



DEL VERTEDERO AL CAMPO: BIOTRANSFORMACIÓN DE RESIDUOS

Luz Andrea Gutiérrez Ramírez, Sergio Iván Martínez Guido, Claudia Gutiérrez Antonio, Valeria
Caltzontzin Rabell *

Facultad de Ingeniería, Universidad Autónoma de Querétaro, Campus Amazcala, Carretera a
Chichimequillas s/n km. 1, Amazcala, El Marqués, Querétaro, 76265, México.

valeria.caltzontzinrabell@gmail.com

Resumen

En 2020, México generó más de 300,000 toneladas de residuos ricos en nutrientes de la producción agrícola sin recibir tratamiento adecuado, siendo llevados a vertederos con graves consecuencias ambientales y de salud. Por ello, se han intensificado los esfuerzos para desarrollar tratamientos alineados con la economía circular, destacando los tratamientos biológicos que favorecen el reciclaje de nutrientes, lo cual resulta esencial para la sostenibilidad. Entre estos residuos agrícolas se encuentran el frass y el residuo de la poda de fresa. El cultivo de larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*) ha ganado popularidad por su alta eficiencia de conversión, pero su subproducto, el frass, propuesto como fuente de nutrición vegetal, muestra resultados contradictorios y signos de inestabilidad y pérdida de nitrógeno. Por otro lado, el residuo de poda de fresa es generado en cantidades significativas en el bajío mexicano, con un alto aporte de fósforo que puede ser reinsertado en la cadena de suministro; además, al ser constituido principalmente de lignocelulosa, se perfila como un agente aglutinante. La vermicomposta es un tratamiento biológico que, con lombrices de tierra y microorganismos, convierte sustratos orgánicos en compostas ricas en nutrientes, mejorando su estabilidad y la fijación de nutrientes según la proporción de C/N de los residuos. Así, este trabajo revisa, de manera crítica, estudios de los últimos 15 años sobre la estabilización de residuos con lombrices, el potencial del frass como fertilizante y la problemática de los fertilizantes químicos. Se propone someter mezclas de frass y poda de fresa a vermicomposta para reintegrarlo como un fertilizante natural en la agricultura, buscando así una gestión más responsable y sostenible de los recursos agrícolas.

Palabras clave: fertilizante natural; vermicomposta; lombrices; frass; residuos; poda de fresa.



FROM LANDFILL TO FIELD: BIOTRANSFORMATION OF AGRICULTURAL WASTE INTO SUSTAINABLE FERTILIZER

Abstract

In 2020, Mexico generated more than 300,000 tons of nutrient-rich waste from agricultural production without adequate treatment, being taken to landfills with serious environmental and health consequences. Therefore, efforts have intensified to develop treatments aligned with the circular economy, highlighting biological treatments that favor the recycling of nutrients, which is essential for sustainability. Among these agricultural residues are frass and strawberry pruning residue. Soldier fly larvae culture (*Hermetia illucens*) has gained popularity for its high conversion efficiency but its by-product, frass, proposed as a source of plant nutrition, shows contradictory results and signs of instability and nitrogen loss. On the other hand, strawberry pruning residue is generated in significant quantities in the Mexican lowlands, with a high phosphorus contribution that can be reinserted in the supply chain; in addition, since it is mainly made up of lignocellulose, it can be used as a binding agent. Vermicomposting is a biological treatment that, with earthworms and microorganisms, converts organic substrates into nutrient-rich composts, improving their stability and nutrient fixation according to the C/N ratio of the residues. This work reviewed studies on waste stabilization with earthworms, the potential of frass as a fertilizer and the problem of chemical fertilizers. It is proposed to submit mixtures of frass and strawberry pruning to vermicompost to reintegrate it as a natural fertilizer in agriculture, thus seeking a more responsible and sustainable management of agricultural resources.

Keywords: natural fertilizer; vermicompost; earthworms; frass; residues; strawberry pruning.



1. Introducción

De acuerdo con datos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAOSTAT, 2020), en el año 2020, en México, se cultivaron principalmente avena, cebada, centeno, frijoles, soja, maíz, papas, sorgo, mijo y trigo; los residuos derivados de estos cultivos representaron un total de 395,667.7 toneladas de nutrientes (nitrógeno). De la cuales, según la SEMARNAT (2017), sólo se aprovechó un 9.63%.

Como describen Carrillo-Nieves *et al.* (2019), los residuos agroindustriales están constituidos por lignocelulosa, una biomacromolécula constituida por celulosa y hemicelulosa que están interconectadas por lignina y otros compuestos como proteínas, cenizas, ácidos orgánicos y materiales no estructurales. Particularmente, la celulosa es el principal componente de la pared celular de las plantas, conformada de celobiosa, un dímero de unidades de glucosa. Similarmente, las hemicelulosas son polisacáridos heterogéneos compuestos por azúcares de cinco carbonos, tales como xilosas y arabinosas, así como azúcares de seis carbonos, como glucosa, manosa y galactosa; además, también se encuentran los

ácidos glucurónico, galacturónico y metil glucurónico. Finalmente, la lignina es un polímero fenólico que no contiene carbohidratos, ésta provee estructura a las plantas y las protege de ataques por parte de patógenos e insectos. La lignocelulosa contiene hasta un 50% de celulosa y 32% de hemicelulosa.

Por otra parte, se estima que mundialmente se acumulan 60 millones de toneladas por año de biomasa lignocelulósica (Carrillo-Nieves y col., 2019). Tan sólo de la producción global de fresa, en 2016, 8 millones de toneladas fueron producidas, con un valor de producción bruta agrícola de 17,739 millones de dólares (Cubero-Cardoso y col., 2020).

