

Larvas que transforman residuos en alimento para las plantas

Laura Yesenia López López¹ y Hugo González Lara^{1*}

¹ Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, campus Amazcala

* Dirección para correspondencia: agonzalezarias@gmail.com

Cada año, miles de toneladas de alimentos terminan en vertederos o rellenos sanitarios. El Informe del Índice de Desperdicio de Alimentos 2024 de América Latina, dado a conocer por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (PNUMA), revela una cifra muy alarmante: 62 % de las frutas y verduras cultivadas se desperdician al año en esta región. De manera similar, un total de 1,050 millones de toneladas de alimentos son desperdiciados (carnes, lácteos, frutas, verduras); es decir, 132 kg de desechos anuales por persona solo en América Latina (PNUMA, 2024). Este problema no solo significa pérdida de alimento, sino que también representa un problema ambiental. Los residuos alimentarios no aprovechados representan entre el 8 y 10 % de las emisiones de gases de efecto invernadero a nivel mundial (PNUMA, 2024), ya que la mayoría no son manejados de manera correcta. Por lo anterior, el mal manejo de los desperdicios de alimentos es un contribuyente silencioso al cambio climático.

¿Qué se puede hacer con los residuos orgánicos?

Lejos de ser tratados solo como “basura”, los restos de alimentos como frutas, verduras y otros desechos orgánicos pueden ser recuperados y transformados en materiales orgánicos valiosos. Por ejemplo, los residuos orgánicos pueden usarse en la generación de energía, producción de biocombustibles e inclusive en la agricultura. De hecho, podemos tomar el ejemplo de cómo la naturaleza descompone y recicla los residuos en un ciclo cerrado para poder reintegrarlos a su ecosistema. Este proceso es muy utilizado dentro de la agricultura.

Por lo que, si nosotros queremos emular a la naturaleza, debemos proponer procesos de conversión. Es decir, los residuos orgánicos pueden ser convertidos en productos valiosos mediante procesos químicos, bioquímicos o biológicos; en la agricultura, los procesos bioquímicos y biológicos han hecho posible obtener enmiendas orgánicas. Las enmiendas orgánicas se obtienen de residuos orgánicos siguiendo un proceso de transformación y son ricas en nutrientes para las plantas.

Estas enmiendas orgánicas son ricas en nutrientes para las plantas, por lo que pueden actuar como fertilizantes; estos nutrientes incluyen nitrógeno, fósforo y potasio —en conjunto se conocen como NPK, nutrientes de gran importancia para el desarrollo de las plantas— en una forma de rápida disponibilidad para los cultivos, a la vez que los liberan de una forma más natural. Asimismo, una enmienda orgánica puede mejorar la estructura del suelo, haciéndolo más poroso y ayudando a que las raíces respiren; igualmente, actúa como una esponja, ya que mejora la capacidad

de retención de agua del suelo y estimula las comunidades de microorganismos benéficos, por lo que puede utilizarse como sustrato, es decir, como el medio físico que le dará nutrientes y soporte a la planta para su desarrollo.

¿Larvas de insectos en la transformación de residuos orgánicos?

En los últimos años ha surgido la necesidad de explorar otro tipo de alternativas que permitan acelerar el aprovechamiento de los residuos orgánicos en la agricultura. Dentro de estas estrategias complementarias destaca el uso de larvas de insectos como la mosca soldado negra (MSN), las cuales se alimentan de estos residuos orgánicos, ya que se pueden considerar unas devoradoras natas que se alimentan de casi cualquier cosa. Al comerse los residuos, generan dos productos.

El primer producto son ellas mismas, es decir, su biomasa larval, y el segundo es un subproducto sólido conocido como frass. Este material está compuesto por el excremento de las propias larvas, que contiene nutrientes ya predigeridos, restos de alimento no consumido y fragmentos de sus propios exoesqueletos, es decir, la “piel” que van mudando. El frass ha demostrado un gran potencial en la agricultura, gracias a su contenido de nutrientes y compuestos orgánicos que favorecen el crecimiento de las plantas y estimulan sus defensas naturales (Jasso *et al.*, 2023; do Casal de Paula *et al.*, 2025).

Con esta información, desde una perspectiva de divulgación científica, este artículo explora el potencial del frass generado por larvas de MSN como alternativa

para el aprovechamiento de los residuos orgánicos en la agricultura. Asimismo, se discute la importancia de los procesos de estabilización para asegurar su uso seguro y responsable, y el uso emergente de la digestión anaeróbica para el tratamiento del frass como sustituto parcial de sustratos agrícolas.

