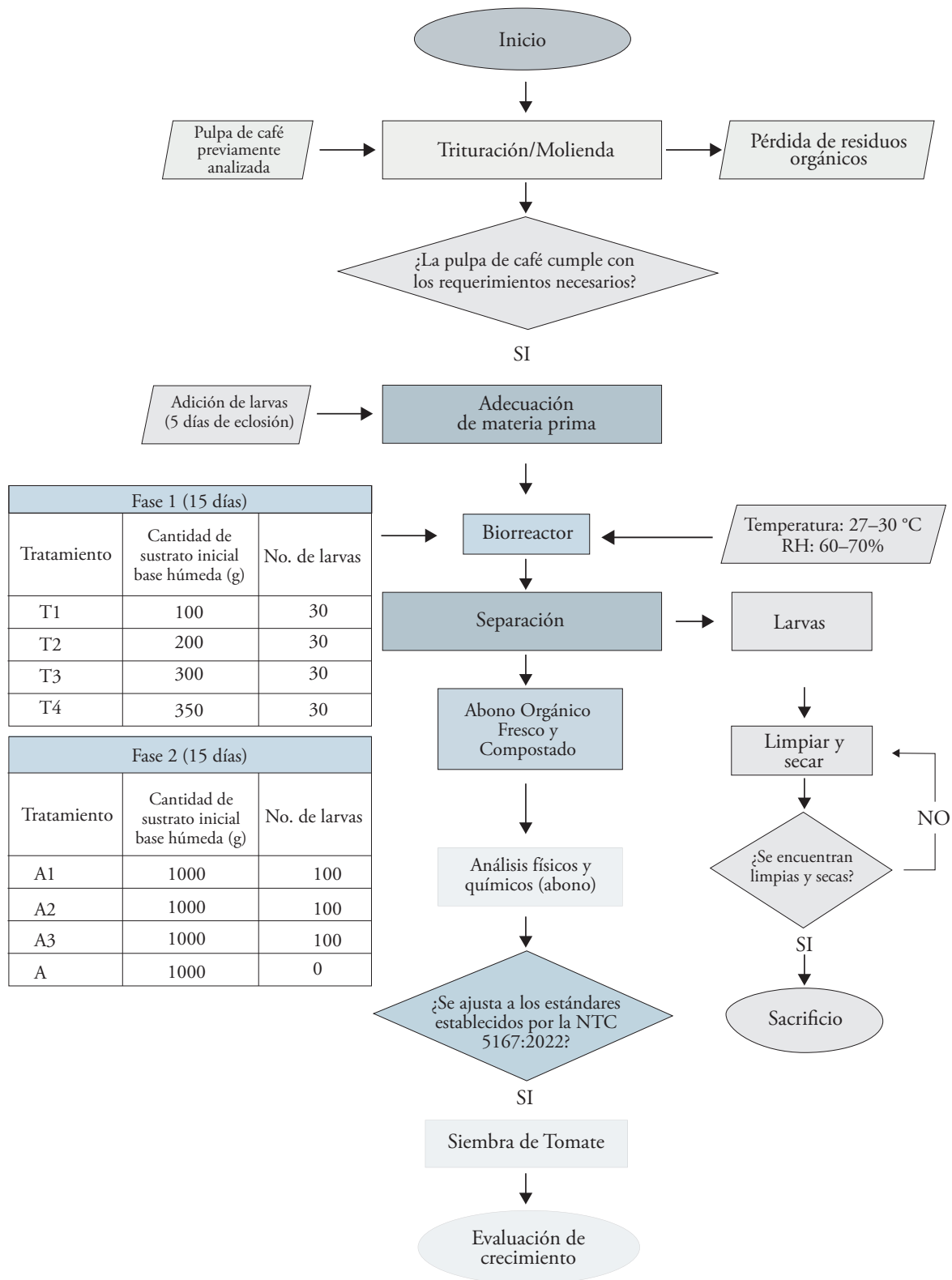
Biotransformación de la pulpa de café

Este estudio se llevó a cabo en los laboratorios de la Universidad de América ubicada en Bogotá (Colombia), y empleó huevos de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*) y pulpa de café provenientes de la Universidad de Caldas. Se utilizó un biorreactor a escala para controlar las condiciones de temperatura y humedad en el proceso de biotransformación en las dos fases experimentales.

La pulpa de café fue molida en un molino universal para facilitar el consumo por las larvas. Se aplicaron tasas de alimentación de 222.22, 444.44, 666.67 y 777.78 mg/larva día, cada tratamiento con 3 réplicas y 1 blanco sin larvas. Se agregaron 30 larvas de 5 días de eclosión a cada recipiente durante 15 días, con el fin de seleccionar el abono con mejores condiciones según la NTC 5167:2022 y posteriormente escalarlo.

Para la segunda fase, se seleccionó la tasa de alimentación de 666.67 mg/larva día. En esta etapa, se adicionaron 100 larvas de MSN (5 días de eclosión) a 1 kg de pulpa de café; igualmente, se realizaron 3 réplicas y 1 blanco durante 15 días, para después realizar la siembra de las plántulas de tomate. En el diagrama de flujo (figura 1) se presenta una representación visual detallada del proceso experimental empleado en ambas fases.