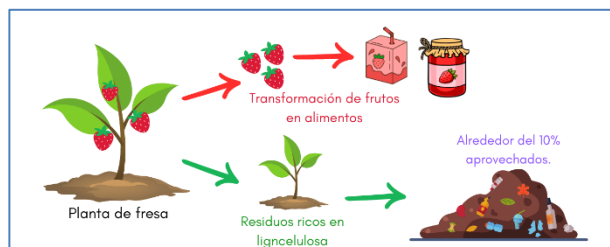


Figura 1. Esquema de la manufactura de la fresa y subproductos generados.

La fresa es valiosa no sólo por su fruto, sus estructuras son sometidas a presión para obtener un concentrado, mientras que el material restante consiste en la fracción fibrosa. Frecuentemente, el residuo del manejo y procesamiento de la fresa es usado como alimento para animales, o bien llevado



a los vertederos en donde impacta negativamente la calidad de suelo, la contaminación atmosférica y los ecosistemas acuáticos (Cubero-Cardoso y col., 2020). (Figura 1).

En la década de los 40's, la región del bajo mexicano se consolidó como la "capital mundial de la fresa" debido a que la producción de fresa llegó a consolidarse como la segunda más grande del mundo (León et al., 2014). En la actualidad, tanto Guanajuato como Michoacán destacan por el cultivo de dicha planta. El municipio de Zamora, Mich., es responsable del 72% de la frutilla que se exporta al mercado de los Estados Unidos; no obstante, el relleno sanitario de este municipio se encuentra saturado, de manera que el gobierno municipal dio inicio a la construcción de un nuevo relleno sanitario, requiriendo una inversión de 20,000,000 pesos en un espacio de 47,000 metros cuadrados (Barrera Valdivia et al., 2022).

Los vertederos son una forma habitual de disposición final de residuo; esta práctica consiste en enterrarlos en terrenos designados para ello. Sin embargo, la descomposición de los residuos puede liberar a la atmósfera gases nocivos, como metano (CH₄), dióxido de

carbono (CO₂) y compuestos orgánicos volátiles (VOC's), que contribuyen al cambio climático y a la contaminación atmosférica (Figura 2). Además, los vertederos pueden contaminar el suelo y las aguas subterráneas con sustancias tóxicas, como metales pesados y otros productos químicos, lo que supone un riesgo para la fauna y la salud pública. Los estudios han demostrado que vivir cerca de vertederos puede aumentar el riesgo de padecer diversos problemas de salud, como asma, diarrea, dolor de estómago, gripe recurrente, cólera, paludismo, tos, irritación cutánea, tuberculosis y cáncer (Njoku *et al.*, 2019; Yu *et al.*, 2018).



Figura 2. Problemática del manejo inadecuado de residuos.

A pesar de que el desecho de los residuos al aire libre y el uso de rellenos sanitarios son las prácticas más comunes para la disposición final de residuos sólidos, existen otras estrategias entre las que destacan pirólisis, gasificación, digestión anaeróbica y metanogénesis (Sharma & Garg, 2019). Al mismo tiempo, con el aumento en las



prácticas de agricultura intensiva, los suelos son cada vez más vulnerables, sufren una mayor extracción y un acelerado recambio de carbono. Como consecuencia, los suelos disminuyen su capacidad de retener nutrientes y agua, así como su resistencia a la erosión, dejando en evidencia la necesidad de reabastecer de carbono y nutrientes vegetales

2. Metodología.

Para la realización del presente trabajo, se hizo una búsqueda en la bibliografía. Se buscaron las palabras clave "*earthworm*", "*frass*", "*chemical fertilizer*", "*biological treatment*" en los buscadores Science Direct®, Springer® y Wiley® dentro de títulos, resúmenes y palabras clave. El periodo de tiempo incluyó los años comprendidos entre 2009 y 2023. Los títulos y resúmenes se examinaron para identificar aquellos que contenían información relevante sobre las secciones que se abordaron en la presente revisión.

El artículo aborda las secciones de: Tratamiento biológico de residuos (vermicomposteo) en el cual se menciona qué es, cuáles son sus ventajas y qué características que debe cumplir una

los suelos (Lohri *et al.*, 2017). En este sentido, se requiere la búsqueda de estrategias que permitan el tratamiento de residuos y que sean menos contaminantes que las propuestas actuales. Los tratamientos biológicos pueden ser una alternativa que no sólo degrada residuos, sino que los bioconvierte a un posible fertilizante natural.

composta terminada; Residuo de la cría (frass) de larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*) (FLMS) y su uso como fertilizante, en la cual se detalla qué es y cómo se ha utilizado como fertilizante; Problemática de los fertilizantes orgánicos, en el que se desarrolla por qué es importante la recuperación de nutrientes así como las alternativas a ello; en la sección de Perspectivas se evalúa la posibilidad de estabilizar el frass con lombrices; finalmente, en la sección de Conclusiones se resumen las ideas propuestas así como los hallazgos realizados en la literatura.

3. Tratamiento biológico de residuos (vermicomposteo).

Las tecnologías de manejo de residuos se refieren a procesos que convierten los desechos de origen biológico en productos de valor. Para los biorresiduos sólidos existen 4 categorías de tratamiento: uso directo,



tratamiento biológico, tratamiento fisicoquímico y tratamiento termoquímico (Lohri *et al.*, 2017). Dentro de los tratamientos biológicos se encuentra la vermicomposta, una tecnología de reciclaje de residuos enfocada en manejar un amplio rango de desechos orgánicos para diversas aplicaciones (A. Singh & Singh, 2017).