El frass utilizado como fuente de nutrientes para las plantas

Como se ha mencionado, el frass aporta nutrientes esenciales a la planta y puede aportar estructura al suelo, razones por las cuales se posiciona como un candidato para su uso como enmienda orgánica y sustituto parcial de sustratos agrícolas (Jasso *et al.*, 2023). No obstante, la aplicación directa del frass puede presentar ciertas limitaciones, ya que si se usa en estado fresco (tras el proceso de transformación de residuos a frass realizado por las larvas) se considera que es un frass inestable que puede causar problemas de toxicidad en la planta, provocando quemaduras, detención del crecimiento o hasta su muerte; asimismo, puede causar desequilibrios nutricionales o riesgos sanitarios por la presencia de microorganismos que hayan estado presentes en los residuos orgánicos utilizados para alimentar a las larvas, enfermándolas y afectando al suelo (Kenchanna *et al.*, 2024).

Sin embargo, para garantizar un uso seguro de este material, tanto para la planta y el suelo como para el consumidor, es necesario someterlo a procesos adicionales que permitan reducir su inestabilidad biológica y mejorar su seguridad

para el uso agrícola. Los procesos –como el compostaje, vermicompostaje y digestión anaeróbica– que ayudan a transformar los residuos orgánicos para convertirlos en enmiendas orgánicas también desempeñan un papel clave en la estabilización del frass. Por un lado, aceleran la descomposición de la materia orgánica y la convierten en materiales útiles para el crecimiento de las plantas; por otro lado, reducen la toxicidad potencial y la carga microbiana, favoreciendo el desarrollo de propiedades que mejoran la estabilidad del frass (Jasso *et al.*, 2023; Kenchanna *et al.*, 2024).

Es así que el frass de MSN posee un potencial agronómico relevante, pero su uso agrícola no debe ser automático. La aplicación de procesos de estabilización resulta clave para minimizar riesgos y asegurar que su aplicación contribuya de manera segura a sistemas agrícolas más sostenibles, incluyendo el aprovechamiento de alternativas emergentes como la digestión anaeróbica.

¿Cómo funciona el compostaje en la estabilización del frass?

El compostaje es un proceso biológico en el que los residuos orgánicos se descomponen en presencia de oxígeno a través del trabajo conjunto de microorganismos. De este proceso se genera un producto rico en nutrientes que ayuda en la estructura del suelo; a este producto se le conoce como compost (Amaya-Gómez *et al.*, 2024; Lim *et al.*, 2016). Este proceso no solo reduce el

volumen del residuo original, sino que también transforma compuestos que son degradados fácilmente en formas más simples y seguras para su uso agrícola.

Para que el compostaje pueda realizarse correctamente, es necesario mantener ciertas condiciones básicas como una adecuada temperatura, pH, humedad y aireación (Lim *et al.*, 2016). A medida que los microorganismos trabajan deshaciendo los residuos, la temperatura del material aumenta de forma natural. Este aumento de temperatura es una señal de que el proceso está avanzando y, al mismo tiempo, ayuda en la reducción de microorganismos que son potencialmente peligrosos tanto para las plantas como para el consumidor (Amaya-Gómez *et al.*, 2024).

De igual forma, es importante saber que el compostaje tiene tres fases que explican cómo se logra la estabilización del material. En una primera fase, la fase mesófila, la materia orgánica, que está a temperatura ambiente, comienza a degradarse por acción de microorganismos presentes en los residuos, situación por la cual la temperatura comienza a subir hasta llegar a los 50 °C. A partir de este punto, el proceso entra en la fase termófila, donde otros microorganismos que necesitan altas temperaturas entran en acción; en esta fase las temperaturas van desde los 50 °C hasta los 70 °C.

En la fase termófila, la mayor parte de los residuos orgánicos se deshacen en compuestos más simples, además de ayudar a la eliminación de los patógenos debido a las altas temperaturas que se mantienen durante varios días. Finalmente, cuando la temperatura comienza a disminuir y los compuestos ya están en sus

formas más simples, comienza la fase de maduración, donde la materia orgánica ya degradada comienza a estabilizarse a la vez que las temperaturas disminuyen y adquiere características más adecuadas para su uso en la agricultura (Lim *et al.*, 2016).