Figura 1. Diagrama de flujo del proceso para la obtención de abono orgánico a partir de pulpa de café



Análisis fisicoquímico

La pulpa de café y el *frass* (abono) fueron analizados fisicoquímicamente para determinar pH, humedad (%), cenizas (%), densidad mediante el método de desplazamiento de líquidos (principio de Arquímedes), carbono orgánico total por el método espectrofotométrico (%), fósforo total por el método Bray Kurtz (%), todos incluidos en la NTC 5167:2022, y contenido de lignina (%) por el método Klason.

Obtención de Cenizas

Para la determinación de cenizas totales se secaron las muestras de *frass* (excremento de *Hermetia illucens*) y se pesar. Luego, se introdujeron las muestras en un crisol y se llevaron a una mufla (horno) a una temperatura controlada de 550°C, hasta que no emitiera humo y las cenizas estuvieran blancas o grisáceas (8 horas). Una vez, la muestra este fría, se pesó la ceniza resultante para calcular el porcentaje de minerales.

Siembra de tomate

Para la prueba de germinación y crecimiento de semillas y plántulas, se utilizaron semillas de tomate (*Solanum lycopersicum*), 50 vasos de 3.3 oz con abono y turba de coco. El diseño experimental fue completamente al azar que consistió en emplear el abono obtenido junto con la turba de coco en 5 tratamientos, con proporciones de 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 y 0:100, cada uno con 3 semillas. Se realizaron 10 réplicas por tratamiento.

El diseño permitió evaluar la interacción entre las diferentes proporciones de abono y turba de coco, así como sus respectivos efectos desde la germinación hasta el crecimiento de las plántulas (Salinas-Vargas *et al.*, 2021). Se empleó la ecuación % de germinación = $\frac{\text{semillas germinadas}}{\text{total semillas}} \times 100$ para determinar el porcentaje de germinación por contenedor y posteriormente calcular el promedio de las 10 réplicas correspondientes a cada tratamiento Índice de reducción de residuos

Se utilizó la ecuación: índice reducción de residuos = $\frac{1 - (\text{masa residuo})}{(\text{masa alimentada})} \times 100$ para determinar la eficiencia alimentaria de las larvas de

MSN (*Hermetia illucens*), relacionando los pesos del sustrato de alimentación suministrado y perdido (masa alimentada). Esto coincide con lo planteado por Eriksen (2024), quien propone diferentes indicadores adicionales al índice de reducción de residuos, entre ellos: la tasa de bioconversión, determinada por los pesos de las larvas y el peso del sustrato, y la eficiencia de conversión del sustrato, calculada partir del peso de las larvas y del sustrato perdido.

Análisis Estadístico

Para el análisis de datos se utilizó el programa S.A.S. (versión 9.4). Se realizaron análisis de varianza (ANOVA) y la prueba de Diferencia Honestamente Significativa (HSD) de Tukey ($p < 0,05$). La HSD de Tukey se utiliza para crear intervalos de confianza para todas las diferencias pareadas entre las medias a nivel de factor, controlando la tasa de error por familia a un nivel específico

Resultados y discusión

A continuación, se dan a conocer los resultados obtenidos durante el análisis de los residuos restantes, producto de la conversión de pulpa de café usando *Hermetia illucens*.

Biotransformación de la pulpa de café

Humedad

Se observó el comportamiento de la humedad en diferentes tasas de alimentación (mg/larva día) en dos fases experimentales con pulpa de café (humedad inicial 82.67 %). La tasa de alimentación 222.22 mg/larva día presentó la menor humedad final (22.62 %), para la cual fue necesaria la adición de agua los días 9 (16.94 g), 11 (11.93 g) y 14 (8.36 g) con el fin de mantener las condiciones requeridas.

La tasa 444.44 mg/larva día finalizó con 65.19 % de humedad, mientras que las tasas de alimentación 666.67 y de 777.78 mg/larva día concluyeron con contenidos de humedad del 76 %. Por consiguiente, a menor tasa de alimentación se presentó una mayor

disminución de humedad, alcanzándose los niveles más bajos. No obstante, también debe tenerse en consideración el biorreactor utilizado debido a que la ventilación influye directamente en la disminución de la humedad. Al comparar con otros autores, se coincide con Lalander *et al.* (2020), quienes, en su investigación, utilizaron sustratos con diferentes humedades, ventilación pasiva para sustratos con baja humedad y ventilación activa para sustratos de alta humedad, obteniendo un descenso de humedad mayor para el sustrato que contenía 90 % de agua, resultando de este tratamiento un contenido de materia seca de aproximadamente del 60 %.

En la segunda fase, se utilizó una tasa de alimentación fija de 666.67 mg/larva día, en la cual se evaluaron 4 unidades de experimentación (identificadas como 1, 2, 3 y B). Teniendo en cuenta que se inició con una humedad de sustrato de 82,67 %, los contenedores finalizaron con humedades de 69.81 %, 78.77 %, 79.30 % y 75.96 %, respectivamente. La humedad disminuyó de forma no muy pronunciada, debido a que los recipientes utilizados en esta fase fueron mucho más grandes que los empleados en la fase 1, lo que favoreció la ventilación. Sin embargo, coincidiendo con Lalander *et al.* (2020), los resultados se asimilaron a los que obtuvieron con la ventilación pasiva, con una disminución baja de humedad.