El tratamiento biológico de los residuos utiliza organismos vivos como bacterias, microalgas, lombrices e insectos para acelerar la descomposición de residuos orgánicos. Estos procesos utilizan menos energía y se puede recuperar a partir de ellos el carbono o nitrógeno de diversas formas (Liew *et al.*, 2022), ya sea como biocombustibles o nuevas biomásas con moléculas de valor agregado.

Existen diversos tratamientos biológicos que contribuyen a la degradación controlada de residuos para la obtención de fertilizantes. La digestión anaerobia, fermentación aeróbica y composta son algunos ejemplos. En particular, la vermicomposta es un proceso natural de descomposición, mesofílico, bio-oxidativo, en el que lombrices de tierra hacen sinergia con microorganismos para mineralizar sustratos orgánicos y convertirlos en composta rica en nutrientes que se utiliza

como fertilizante en la agricultura orgánica (Figura 3) (Sharma & Garg, 2019).

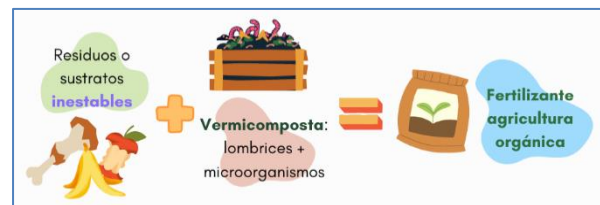


Figura 3. Proceso de vermicomposteo

Las lombrices actúan de manera directa sobre la composta al ingerir y moverse por el sustrato, degradando la materia orgánica dentro de su aparato digestivo. El intestino de las lombrices actúa como biorreactor; las proteasas, lipasas, celulasas, quitinasas y amilasas presentes degradan una amplia gama de sustratos (Sharma & Garg, 2019). Al mismo tiempo, de forma indirecta, modifican física, química y biológicamente la composta, ya que su desplazamiento, secreciones, excreciones y la digestión química que llevan a cabo conforman el ambiente de los microorganismos descomponedores dentro de la composta. Su rol es más bien como facilitadoras de la acción microbiana, de manera que la vermicomposta, favorece la estabilización de los sustratos (Chen *et al.*, 2023). Promoviendo la reutilización de los nutrientes presentes en los desechos, estos sirven como un componente integrable en la cadena de suministro de la agroindustria, lo cual contribuye a la implementación de



modelos alineados con los principios de la economía circular.

La Tabla 1 se recupera la revisión realizada por Sharma & Garg (2019), en la que se incluyen únicamente los trabajos que hacen

alusión al tratamiento de desechos provenientes de la agroindustria; de igual manera se especifican los efectos observados que tuvo el proceso de vermicomposta en su composición final y el reciclaje de residuos.

Tabla 1. Recopilación de trabajos de investigación sobre vermicomposta de desechos de la industria agroalimentaria.

Residuos y tipo de lombriz utilizada	Resultados	Referencia
Estiércol de búfalo, oveja, cabra y vaca. <i>Eisenia foetida</i>	<p>La mayor tasa de crecimiento de lombriz ocurrió en los sustratos que contenían desechos de búfalo, la menor en los que contenían desechos de borrego.</p> <p>El Carbono Orgánico Total (COT) y el C/N disminuyó durante el proceso, mientras que los nutrientes totales aumentaron.</p>	Sharma & Garg, 2017
Estiércol porcino y paja de arroz. <i>Eisenia foetida</i>	<p>La vermicomposta resultante tiene mayor pH, fósforo, potasio, zinc y conductividad eléctrica, pero mostró menos nitrógeno y cobre disponibles.</p> <p>Hubo incremento en compuestos aromáticos que indican mayor humificación.</p>	Zhu <i>et al.</i> , 2018
Residuos de cultivo/ arborícola <i>Eudrilus sp.</i>	Los residuos de cultivo mostraron mayor pH, conductividad eléctrica, nitrógeno y fósforo; mientras que las proporciones de C/N y C/P disminuyeron.	Thomas <i>et al.</i> , 2019
Estiércol de caballo, puré de manzana, puré de uva y digestato. <i>Eisenia andrei</i>	<p>La actividad microbiana disminuyó derivado de la disminución en la actividad de las lombrices, indicando un alto grado de estabilidad.</p> <p>El índice de germinación aumentó después de la vermicomposta.</p>	García-Sánchez <i>et al.</i> , 2017
Estiércol de vaca y trigo. <i>Eisenia foetida</i>	Interpretando la actividad de la enzima ureasa como indicador de madurez y estabilidad de la composta, encontraron fuerte correlación entre el tiempo de vermicomposta y la actividad de la enzima, así como entre la ureasa y la C/N.	Sudkolai & Nourbakhsh, 2017
Aserrín, madera de boj, hojas y cartón.	El contenido de fósforo nitrógeno y pH fue mayor en la vermicomposta.	Alidadi <i>et al.</i> , 2016