En este contexto, el compostaje ha sido el método de estabilización más ampliamente estudiado y utilizado para el tratamiento y estabilización del frass de la MSN. Y es que, al ser un material rico en nutrientes y biológicamente activo, al incorporarlo en pilas de compostaje se tienen las bases para iniciar el proceso. El compostaje permite reducir la inestabilidad biológica del frass y disminuir posibles efectos de toxicidad en las plantas, ya que durante el proceso se degradan compuestos como el amoníaco y se favorece la estabilización de la materia orgánica (Kenchanna *et al.*, 2024; Jasso *et al.*, 2023). Asimismo, este proceso ayuda a reducir microorganismos dañinos gracias a la fase termófila.

Diversos estudios han explorado cómo integrar el frass en pilas de compostaje mediante su mezcla con otros residuos orgánicos. Por ejemplo, Kenchanna *et al.* (2024) experimentaron al mezclar proporciones entre 25 y 30 % de frass junto con otros residuos orgánicos como el estiércol de ganado para formar una pila de compostaje. Durante aproximadamente cinco meses, estas pilas fueron sometidas a volteos semanales para distribuir el oxígeno en la pila y a una humedad controlada entre 40 y 60 % para favorecer la actividad microbiana necesaria para la transformación de los residuos. Los autores reportaron que esas proporciones de frass dieron lugar a un compost seguro con características favorables en su calidad.

De manera similar, Jasso *et al.* (2023) analizaron el efecto de incorporar frass sometido previamente a un tratamiento térmico a 70 °C durante una hora como una medida de seguridad contra patógenos. Este material se añadió a las pilas de compostaje en distintas proporciones (18.75 %, 22.87 %, 27.13 % y 31.25 %). Obtuvieron los mejores resultados con la proporción de 31.25 %, ya que obtuvieron aumentos en el contenido de fósforo –un macronutriente perteneciente al NPK y de gran importancia en la nutrición de las plantas– en hasta 1.75 %. Sin embargo, mencionaron que sería necesario realizar más investigaciones para evaluar proporciones más altas de frass en las pilas de compostaje.

Con esta información, se puede concluir que el compostaje permite no solo transformar residuos orgánicos en enmiendas útiles y de calidad para usarlas en la agricultura, sino que también permite estabilizar materiales emergentes como el frass de la MSN. Cuando se maneja adecuadamente, este proceso ayuda a reducir riesgos y a convertir al frass en un recurso seguro para la agricultura. No obstante, hay otros procesos que han surgido para tratar de estabilizar el frass; ejemplo de ellos es el vermicompostaje.

El vermicompostaje vs el frass de la mosca soldado negra

El vermicompostaje es un proceso biológico aeróbico en el que los residuos orgánicos se descomponen gracias al trabajo en equipo de microorganismos y lombrices de tierra como la lombriz roja californiana. A diferencia del compostaje,

este proceso se desarrolla a temperaturas menores a 50 °C y es muy utilizado para la degradación de estiércol de ganado (Lim *et al.*, 2016; Amaya-Gómez *et al.*, 2024). Durante el proceso, las lombrices trituran los residuos orgánicos y, al comérselos, generan un entorno bioquímico favorable para su degradación y para la eliminación de patógenos por la competencia de alimentos (Lim *et al.*, 2016).

Además, al moverse por la pila de manera constante, las lombrices favorecen la aireación del material y estimulan la actividad de los microorganismos, lo que genera una descomposición más homogénea y un producto final más estable y con una estructura más fina, fácil de integrar al suelo (Lim *et al.*, 2016; Amaya-Gómez *et al.*, 2024). El producto resultante, conocido como vermicompost o humus de lombriz, aporta nutrientes, mejora el rendimiento de las plantas y favorece la formación de sustancias húmicas que estimulan su crecimiento.

Asimismo, el vermicompost promueve un entorno favorable para el crecimiento de microorganismos benéficos y compuestos que mejoran la salud del suelo y la tolerancia de las plantas al estrés (Amaya-Gómez *et al.*, 2024). Sin embargo, el éxito del vermicompostaje depende de varios factores como la humedad, el pH, la densidad del material y el tipo de lombriz utilizada para el proceso, ya que estos factores influyen tanto en la velocidad del proceso como en la calidad del producto final (Lim *et al.*, 2016).

En este contexto, aunque el compostaje ha sido el método más documentado para la estabilización del frass de la MSN, su duración prolongada y la necesidad de un manejo cuidadoso (Kenchanna *et al.*, 2025; Jasso *et al.*, 2024) han motivado

la exploración del vermicompostaje como una alternativa complementaria (do Casal de Paula *et al.*, 2025). De manera reciente, se ha comenzado a evaluar la mezcla de frass con estiércol de ganado para su tratamiento mediante lombrices de tierra, aunque esta línea de investigación aún está en trabajo (do Casal de Paula *et al.*, 2025).