El *frass* de larva de MSN (*Hermetia illucens*) es un subproducto de la cría de mosca soldado negra y se considera que contiene nutrientes útiles para la producción de cultivos; podría funcionar como fertilizante orgánico que puede llegar a sustituir a los fertilizantes comerciales (Nedi, 2021). La humedad en el *frass* es un factor clave que influye en el comportamiento de las larvas de MSN. Cuando la humedad es muy alta, disminuye la tasa de crecimiento de las larvas, ya que tienden a ahogarse por el exceso de humedad y la falta de intercambio de gases (Padmanabha *et al.*, 2020). Durante su desarrollo, las larvas consumen el sustrato y lo transforman en excretas, lo cual genera calor y favorece la

evaporación de la humedad contenida en el sustrato (Padmanabha *et al.*, 2020).

En la fase 1, la tasa de alimentación de 222.22 mg/larva día presentó la humedad final más baja en comparación con las otras tasas de alimentación. Esta disminución de humedad se debió a la cantidad de sustrato agregado (100, 200, 300 y 350 g) en cada tasa, ya que al tener principalmente una cantidad de sustrato de 100 g (222.22 mg/larva día), 30 larvas y estar sometidas a aireación en el biorreactor, se facilitó la evaporación del agua, lo que redujo la humedad con mayor rapidez. Sin embargo, la ubicación de los recipientes jugó un papel importante en la aireación del biorreactor, porque la ventilación fue más directa en algunos de ellos. Este factor también afectó los resultados de la segunda fase experimental, en la cual se observaron diferencias en la tasa de disminución de la humedad entre los recipientes.

Holmes *et al.* (2012) y Eggink *et al.*, (2022) mencionan que la humedad del sustrato debe estar entre 60-80 %. En ambos estudios se coincide en que la humedad del sustrato suministrado fue del 70 % para mantener las condiciones necesarias para el adecuado desarrollo de las larvas. Aunque es crucial mantener la humedad adecuada del sustrato, también es necesario contemplar opciones de secado para cumplir con los requisitos establecidos en la NTC 5167:2022.

Cenizas

El contenido de cenizas es otro factor relevante relacionado con la humedad. En este estudio se observó que, a menor humedad del sustrato, mayor es el contenido de cenizas, con un aumento progresivo a lo largo del tiempo. Estos resultados son similares a los obtenidos por Eggink *et al.* (2022), quienes reportaron un incremento relevante del contenido de cenizas con el paso del tiempo en diferentes sustratos, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Comparación de resultados de cenizas con otros autores

Datos de la investigación				Datos de Eggink et al., 2022		
Sustrato	Tasa alimentación (mg/larva día)	Cenizas iniciales (%)	Cenizas finales (%)	Sustrato	Cenizas iniciales (%)	Cenizas finales (%)
Fase 1 (pulpa de café)	222.22	7.51	10.88	Alimento para pollo	5.4	8.0
	444.44	7.40	28.37	Alimento mixto	4.5	5.9
	666.67	7.45	49.08	Bagazo de cerveza	4.3	6.3
	777.78	7.49	46.18	Mejillones	63.8	77.7
	666.67 (1)	17.90	29.80	Torta de colza	7	13.7
Fase 2 (pulpa de café)	666.67 (2)	17.90	20.80	Desecho de camarón	31.2	53.5
	666.67 (3)	17.90	17.51			
	666.67 (B)	17.90	17.51			

Las cenizas aumentan debido a la descomposición de los residuos. Estas corresponden a los residuos inorgánicos que permanecen después de la oxidación de la materia orgánica de los materiales biológicos (Liu, 2019). La incineración es el método principal para medir el contenido de cenizas de biomasa y consiste en que los minerales no se destruyen con el calentamiento. Durante la incineración, el agua y los volátiles se vaporizan, los compuestos orgánicos se oxidan mediante combustión y los minerales se transforman en óxidos, sulfatos, fosfatos, cloruros y silicatos (Liu, 2019). La reducción de los sólidos volátiles a lo largo del tiempo indica la degradación de la materia orgánica presente en los residuos. Esta disminución refleja que la actividad microbiana descompone la materia orgánica en compuestos más simples y estables, lo que contribuye a la maduración del compostaje (Mengistu *et al.*, 2018).

Índice de reducción de residuos

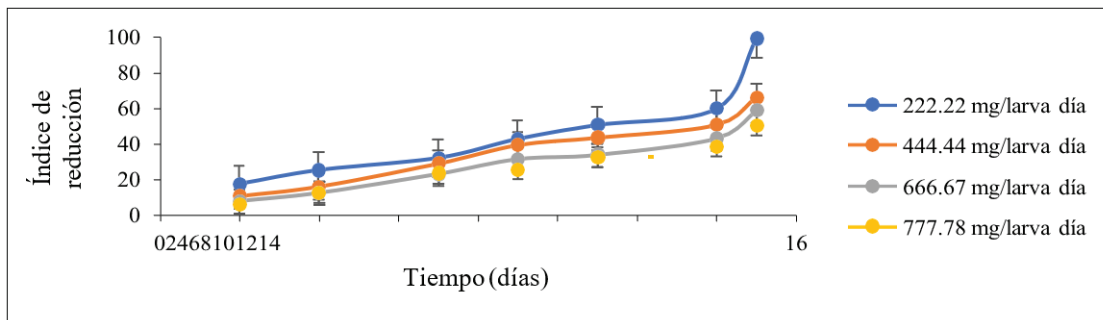
Las figuras 1 y 2 muestran el índice de reducción de residuos durante los 15 días en cada fase experimental. En la figura 1, la tasa de alimentación de 222.22 mg/larva día evidenció la tendencia más alta en comparación con las demás tasas. Esta tasa inició con 17.03 % en el primer día y finalizó el día 15 con 98.76 %, alcanzando casi el 100 % de reducción de residuos. Esto se explica por la tasa de

alimentación baja, que generó déficit de alimento para las larvas. A medida que estas se desarrollaban, consumieron el sustrato disponible a un ritmo acelerado, lo que provocó un agotamiento más rápido del material.