<i>Eisenia foetida</i>			
Hojarasca, estiércol de caballo y de oveja.	⋮	La vermicomposta obtenida presentó menor pH, carbono orgánico, C/N, C/P, lignina, celulosa, hemicelulosa y fenoles. También presentó mayor contenido de nitrógeno, fósforo y azufre, ácidos húmicos y actividad de la enzima deshidrogenasa	Parthasarathi <i>et al.</i> , 2016
<i>Perionyx excavatus</i>			
Pollinaza en cáscara de coco y purín de cerdo.		La vermicomposta obtenida contenía mayor pH, biomasa microbiana, macronutrientes y micronutrientes con respecto a los materiales iniciales.	Swarnam <i>et al.</i> , 2016
<i>Eudrilus eugeniae</i>			
Estiércol de vaca y pollinaza.		Después de la vermicomposta, el humus mostró menor pH, carbono orgánico total y C/N, pero mayor conductividad eléctrica y ácidos húmicos.	Lv <i>et al.</i> , 2016
<i>Eisenia foetida</i>			
Residuos de poda de tomate y lodos de la industria papelera.		El humus obtenido mostró incremento en ácidos húmicos.	Fernández-Gómez <i>et al.</i> , 2015
<i>Eisenia foetida</i>			

En México, la norma (NMX-AA-180-SCFI-2018) “establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales”; en ella se estipulan las especificaciones que debe cumplir una composta o vermicomposta terminadas, las cuales se muestran en la Tabla 2.

Tabla 1. Características que debe cumplir una composta terminada. Tabla recuperada de la NMX-AA-180-SCFI-2018.

Característica	Valor
Humedad	De 20 a 45% en peso
pH	De 6.7 a 8.5
Conductividad eléctrica	0.5 dS m ⁻¹ – 12 dS m ⁻¹
Materia orgánica	≥ 20% (base seca)
Carbono orgánico total	Mínimo 10%
Nitrógeno total	De 1 a 3% (base seca)
Relación C/N	15 - 25



Característica	Valor
Granulometría	≤ 30 mm
Fitotoxicidad (índice de germinación, IG)	$IG \geq 80\%$
Temperatura	25°C – 50°C
Color	Marrón o pardo oscuro. Similar al café o chocolate oscuro.
Olor	Agradable a tierra húmeda de bosque (monte) Quedan excluidos: amoniacal, pudrición, H ₂ S (huevo podrido), ácidos grasos volátiles (vómito) y excremento.
Adsorción de humedad	75% - 200 %, Preferencial $\geq 100\%$

De acuerdo con esta normativa, si alguno de los macronutrientes primarios (nitrógeno, fósforo y potasio) excede el 3 % en peso, o si la suma de los porcentajes individuales es mayor al 7 % en peso, es necesario incluir una leyenda que indique que es un fertilizante natural. De acuerdo a lo anterior, cualquier vermicomposta propuesta que esté compuesta por residuos agrícolas deberá contener al menos las características reportadas en la Tabla 2 así como los porcentajes ya mencionados. Las mezclas propuestas de poda fresa así como frass deberán cumplir entonces con lo anterior si se busca su integración a la cadena.

4. Residuo de la cría (frass) de larva de mosca soldado (*Hermetia illucens*) (FLMS) y su uso como fertilizante.

Por otra parte, recientemente, las larvas de la mosca soldado han adquirido una gran popularidad en el reciclaje de nutrientes (Poveda, 2021); esto debido a su alta capacidad para transformar una amplia gama de residuos agroindustriales en compuestos de interés comercial. Las larvas de la mosca soldado no sólo se proponen como fuente de insumos para las industrias agropecuaria, cosmética y energética, sino que se han posicionado como una alternativa muy atractiva para el manejo de desechos (Ravi *et al.*, 2020). Se estima que, si se le proporcionan 1,000 kg de sustrato constituido por residuos de frutas y desechos vegetales es posible producir 125 kg de larvas mosca soldado y, no menos importante, 250 kg de FLMS en un plazo de entre 14 y 21 días (Ravi *et al.*, 2020). El frass de larvas de mosca soldado consiste en una mezcla de materiales que incluyen el sustrato que no alcanzó a ser procesado por la larva de la mosca, la microbiota que intervino en la degradación de los residuos y los derivados de la mosca: exuvia y heces fecales (Schmitt & de Vries, 2020). La cantidad de FLMS obtenido es variable y depende del sustrato, la densidad



poblacional, entre otros. Sin embargo, de acuerdo con Gärttling *et al.* (2020), el FLMS es el residuo más abundante en las granjas de cría de insectos, el cual se obtiene una vez que son separadas las larvas de manera manual con tamices (Figura 4).



Figura 4. Tratamiento de residuos con insectos y biomásas generadas.

La constitución del FLMS es sumamente variable, ya que depende directamente de la alimentación de la mosca soldado. Sin embargo, se ha visto que contiene micronutrientes como fósforo, potasio, magnesio, sodio, calcio, azufre, manganeso, cobre, entre otros; además de un alto porcentaje de materia orgánica y un porcentaje atractivo de nitrógeno total (Gärttling & Schulz, 2021).

Debido a su contenido nutrimental, diversos autores han propuesto emplear el FLMS como fertilizante para la producción agrícola. Teniendo como objeto experimental el repollo *Brassica pekinensis*, Choi *et al.* (2009) llevaron a cabo un experimento en el que encontraron que ni la composición química, ni la tasa de crecimiento fueron influenciadas por el uso de FLMS. Los autores concluyeron que el FLMS es un sustituto ideal para el fertilizante comercial, e incluso mencionan que puede ser aplicado inmediatamente en los campos productivos. Además, señalan como diferencias entre los fertilizantes puestos a prueba, que el FLMS mostró una conductividad eléctrica ligeramente más elevada, asociada a una alta cantidad de sodio (Na).