Ejemplo de estas investigaciones es el trabajo de do Casal de Paula *et al.* (2025), quienes evaluaron la incorporación gradual de frass en proporciones que variaron del 25 % al 100 % con estiércol vacuno y sometido al vermicompostaje durante 90 días. Los resultados mostraron que mezclas con una adición de frass entre el 25 y el 75 % generaron un material con propiedades benéficas en las plantas, además de un aporte adecuado de nutrientes como nitrógeno, fósforo y potasio, lo que sugiere que el vermicompostaje puede ser una vía prometedora para la estabilización del frass cuando se maneja de forma adecuada.

Más recientemente, la digestión anaeróbica ha comenzado a explorarse como una alternativa para el tratamiento del frass. Aunque este proceso se ha utilizado principalmente en el contexto de la producción de biogás (Dong *et al.*, 2024), vale la pena conocerlo y explorarlo para la estabilización del frass de la MSN.

Digestión anaeróbica en el tratamiento del frass

En la digestión anaeróbica trabaja en conjunto una comunidad diversa de microorganismos para descomponer sustancias orgánicas complejas en ausencia

de oxígeno (Martín-Sanz *et al.*, 2025). A diferencia del compostaje y el vermicompostaje, la digestión anaeróbica trabaja en ausencia de oxígeno, en sistemas sellados conocidos como digestores, que solo permiten la salida de gases (Meegoda *et al.*, 2018). La descomposición de los residuos orgánicos ocurre a través de una serie de etapas que pueden estar ocurriendo simultáneamente en el interior del digestor.

Estas etapas incluyen la hidrólisis, la acidogénesis, la acetogénesis y la metanogénesis. Cada una de estas fases cumple una función específica en la conversión de los residuos orgánicos. De esta forma, gracias a la hidrólisis, los carbohidratos, proteínas y lípidos presentes en los residuos orgánicos se descomponen en moléculas más simples como azúcares y aminoácidos; después entra en juego la acidogénesis, donde los productos de la fase anterior se convierten en ácidos grasos volátiles, compuestos que en la acetogénesis producen acetato e hidrógeno, hasta llegar a la metanogénesis, donde se convierten en metano y dióxido de carbono (Meegoda *et al.*, 2018; Dong *et al.*, 2024).

El producto estrella de este proceso es el biogás –conformado principalmente por una mezcla de metano y dióxido de carbono. Este biogás se puede quemar para generar electricidad y calor (Martín-Sanz *et al.*, 2025). El material que queda al final del proceso se llama digestato, que es la parte sólida compuesta por los residuos degradados en la digestión anaeróbica. Este digestato es rico en materia orgánica y nutrientes esenciales como nitrógeno, fósforo y potasio –que se encuentran

principalmente en la parte líquida de este (Asp y Bergstrand, 2024)—, haciéndolo muy valioso en la agricultura (Martín-Sanz *et al.*, 2025; Asp y Bergstrand, 2024).

Así, la digestión anaeróbica se puede ver como un proceso de doble propósito en el tratamiento de los residuos orgánicos, ya que produce un gas que se puede usar como biocombustible y un digestato con aplicaciones potenciales en la agricultura. Estos digestatos pueden ser utilizados en sistemas sin suelo y en sustratos agrícolas, ayudando a acelerar la descomposición de la materia orgánica, liberar gradualmente los nutrientes y mejorar su madurez (Martín-Sanz *et al.*, 2025; Asp y Bergstrand, 2024).

Entre los estudios que han evaluado el uso de digestatos como sustrato se puede mencionar el trabajo de Asp y Bergstrand (2024), quienes probaron un digestato de residuos vegetales como sustituto parcial de un sustrato (turba), sin añadir fertilización extra. Encontraron que una mezcla con 50 % de digestato ofrecía los mejores resultados en el cultivo de tomate. Apuntan a que esto sucedió gracias a la alta disponibilidad de macronutrientes esenciales para las plantas. Esto sugiere que el digestato puede sustituir parcialmente el uso de turba, especialmente en cultivos de ciclo corto. Sin embargo, en cultivos con ciclos largos necesitaría fertilizantes adicionales.