En el estudio de Ruschioni *et al.* (2024), se observó que el índice de reducción de desechos en larvas alimentadas con microalgas fue mayor y que las diferencias en el valor nutricional fueron menores en comparación con las larvas no alimentadas con microalgas. Sin embargo, la tasa de 444.44 mg/larva día fue la segunda con mayor índice de reducción, seguida de las tasas 666.67 y 777.78 mg/larva día, las cuales finalizaron con índices de 65.89 %, 58.27 % y 49.99 %, respectivamente.

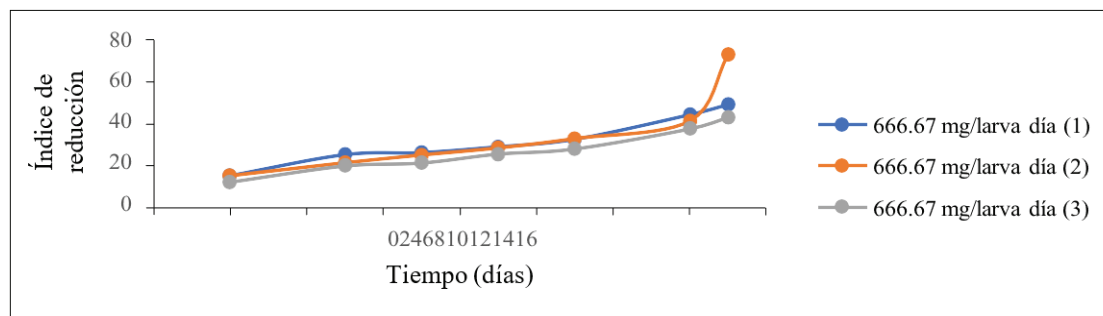
La figura 2 corresponde a la fase 2, donde se muestra que las curvas presentan una tendencia ascendente durante los 15 días para todas las tasas de alimentación. Las 3 curvas tienen patrones similares con pequeñas variaciones hasta el último día de medición (día 15), cuando la réplica 2 alcanzó el índice más alto con 72.32 %, seguida de los tratamientos 1 y 3 con valores de 48.99 % y 42.64 %, respectivamente. El promedio entre réplicas fue de 54.65 %, con una desviación estándar de 13.45 (véase la tabla 2). Es probable que estas variaciones se deban a la ubicación de cada recipiente en el biorreactor.

Figura 1. Índice de reducción de residuos en la primera fase experimental



Fuente: elaboración propia

Figura 2. Índice de reducción de residuos en la segunda fase experimental



Fuente: elaboración propia

Tabla 2. Índice de reducción de residuos segunda fase experimental

Día medición	Réplica 1	Réplica 2	Réplica 3	Promedio
2	14.92	15.08	11.99	14.00
5	25.01	21.24	19.67	21.97
7	26.01	24.89	21.08	23.99
9	28.81	28.24	25.32	27.46
11	32.36	32.67	27.73	30.92
14	44.13	40.97	37.22	40.77
15	48.99	72.32	42.64	54.65
Desv. Est	11.69	18.95	10.52	13.45
Error Est	4.42	7.16	3.98	5.08

Fuente: elaboración propia

En el estudio de Bava *et al.* (2019), se utilizaron diferentes dietas de alimentación, incluidas dietas de gallina, okara (pulpa de soja), maíz destilado y granos de cerveza. La dieta de okara fue la que presentó los índices de reducción más altos en comparación con las demás, con un valor del 36 %. Es

importante considerar estos resultados para el escalamiento de plantas de producción de abono, ya que un mayor índice de reducción de residuos implica un uso más eficiente de los materiales, reducción de costos operativos y disminución del volumen de desechos. Factores como la composición nutricional

del sustrato, el contenido de humedad y la calidad del sustrato influyen en el valor. Un alto índice de reducción permite obtener un mayor rendimiento en la producción de abono, mejorando la viabilidad económica y ambiental de operaciones en plantas a gran escala.

Análisis fisicoquímico

Las tablas 3 y 4 muestran los resultados obtenidos correspondientes al sustrato y al *frass* obtenido en cada una de las tasas de alimentación para las fases 1 y 2.