En 2016, residuos de cocina fueron sometidos a tres tratamientos distintos: composta tradicional, fermentación aeróbica y transformación por la mosca soldado. Los productos de dichos tratamientos fueron probados como fertilizantes orgánicos en el cultivo de maíz (*Zea mays*). Los resultados del experimento apuntan a que la fermentación aeróbica proporcionó un fertilizante muy favorecedor para el desarrollo de las plantas; por otra parte, el FLMS fue calificado como fitotóxico, ya que



las plantas crecieron 39 % menos y tuvieron un menor número de hojas (Alattar *et al.*, 2016). Los autores discuten la relevancia de dar un tratamiento posterior al FLMS, como puede ser deshidratación, para que pueda ser usado sin efectos perjudiciales. Ha sido indagado el origen de la toxicidad observada; sin embargo, no se obtienen resultados concluyentes ya que, si bien sospechan del amonio presente en el FLMS, pareciera que no es tan elevado como en otros agro insumos. En 2020, nuevamente poniendo a prueba el FLMS en el cultivo de maíz, los resultados mostraron que las características nutricionales de fertilizantes derivados de insectos no fueron equiparables con los de otros fertilizantes orgánicos (Gärtling *et al.*, 2020). El FLMS tuvo el peor desempeño, puntualmente en el aporte de nitrógeno. A propósito del contenido de nitrógeno se ahonda en el secado como pretratamiento, los autores apuntan a que se pudo haber promovido la volatilización del nitrógeno, por encima de su mineralización.

De igual forma en 2020, se puso a prueba la fertilización con FLMS ahora en un cultivo de nabo (*Brassica rapa*), siendo la mosca alimentada con residuos orgánicos domésticos. Los resultados fueron claramente dependientes de la proporción en la que el

FLMS fue incluido. Si bien en bajas proporciones la germinación no se vio inhibida por el FLMS y se observó mayor biomasa a 21 días posteriores a la germinación, está claro que en mayores proporciones el FLMS puede ser perjudicial ya que la germinación se vio inhibida (Kawasaki *et al.*, 2020). Además, los autores observaron que el FLMS presentó mayor contenido de nitrógeno amoniacal que de nitratos, y externaron su preocupación respecto a microbiota con potencial fitopatógeno.

El FLMS también fue puesto a prueba en chile, cebollines, maíz y caupí (*Capsicum annuum*, *Allium cepa*, *Zea mays* y *Vigna unguiculata*) (Quilliam *et al.*, 2020). Los investigadores encontraron que, combinando el FLMS de larva de mosca soldado con fertilizantes minerales de NPK, el desempeño era equivalente al de la fertilización con pollinaza. Incluso encontraron mejores rendimientos al usar FLMS; sin embargo, ello dependía del sustrato con el que se alimentara a la mosca soldado.

En 2021, FLMS producido a partir de pulpa de soya fue puesto a prueba en la producción de lechuga (*Latuca sativa*) (Chiam *et al.*, 2021). Se encontró que los nutrientes



presentes en el FLMS fueron suficientes para mantener el crecimiento de la lechuga, ya que no fue requerida fertilización adicional sino hasta después de pasado el primer ciclo. Nuevamente, se mostró evidencia que apunta a que la proporción en la que el FLMS es empleado puede determinar si es o no perjudicial para la producción. En esta investigación no se encontraron patógenos que pudieran cuestionar su uso en la agricultura.

Mostrando resultados contrastantes, al fertilizar con FLMS al Zacate italiano (*Lolium multifloru*), los investigadores encontraron un aumento sostenido en la producción de zacate, proporcional al aumento en la fracción de FLMS incorporado al sustrato (Menino *et al.*, 2021). Además, observaron aumento en materia orgánica y en compuestos de fósforo y potasio en el suelo, lo que resalta el rol que puede tener el FLMS, no sólo como fertilizante, sino como remediador. Para dicho experimento, el FLMS empleado provenía de la degradación de residuos vegetales de la agroindustria (papa y cebolla).

También, en 2021, se usó FLMS alimentada con desperdicios de comida y con pulpa de soya, se propuso un experimento para

favorecer el cultivo de hortalizas de hoja trasplantadas en un sustrato de biocarbón (Tan *et al.*, 2021). En este experimento también fue puesta a prueba la presentación en la que el FLMS se incorporaba al cultivo, ya fuera como composta, como fertilizante o como té de FLMS administrado vía riego. En el caso del cultivo de pak choi (*Brassica rapa*), la aplicación de FLMS proveniente de los desperdicios de comida, en una mezcla 10:90 con biocarbón y suplementado con fertilizantes inorgánicos, tuvo rendimientos similares a los del control (turba, composta y fertilizante inorgánico). Cabe resaltar que los rendimientos decrecieron al aumentar la proporción de FLMS. De acuerdo con los autores, esto puede deberse a la salinidad y la baja concentración de oxígeno en el medio. Para el cultivo de lechuga *Lactuca sativa*, los rendimientos no difirieron significativamente entre la aplicación del FLMS como fertilizante versus el fertilizante inorgánico líquido. Los autores proponen la disponibilidad de nutrientes, así como microbiota promotora de crecimiento como los causantes en el potencial fertilizante del FLMS. Los autores concluyen que el FLMS derivado de residuos de comida puede reemplazar parcialmente agro insumos convencionales, como suelos y fertilizantes.



Los resultados obtenidos al emplear el FLMS como fertilizante, tan pronto como la larva termina de alimentarse de los desperdicios, dejan ver que la poca estabilidad afecta negativamente a las plantas. Previamente se ha comentado la idea de usar el FLMS como sustrato en la vermicomposta con el objetivo de acelerar la estabilización de la materia orgánica; sin embargo, no se presenta literatura al respecto hasta hoy en día (Guidini Lopes *et al.*, 2022).