En el caso del frass y de las propias larvas de la mosca soldado negra, la digestión anaeróbica comienza a generar interés. Se ha reportado que las larvas de la MSN, debido a su capacidad de alimentarse de diversos residuos, pueden contribuir incluso en la eliminación de lodos residuales. Sin embargo, el uso

específico del frass como materia prima en la digestión anaeróbica aún es limitado y se ha estudiado principalmente desde la perspectiva de la producción de biogás. Ejemplo de esto es el trabajo de Dong *et al.* (2024), quienes evaluaron el frass de MSN como único sustrato en una digestión anaeróbica durante 30 días en condiciones mesófilas, además de utilizarlo en mezcla con paja de maíz. Sus resultados indicaron que el frass de MSN es una materia prima adecuada para este proceso, lo que demuestra que puede ser degradado eficazmente en un sistema anaeróbico. Si se considera que el digestato es el subproducto natural de la digestión anaeróbica y que este material suele conservar una fracción importante de nutrientes minerales, es razonable plantear que el digestato derivado del frass podría tener potencial para su uso agrícola.

En otras palabras, si el frass es apto para ser sometido a una digestión anaeróbica y el proceso genera un material estabilizado rico en nutrientes, entonces el digestato resultante podría emplearse como sustituto parcial de sustratos agrícolas, siempre que su manejo se haga de una manera adecuada. Así, la digestión anaeróbica no solo abre la posibilidad de valorizar el frass como una fuente de energía renovable mediante la producción de biogás, sino también de transformarlo en un material con potencial agronómico, integrando así el aprovechamiento energético y agrícola en un mismo sistema.

Además, si se considera que el biogás producido en estos procesos puede utilizarse como fuente de energía en invernaderos (Asp y Bergstrand, 2024), el uso del frass como materia prima en la digestión anaeróbica permitiría cerrar el ciclo: los

residuos orgánicos alimentan a las larvas, el frass genera un biogás que aporta energía a los invernaderos y, además, produce un digestato que puede utilizarse como sustituto parcial de sustratos y fuente de nutrientes para las plantas.

Referencias

Amaya-Gómez C, Flórez-Martínez DH, Cayuela M and Tortosa G (2024). Compost and Vermicompost improve biological nitrogen fixation, physiology and yield of the rhizobium-legume symbiosis: a systematic review. *Applied Soil Ecology* 210:106051. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2025.106051>.

Asp H and Bergstrand KJ (2024). Nutrient utilization and growth of tomato crops fertilized with anaerobic digestate. *Scientia Horticulturae* 329:112986. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2024.112986>.

Do Casal de Paula F, Silva de Mendonça Costa MS, de Lima JC and dos Santos LT (2025). Stabilization of black soldier fly larval frass through vermicomposting with cattle manure: agricultural and chemical assessment. *Cleaner Waste Systems* 12:100415. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.clwas.2025.100415>.

Dong X, Dong A, Liu J et al. (2024). Impact of iron oxide on anaerobic digestion of frass in biogas and methanogenic archaeal communities' analysis. *Biology* 13:536. DOI: <https://doi.org/10.3390/biology13070536>.

Jasso B, Quinchia L, Waliczek TM and Drewery ML (2023). Black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) frass and sheddings as a compost ingredient. *Frontiers in Sustainable Food Systems* 7:1297858. DOI: <https://doi.org/10.3389/fsufs.2023.1297858>.

Kenchanna D, Waliczek TM and Drewery ML (2024). Evaluating black soldier fly (*Hermetia illucens*) frass and larval sheddings in the production of a quality compost. *Fermentation* 10:613. DOI: <https://doi.org/10.3390/fermentation10120613>.

Lim SL, Lee LH and Wu TY (2016). Sustainability of using composting and vermicomposting technologies for organic solid waste biotransformation: recent overview, greenhouse gases emissions and economic analysis. *Journal of Cleaner Production* 112:262-278. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.083>.

Martín-Sanz GC, Revuelta-Aramburu M, Santos-Montes AM and Morales-Polo C (2025). A Review on Anaerobic Digestate as a Biofertilizer: Characteristics, Production, and Environmental Impacts from a Life Cycle Assessment Perspective. *Applied Sciences* 15:58635. DOI: <https://doi.org/10.3390/app15158635>.

Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente (2024). Informe sobre el desperdicio de alimentos 2024. Nairobi. Recuperado de https://wedocs.unep.org/bitstream/handle/20.500.11822/45230/food_waste_index_report_2024_SP.pdf.

Manuscrito aceptado