Tabla 3. Análisis fisicoquímico fase 1

Tasa alimentación (mg/larva día)	Den (g/cm ³)	DS	pH	DS	% Lign	DS	% COT	DS	% Hum	DS	%Cen	DS	%P	DS
Rango de valores permitidos	(< 0.6)		(4-9)		Reportar valor		(> 15)		(< 20)		(< 60)		(> 1)	
Pulpa de café	1.84	0.00	5.32	0.00	20.05	0.00	38.58	0.00	82.67	0.00	7.45	0.00	0.0010	0.00
222.2	0.40	0.18	-	-	40.20	5.08	41.78	3.36	22.63	7.45	10.88	1.03	0.0012	0.0001
Blanco (222.2)	0.17	0.00	-	-	44.59	0.00	33.88	0.00	13.48	0.00	10.17	0.00	0.0022	0.00
444.4	0.40	0.12	9.67	0.00	44.78	5.20	37.69	3.47	65.19	8.53	28.37	8.44	0.0012	0.0004
Blanco (444.4)	0.38	0.00	8.78	0.00	44.17	0.00	42.65	0.00	68.14	0.00	27.28	0.00	0.0013	0.00
666.6	0.42	1.74	8.12	1.74	43.91	5.24	46.49	1.79	76.92	4.58	49.08	13.81	0.0013	0.0003
Blanco (666.6)	0.44	0.00	7.40	0.00	69.79	0.00	42.64	0.00	79.71	0.00	15.70	0.00	0.0009	0.00
777.7	0.71	0.28	7.76	1.55	44.37	5.17	41.87	5.65	76.01	6.84	46.18	11.84	0.0015	0.0004
Blanco (777.7)	0.44	0.00	7.41	0.00	45.98	0.00	49.26	0.00	78.33	0.00	44.71	0.00	0.0013	0.00

Fuente: elaboración propia

En la tabla 3, los resultados indican que la tasa de alimentación influye de manera significativa en la obtención de un abono orgánico de calidad. En las tasas que contenían larvas, la densidad en el *frass* aumentó a medida que la tasa de alimentación se incrementó. El pH una tendencia a disminuir conforme aumentó la tasa de alimentación.

Para los resultados correlacionados entre la lignina y el carbono orgánico total, se tuvo en cuenta que la lignina debe encontrarse dentro del rango de carbono orgánico, debido a su composición química rica en carbono (Yu y Kim, 2020). Bajo este criterio, las tasas de que cumplieron fueron 222.22 y 666.67 mg/larva, que presentaron una lignina relativamente más baja que el carbono orgánico.

La humedad permaneció por encima del recomendado para abonos, y solo el blanco de la tasa de alimentación 222.22 cumplió con las condiciones establecidas por la norma. El fósforo total no alcanzó los parámetros mínimos exigidos por la NTC 5167:2022.

En la tabla 4, los resultados de la tasa de 666.67 mg/larva día (replicada a mayor escala debido a los resultados de la fase 1) mostraron valores adecuados de densidad (g/cm³), pH, cenizas (%) y carbono orgánico total (%), que cumplen con la NTC 5167:2022. No obstante, los datos de lignina (%), humedad (%) y fósforo total (%) no cumplen con la norma porque la lignina supera el carbono orgánico (42.70 >40.45 %), la humedad es mayor al límite

permitido y el fósforo total se encuentra por debajo del mínimo requerido, tal como se observó en la fase 1 (véase la tabla 3).

Prueba de germinación y crecimiento de plántulas de tomate

En la evaluación de crecimientos de las plántulas de tomate (tabla 5), los tratamientos 4 y 5 fueron los

Tabla 4. Análisis fisicoquímico fase 2

Tasa alimentación (mg/larva día)	Den (g/cm ³)	pH	% Lign	% COT	% Hum	% Cen	% P
Rango de valores permitidos	(< 0.6)	(4-9)	Reportar valor	(> 15)	(< 20)	(< 60)	(> 1)
Pulpa de café	1.84	5.32	20.05	38.58	82.67	7.45	0.0010
Abono (666.67)	0.53	8.96	42.70	40.41	75.96	22.70	0.0010
Desviación estándar	0.21	0.06	2.64	1.19	5.33	6.36	6,00E-05
Blanco (666.67)	0.36	8.94	42.18	39.50	82.26	17.51	0.0010

Fuente: elaboración propia

que presentaron la germinación más temprana (día 6). El mejor crecimiento en cuanto a número de hojas, ancho del tallo, altura en promedio y porcentaje de germinación fue el tratamiento 4 (25:75), lo que indica que el abono orgánico es muy eficiente en cultivos y necesita ser utilizado en un bajo porcentaje, combinado con otro sustrato que aporte nutrientes y favorezca un mejor crecimiento a las plantas. Sin embargo, el tratamiento con 100 % *frass* no presentó germinación, principalmente porque su textura era muy húmeda y, al entrar en contacto con el sol, la superficie tendía a secarse y endurecerse, mientras que en el fondo permanecía excesivamente húmedo.

Las concentraciones altas de abono pueden ser contraproducentes, ya que las semillas y plantas no presentan un desarrollo y crecimiento adecuados, como es el caso de los tratamientos 1 y 2, donde se aplicaron dosis elevadas. Estos tratamientos mostraron tendencia a no crecer o a crecer lentamente y algunas plántulas incluso presentaron signos de quemadura. Lo anterior indica que las concentraciones elevadas de abono pueden generar un desequilibrio nutricional que impide el crecimiento normal de las semillas y plantas.