5. Problemática de los fertilizantes orgánicos

La recuperación de recursos a partir de estos residuos es fundamental para la implementación de una economía circular que satisfaga las necesidades medioambientales y económicas (Saravanan *et al.*, 2023). El tratamiento de biorresiduos en un esquema de economía circular aborda la escasez de recursos. Por ejemplo, el agotamiento de las reservas de nutrientes como el fósforo, también puede actuar como fuerza motora para el manejo general de los residuos cuando; por otra parte, el valor económico de los productos derivados de los biorresiduos incentiva el reciclaje de residuos, o las nuevas oportunidades de

ingresos mejoran la sostenibilidad financiera del sistema (Lohri *et al.*, 2017).

Los fertilizantes minerales, también conocidos como fertilizantes químicos, proveen principalmente nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) a los cultivos. En estos fertilizantes, el nitrógeno proviene de la reacción de síntesis Haber-Bosch, los fosfatos provienen de yacimientos minerales, y la potasa es refinada de depósitos de sales solubles de potasio (Gilland, 2014). A pesar de que la incorporación de estos agroquímicos implicaba progreso significativo en la producción de alimentos, otros aspectos de la industria agrícola empezaron a resultar preocupantes.

El nitrógeno (N) presenta una característica particular, ya que es el elemento más abundante en la atmósfera terrestre, donde puede ser encontrado como nitrógeno molecular. Sin embargo, su presencia en la corteza terrestre en compuestos que puedan ser empleados en la agricultura, tales como nitratos, amonio, aminoácidos o proteínas, es limitada. Con la síntesis de estos compuestos en la formulación de fertilizantes, las fuentes antropogénicas incorporan más nitrógeno al sistema que los procesos naturales en su conjunto (fijación biológica del nitrógeno,



tormentas eléctricas, entre otras) (Campbell *et al.*, 2017).

En el año 2009 se propusieron los “límites planetarios” como una forma de establecer umbrales de operación seguros para la humanidad en aquellos sistemas que integran actividades humanas y medio ambiente (Rockström *et al.*, 2009). Entre los umbrales propuestos destaca el que refiere a los flujos biogeoquímicos de fósforo (P) y nitrógeno (N), mismos que se han identificado como sobrepasados. Se estima que la agroindustria contribuye al 90 % del desequilibrio en este límite planetario, ya que del nitrógeno que se sintetiza el 86.1 % está dirigido a la agricultura, mientras que el 96 % de la extracción de fosfatos está dirigida a la producción de fertilizantes (Figura 5) (Campbell *et al.*, 2017).

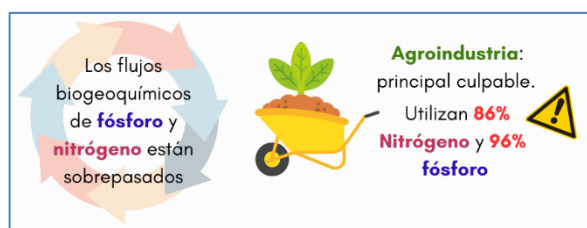


Figura 5. Problemática de los fertilizantes que contienen elementos sintetizados químicamente.

Ante la problemática ambiental derivada del uso excesivo de fertilizantes, se han

propuesto como soluciones reducir el uso de fertilizantes minerales, promover fertilizantes orgánicos en la producción agrícola de mayor escala, así como reciclar diferentes tipos de comida y de desechos de las granjas para producir fertilizantes nutritivos (Yakovleva *et al.*, 2021). Dentro de los insumos populares para hacer fertilizantes orgánicos se encuentran los desechos de la industria agrícola tales como paja de arroz y de trigo, rastrojo de maíz, hojas de leguminosas, además de cáscaras de arroz y de trigo, hierbas, biocarbones, purines y tortas de aceites (Timsina, 2018).

6. Perspectivas.

Derivado de la necesidad de encontrar alternativas a los fertilizantes orgánicos, así como de un manejo adecuado de los residuos de la cría de insectos (frass), se ha propuesto el uso de un tratamiento biológico con lombriz de tierra para su estabilización y bioconversión. Dulaurent *et al.* (2020) investigaron el impacto que la lombriz de tierra *Lumbricus terrestris* tuvo en el desempeño de otro residuo agrícola, el frass de *Tenebrio molitor*, como fertilizante. Este estudio constituye la única referencia encontrada que ahonda en la interacción entre lombrices y frass de insectos. Cabe destacar



que no pusieron a prueba a las lombrices en medios exclusivamente constituidos por frass; de hecho, el experimento se basó en sustratos de mezcla de tierra y frass contra el control conformado por únicamente tierra. Los resultados obtenidos señalan que no hubo diferencia significativa en el número de individuos o la biomasa de lombriz entre ambos tratamientos; sin embargo, reportan una supervivencia de 100% y no sospechan supresión de actividad en las lombrices, lo que indica que el frass no fue tóxico, mucho menos letal, para *Lumbricus terrestris*. Además, se infiere que el frass, de la misma forma que lo hacen otros mejoradores de suelo de origen orgánico, promovió la actividad de las lombrices, lo que resultó en aumento en la mineralización de N en el suelo, así como el reciclaje de P del FLMS. Los autores concluyen que la presencia de lombrices potencia la acción del frass como fertilizante.