Tabla 5. Evaluación del crecimiento de las plántulas de tomate

Tratamiento	Proporciones <i>frass</i> : turba de coco	Germinación (%)	Altura (mm)	No. hojas	Diámetro del tallo (mm)	No. flores
1	100:0	0.00 %	-	-	-	-
2	75:25	93.33 %	31.20	3	1.1	NA
3	50:50	76.67 %	68.22	8	1.4	NA
4	25:75	86.67 %	96.23	14	1.9	NA
5	0:100	93.33 %	65.05	9	1.4	NA

Fuente: elaboración propia

El abono orgánico de *frass* de larvas de MSN (*Hermetia illucens*) es considerado un producto con características altas de N, K y P, similares a las del estiércol de aves de corral, lo que corrobora su potencial para aportar micro y macronutrientes (Nedi, 2021). Aunque en este estudio la caracterización del abono en las dos fases experimentales (tabla 3 y 4) no tuvo un análisis profundo de N y K, se evidenció que no presentó un contenido alto de P, lo que da a entender que el abono obtenido no cuenta con características que puedan dar un aporte significativo de nutrientes al suelo. Sin embargo, es importante considerar el aumento del fósforo complementando la alimentación de las larvas con cáscaras de plátano, ya que se ha demostrado que es abundante en nutrientes, incluido el fósforo (Rammal *et al.*, 2024).

Amrul *et al.* (2022) señalaron que la mezcla de dos o más sustratos puede mejorar el valor nutricional y asegurar un crecimiento óptimo de las larvas, haciendo que su ciclo de vida sea más corto. Esto da a entender que la combinación de diferentes sustratos podría generar mejores características físico-químicas en el abono. Estos autores también mencionan que el abono orgánico que se obtiene de las larvas de MSN tiene características similares al abono inmaduro, debido a su rápida producción, por lo cual requiere un procesamiento adicional para alcanzar la madurez, mediante vermicompostaje o digestión anaeróbica.

El *frass* de larva de *Hermetia illucens* contiene quitina, presente en el exoesqueleto de insectos y en algunas plantas; estas tienen la capacidad de digerir la quitina, gracias a las enzimas, activando sus mecanismos de defensa y aumentando la microbiología beneficiosa del suelo (Jasso *et al.*, 2024; Amrul *et al.*, 2022).

En este estudio se evaluó el comportamiento del abono orgánico en cultivos de tomate con diferentes proporciones de abono y turba de coco durante 27 días. Como se muestra en la tabla 5, el tratamiento 4 (25:75) registró las mejores condiciones promedio

de crecimiento, con un porcentaje de germinación de 86.67 %, altura promedio de 96.23 (mm), 14 hojas y un diámetro de tallo de 1.9 mm. Este tratamiento contenía 25 % *frass* y 75 % turba de coco, proporciones similares a las empleadas por Iqbal *et al.* (2023), quienes utilizaron 30:70 de estiércol de aves de corral o ganado y urea, mostrando el mejor desempeño para mejorar la salud del suelo y el rendimiento de arroz.

La figura 4 muestra un ejemplar representativo del tratamiento 4 correspondiente a la repetición 3, el cual presentó un desarrollo óptimo de acuerdo con los promedios obtenidos. El tomate es la hortaliza de mayor importancia económica a nivel mundial; durante su producción en invernaderos suele utilizarse lana de roca y turba como sustrato, pero la fibra de coco se emplea cada vez más para este fin (Xiong *et al.*, 2017). La turba de coco es un sustrato natural utilizado industrialmente en plántulas orgánicas e inorgánicas que no requieren uso de suelo. Este subproducto de la industria de Cocos *nucifera* constituye aproximadamente el 25 % de su producción total (Yan *et al.*, 2024). La turba de coco incorpora al medioambiente microorganismos beneficiosos que son eficientes degradando compuestos orgánicos complejos y reciclan nutrientes que quedan disponibles para las plantas, lo que genera un equilibrio en el sustrato (Yan *et al.*, 2024).

Figura 4. Plántula en crecimiento, repetición 3, tratamiento 4



Fuente: elaboración propia

El abono orgánico demostró ser más efectivo de lo esperado en el desarrollo y crecimiento de las plantas. Los tratamientos con mayor proporción de abono orgánico (1 y 2) no presentaron las mejores condiciones para el desarrollo vegetal. El tratamiento 1, al contener solo abono, no presentó germinación; el tratamiento 2 alcanzó una germinación del 93.33 %, pero su crecimiento fue lento y mostró los valores más bajos del experimento. El tratamiento 3 presentó la germinación más baja, pero ocupó el segundo lugar en condiciones de crecimiento, después del tratamiento 4, con una altura de 68.22 mm, 8 hojas y un diámetro de tallo de 1.4 mm. Finalmente, el tratamiento 5 registró una germinación de 93.33 %; aunque no contenía abono orgánico, mostró la mejor germinación al inicio del ensayo, pero su crecimiento y rendimiento se vio pausado y disminuyó en los últimos días de medición.

En el estudio de Fan *et al.* (2023), se indicó que los fertilizantes orgánicos proporcionan fertilidad al suelo a largo plazo y contribuyen a la producción agrícola, relación asociada con la mejora en la conductividad del suelo. Adicionalmente, los autores comentan que el vermicompostaje presenta una conductividad eléctrica baja en comparación con otros fertilizantes orgánicos, por lo cual sería una opción adecuada para someter el abono orgánico de larvas de MSN a un procesamiento adicional mediante el vermicompostaje para obtener un abono con características de abono maduro y con mejores características nutricionales para el suelo.

Aunque los resultados de los tratamientos 1 y 2 no fueron los esperados, coincidieron con lo reportado por Wantulla *et al.* (2024), quienes evaluaron los efectos de enmendar el suelo con *frass* de MSN en la supervivencia de la mosca de raíz de la col. En su estudio observaron resultados poco favorables en la germinación y crecimiento de *Brassica oleracea* o col silvestre, pero sí registraron una reducción significativa en la plaga *Delia radicum*, que afecta la col.

CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en este estudio muestran que elaborar abono orgánico mediado por larvas de MSN requiere la evaluación de otros tratamientos complementarios; las características obtenidas en el *frass* para uso como abono muestran potencial para la mezcla con otros sustratos. El *frass* presentó características similares a las del abono inmaduro. Al aplicar el abono a cultivos de tomate con diferentes proporciones de abono y turba de coco, se observó un crecimiento y desarrollo adecuado de las plantas que contenían menor proporción de abono, pues se demostró que el tratamiento con 100 % de abono *frass* no presentó germinación, mientras que los demás tratamientos presentaron germinaciones significativas, como los tratamientos 2 y 5, que registraron las germinaciones más altas (93.33 %). No obstante, los tratamientos 3 y 4, aunque presentaron una germinación más baja con 76.67 y 86.67 %, obtuvieron los mejores resultados con alturas de 68.22-96.23 mm, diámetros de 1.4-1.9 mm y números de hojas entre 8-14. Estos resultados demuestran que utilizar abono orgánico en bajas concentraciones es beneficioso para el suelo porque brinda equilibrio al ecosistema, mejora la estructura del suelo a largo plazo y reduce el riesgo de sobrefertilización. Además, minimiza los costos para la producción agrícola, lo cual favorece a los agricultores.

Darles un aprovechamiento a los residuos orgánicos mediante larvas de MSN (*Hermetia illucens*) para obtener productos como abono orgánico que mejoren la calidad del suelo agrícola resulta viable, pero aún se requiere más investigación para optimizar el proceso y obtener un producto de alta calidad a partir de residuos como la pulpa de café o mediante variación de desechos orgánicos.

Contribución de los autores

Lorena Ortega Romero: metodología, investigación, redacción, análisis estadísticos, interpretación de datos, construcción de las gráficas y figuras. Diana Marcela Cuesta Parra: dirección del proyecto de

investigación, revisión del artículo. Felipe Correa-Mahecha: seguimiento a las condiciones experimentales. Juan Pablo Ospina y Nelson Ceballos: apoyo en el suministro de materiales experimentales y en el diseño de experimentos.

Implicaciones éticas

No existen implicaciones éticas.

Conflicto de interés

Los autores manifiestan que no existen conflictos de interés en este estudio.

Financiación

El trabajo fue realizado con recursos destinados a la investigación por la Universidad de América y Universidad de Caldas, incluido en el proyecto de investigación IIQ-005-2024.

REFERENCIAS

- Amrul, N. F., Kabir Ahmad, I., Ahmad Basri, N. E., Suja, F., Abdul Jalil, N. A., y Azman, N. A. (2022). A review of organic waste treatment using black soldier fly (*Hermetia illucens*). *Sustainability*, 14(8), 4565. <https://doi.org/10.3390/su14084565>
- Bava, L., Jucker, C., Gislon, G., Lupi, D., Savoldelli, S., Zucali, M., y Colombini, S. (2019). Rearing of *Hermetia illucens* on different organic by-products: Influence on growth, waste reduction, and environmental impact. *Animals*, 9(6), 289. <https://doi.org/10.3390/ani9060289>
- Café de Colombia. (2021, 22 de febrero). *Historia del café de Colombia. Café de Colombia*. <https://cafedecolombia.com/nuestro-cafe-mapal>
- Cervantes Beyra, R., Castro-Lizazo, I., Mesa Pérez, M. A., Ocampo Ramírez, A., Fernández Valdés, D., y Fernández Valdés, D. (2015). Efecto de la pulpa de *Coffea arabica* L. sobre la microflora de tres unidades de suelos. *Revista de Protección Vegetal*, 30(2), 115-122.
- Eggink, K. M., Lund, I., Pedersen, P. B., Hansen, B. W., y Dalsgaard, J. (2022). Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Effects on larval body composition and performance. *PLoS One*, 17(9), e0275213. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275213>
- Eriksen, N. T. (2024). Metabolic performance and feed efficiency of black soldier fly larvae. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*, 12, 1397108. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2024.1397108>
- Fan, H., Zhang, Y., Li, J., Jiang, J., Waheed, A., Wang, S., Rasheed, A. M., Zhang, L., y Zhang, R. (2023). Effects of organic fertilizer supply on soil properties, tomato yield, and fruit quality: A global meta-analysis. *Sustainability*, 15(3), 2556-2556. <https://doi.org/10.3390/su15032556>
- Federación Nacional de Cafeteros de Colombia. (2023, 4 de enero). La producción anual de café de Colombia cierra 2022 en 11,1 millones de sacos, 12 % menos que en 2021 [Comunicado de prensa]. <https://federaciondefcafeteros.org/app/uploads/2023/01/BOLETIN-Produccion-anual-de-cafe-de-Colombia-cierra-2022-en-11-1-millones-de-sacos.pdf>
- Fernández-Cortés, Y., Sotto-Rodríguez, K. D. y Vargas-Marín, L. A. (2020). Impactos ambientales de la producción del café, y el aprovechamiento sustentable de los residuos generados. *Producción + Limpia*, 15(1), 93-110. <https://doi.org/10.22507/pml.v15n1a7>
- Holmes, L. A., Vanlaerhoven, S. L., y Tomberlin, J. K. (2012). Relative Humidity Effects on the Life History of *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *Environmental Entomology*, 41(4), 971-978. <https://doi.org/10.1603/en12054>
- Hutabarat, D. J. C., y Mangindaan, D. (2024). Cultivation of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae for the valorization of spent coffee ground: A systematic review and bibliometrics-tudy. *Agriculture*, 14(2), 205-205. <https://doi.org/10.3390/agriculture14020205>
- Iqbal, A., Tang, X., Ali, I., Yuan, P., Khan, R., Khan, Z., Adnan, M., Wei, S., y Jiang, L. (2023). Integrating low levels of organic fertilizer improves soil fertility and rice yields in paddy fields by influencing microbial communities without increasing CH₄ emissions. *Applied Soil Ecology*, 189, 104951. <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2023.104951>
- Jasso, B., Quinchia, L., Waliczek, T. M., y Drewery, M. L. (2024). Black soldier fly larva (*Hermetia illucens*) frass and sheddings as a compost ingredient. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7, 1297858. <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1297858>
- Lalander, C., Ermolaev, E., Wiklicky, V., y Vinnerås, B. (2020). Process efficiency and ventilation requirement in black soldier fly larvae composting of substrates with high water content. *Science of the Total Environment*, 729, 138968. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.138968>
- Liu, K. (2019). Effects of sample size, dry ashing temperature and duration on determination of ash content in algae and other biomass. *Algal Research*, 40, 101486. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101486>
- Manasa, V., Padmanabhan, A., y Anu Appaiah, K. A. (2021). Utilization of coffee pulp waste for rapid recovery of pectin and polyphenols for sustainable material recycle. *Waste Management*, 120, 762-771. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2020.10.045>
- Mengistu, T., Gebrekidan, H., Kibret, K., Woldetsadik, K., Shimelis, B. y Yadav, H. (2018). Comparative effectiveness of different composting methods on the stabilization, maturation