La investigación del FLMS como posible insumo agrícola aún no ha tenido resultados conclusivos. Si bien se reconoce que es un material rico en compuestos atractivos para la nutrición vegetal, se ha visto que agregado en grandes cantidades puede inhibir el crecimiento de los cultivos (Rummel *et al.*, 2021). El FLMS obtenido de ocho especies

distintas de insectos mostró de media a alta fitotoxicidad (Beesigamukama *et al.*, 2022). Esto puede deberse a la alta inestabilidad, producto de la alta actividad microbiana que prevalece en el FLMS fresco. Con base en las características de estabilidad y madurez que la vermicomposta ha mostrado en diversos artículos publicados, se puede pensar podría hacer lo mismo con el frass. Entonces, la mezcla de este residuo con poda de fresa, el cual es rico en lignocelulosa y carbono, y su tratamiento biológico con lombrices de tierra no sólo podría conllevar beneficios ambientales, sino que promete ser una técnica de estabilización para eliminar los riesgos al disminuir la actividad microbiana y los compuestos lábiles, bioconvirtiéndolo en un material inocuo y estable que sirva como fertilizante natural (Figura 6).

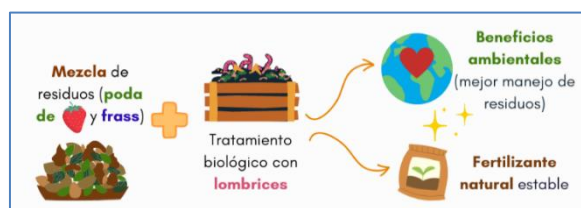


Figura 6. Propuesta para la obtención de un fertilizante natural a partir de residuos agroindustriales.

7. Conclusión.

En conclusión, este trabajo ha abordado diversas investigaciones que exploran la



estabilización de residuos con lombrices, el potencial uso del frass de mosca soldado como fertilizante y los desafíos asociados con los fertilizantes químicos. En respuesta a estas problemáticas, se propone la recirculación de los nutrientes presentes en los residuos de FLMS y poda de fresa a través de un tratamiento biológico mediado por lombrices. El objetivo principal es lograr la estabilidad del producto final y maximizar la utilización de los valiosos nutrientes presentes en estos residuos, con el propósito de reintroducirlos como un fertilizante natural en el sector agrícola. El proyecto propuesto, y que se realiza actualmente por los autores en el Grupo de Procesos Sustentables de Producción de Bioproductos de la Universidad Autónoma de Querétaro, tendrá una duración de aproximadamente un mes, en el cual se evaluarán al inicio y final de la vermicomposta, los nutrientes, pH, conductividad, estabilidad así como biomasa de lombrices que las diferentes mezclas con residuos presenten. Esta propuesta podría representar un paso significativo hacia la gestión responsable de los residuos agrícolas (frass y residuo de poda) de manera que se promueva una economía circular, así como una agricultura sostenible.

8. Referencias:

- Alattar, M., Alattar, F., & Popa, R. (2016). Effects of microaerobic fermentation and black soldier fly larvae food scrap processing residues on the growth of corn plants (*Zea mays*). *Plant Science Today*, 3(1), 57–62.
- Alidadi, H., Najafpoor, A. A., Hosseinzadeh, A., Dolatabadi Takabi, M., Esmaili, H., Zanganeh, J., & Piranloo, F. G. (2016). Waste recycling by vermicomposting: Maturity and quality assessment via dehydrogenase enzyme activity, lignin, water soluble carbon, nitrogen, phosphorous and other indicators. *Journal of Environmental Management*, 182, 134–140.
- Barrera Valdivia, I., Hernández García, G., & Mendoza Méndez, C. E. (2022). Los rellenos sanitarios, una solución paliativa a la problemática de residuos sólidos en Zamora, Michoacán, México. *LATAM Revista Latinoamericana de Ciencias Sociales y Humanidades*, 3(2), 1111–1126.
- Beesigamukama, D., Subramanian, S., & Tanga, C. M. (2022). Nutrient quality and maturity status of FLMS fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports*, 12, 7182.
- Campbell, B. M., Beare, D. J., Bennett, E. M., Hall-Spencer, J. M., Ingram, J. S. I.,



Jaramillo, F., Ortiz, R., Ramankutty, N., Sayer, J. A., & Shindell, D. (2017). Agriculture production as a major driver of the earth system exceeding planetary boundaries. *Ecology and Society*, 22(4), 8.

Carrillo-Nieves, D., Rostro Alanís, M. J., de la Cruz Quiroz, R., Ruiz, H. A., Iqbal, H. M. N., & Parra-Saldívar, R. (2019). Current status and future trends of bioethanol production from agro-industrial wastes in Mexico. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 102(November 2018), 63–74.

Chen, Y., Zhang, Y., Shi, X., Shi, E., Zhao, Y., Zhang, Y., & Xu, L. (2023). The contribution of earthworms to carbon mineralization during vermicomposting of maize stover and cow dung. *Bioresource Technology*, (368), 128283.

Chiam, Z., Lee, J. T. E., Tan, J. K. N., Song, S., Arora, S., Tong, Y. W., & Tan, H. T. W. (2021). Evaluating the potential of okara-derived black soldier fly larval FLMS as a soil amendment. *Journal of Environmental Management*, 286, 112163.

Choi, Y.-C., Choi, J.-Y., Kim, J.-G., Kim, M.-S., Kim, W.-T., Park, K.-H., Bae, S.-W., & Jeong, G.-S. (2009). Potential Usage of Food Waste as a Natural Fertilizer after Digestion

by *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae). *International Journal of Industrial Entomology*, 19, 171-174.

Cubero-Cardoso, J., Serrano, A., Trujillo-Reyes, Á., K. Villa-Gómez, D., Borja, R., & G. Feroso, F. (2021). Chapter 15- Valorization Options of Strawberry Extrudate Agro-Waste. A Review. *In Innovation in the Food Sector Through the Valorization of Food and Agro-Food By-Products*. ISBN 978-1-83880-683-5, 302. IntechOpen.