- and sanitization of municipal organic solid wastes and dried faecal sludge mixtures. *Environmental Systems Research*, 6(1). <https://doi.org/10.1186/s40068-017-0079-4>
- Nedi Terfa, G. (2021). Role of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae *frass* bio-fertilizer on vegetable growth and sustainable farming in Sub-Saharan Africa. *Reviews in Agricultural Science*, 9(0), 92-102. https://doi.org/10.7831/ras.9.0_92
- Padmanabha, M., Kobelski, A., Hempel, A. J., y Streif, S. (2020). A comprehensive dynamic growth and development model of *Hermetia illucens* larvae. *PLoS One*, 15(9), e0239084. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0239084>
- Rammal, F., Issa, M., Khiari, B. y Jeguirim, M. (2024). Biofertilizer and biocompost prepared from banana peels for agricultural applications. En *Banana Peels Valorization* (pp. 141-157). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/b978-0-323-95937-7.00006-8>
- Ruschioni, S., Duca, D., Tulli, F., Zarantoniello, M., Cardinaletti, G., Corsi, L., Olivotto, I., Basili, D., Naspetti, S., Truzzi, C., Isidoro, N., y Riolo, P. (2024). Evaluation of growth performance and environmental impact of *Hermetia illucens* larvae reared on coffee silverskins enriched with Schizochytrium limacinum or isochrysis galbana microalgae. *Animals*, 14(4), 609. <https://doi.org/10.3390/ani14040609>
- Salinas-Vargas, D., Maldonado-Peralta, M. D. L. Á., Rojas-García, A. R., León-Villanueva, A., Álvarez-Vázquez, P., y Maldonado-Peralta, R. (2021). Response of tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.) to water stress. *Agro Productividad*, 13(12). <https://doi.org/10.32854/agrop.v13i12.1897>
- Wantulla, M., Dicke, M., y Van Loon, J. J. A. (2024). Effects of amending soil with black soldier fly *frass* on survival and growth of the cabbage root fly (*Delia radicum*) depend on soil type. *Journal of Pest Science*, 97(3), 1451-1459. <https://doi.org/10.1007/s10340-023-01710-9>
- Xiong, J., Tian, Y., Wang, J., Liu, W., y Chen, Q. (2017). Comparison of coconut coir, rockwool, and peat cultivations for tomato production: Nutrient Balance, plant growth and fruit quality. *Frontiers in Plant Science*, 8, 1327. <https://doi.org/10.3389/fpls.2017.01327>
- Yan, K., Ma, Y., Bao, S., Li, W., Wang, Y., Sun, C., Lu, X., y Ran, J. (2024). Exploring the Impact of Coconut Peat and Vermiculite on the Rhizosphere Microbiome of Pre-Basic Seed Potatoes under Soilless Cultivation Conditions. *Microorganisms*, 12(3), 584. <https://doi.org/10.3390/microorganisms12030584>
- Yu, O., y Kim, K. H. (2020). Lignin to materials: A focused review on recent novel lignin applications. *Applied Sciences*, 10(13), 4626. <https://doi.org/10.3390/app10134626>