Dulaurent, A. M., Daoulas, G., Faucon, M. P., & Houben, D. (2020). Earthworms (*Lumbricus terrestris* L.) mediate the fertilizing effect of Frass. *Agronomy*, 10(6), 783.

FAOSTAT. (2024). Emisiones de cultivos. Recuperado el 30 de enero de 2024, de <https://www.fao.org/faostat/en/#data/GA>

Fernández-Gómez, M. J., Nogales, R., Plante, A., Plaza, C., & Fernández, J. M. (2015). Application of a set of complementary techniques to understand how varying the proportion of two wastes affects humic acids produced by vermicomposting. *Waste Management*, 35, 81–88.

García-Sánchez, M., Taušnerová, H., Hanč, A., & Tlustoš, P. (2017). Stabilization of



different starting materials through vermicomposting in a continuous-feeding system: Changes in chemical and biological parameters. *Waste Management*, 62, 33–42.

Gärttling, D., Kirchner, S. M., & Schulz, H. (2020). Assessment of the n- And p-fertilization effect of black soldier fly (diptera: Stratiomyidae) by-products on maize. *Journal of Insect Science*, 20(5), 1–11.

Gärttling, D., & Schulz, H. (2021). Compilation of Black Soldier Fly Frass Analyses. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 22, 937–943.

Gilland, B. (2014). Is a Haber-Bosch World Sustainable? Population, Nutrition, Cereals, Nitrogen and Environment *The Journal Of Social, Political And Economic Studies*, 39 (2), 166-185.

Guidini Lopes, I., Yong, J. W., & Lalander, C. (2022). Frass derived from black soldier fly larvae treatment of biodegradable wastes. A critical review and future perspectives. In *Waste Management*, 142(1), 65–76.

Kawasaki, K., Kawasaki, T., Hirayasu, H., Matsumoto, Y., & Fujitani, Y. (2020). Evaluation of fertilizer value of residues obtained after processing household organic

waste with black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*). *Sustainability*, 12 (12), 4920.

Liew, C.S., Yunus, N.M., Chidi, B.S., Lam, M.K., Goh, P.S., Mohamad, M., Sin, J.C., Lam, S.M., Lim, J.W., Lam, S.S. (2022). A review on recent disposal of hazardous sewage sludge via anaerobic digestion and novel composting. *Journal of Hazardous Materials*, 423, 126995.

León, L. L., Guzmán, O. L. D. A., Garcia, B. J. A., Chávez, M. C. G., & Peña, C. J. J. (2014). Consideraciones para mejorar la competitividad de la región“El Bajío” en la producción nacional de fresa. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 5(4), 673–686.

Lohri, C. R., Diener, S., Zabaleta, I., Mertenat, A., & Zurbrügg, C. (2017). Treatment technologies for urban solid biowaste to create value products: a review with focus on low- and middle-income settings. *Environmental Science and Biotechnology*, 16 (1) 81–130.

Lv, B., Xing, M., & Yang, J. (2016). Speciation and transformation of heavy metals during vermicomposting of animal manure. *Bioresource Technology*, 209, 397–401.



Menino, R., Felizes, F., Castelo-Branco, M. A., Fareleira, P., Moreira, O., Nunes, R., & Murta, D. (2021). Agricultural value of Black Soldier Fly larvae FLMS as organic fertilizer on ryegrass. *Heliyon*, 7(1), e05855.

Njoku, P. O., Edokpayi, J. N., & Odiyo, J. O. (2019). Health and environmental risks of residents living close to a landfill: A case study of thohoyandou landfill, Limpopo province, South Africa. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(12), 2125.

Parthasarathi, K., Balamurugan, M., Prashija, K. V., Jayanthi, L., & Ameer Basha, S. (2016). Potential of *Perionyx excavatus* (Perrier) in lignocellulosic solid waste management and quality vermifertilizer production for soil health. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 5(1), 65–86.

Poveda, J. (2021). Insect frass in the development of sustainable agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 41, 5.

Quilliam, R. S., Nuku-Adeku, C., Maquart, P., Little, D., Newton, R., & Murray, F. (2020). Integrating insect FLMS biofertilisers into sustainable peri-urban agro-food

systems. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(3), 315–322.

Ravi, H. K., Degrou, A., Costil, J., Trespeuch, C., Chemat, F., & Vian, M. A. (2020). Larvae mediated valorization of industrial, agriculture and food wastes: Biorefinery concept through bioconversion, processes, procedures, and products. *Processes*, 8 (7) 857.

Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E., Lenton, T. M., Scheffer, M., Folke, C., Schellnhuber, H. J., Nykvist, B., de Wit, C. A., Hughes, T., van der Leeuw, S., Rodhe, H., Sörlin, S., Snyder, P. K., Costanza, R., Svedin, U., Foley, J. (2009). Planetary boundaries: Exploring the safe operating space for humanity. *Ecology and Society*, 14(2), 32.

Rummel, P. S., Beule, L., Hemkemeyer, M., Schwalb, S. A., & Wichern, F. (2021). Black Soldier Fly Diet Impacts Soil Greenhouse Gas Emissions From FLMS Applied as Fertilizer. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 5, 1–17.

Saravanan, A., Karishma, S., Senthil Kumar, P., & Rangasamy, G. (2023). A review on regeneration of biowaste into bio-products



and bioenergy: Life cycle assessment and circular economy. *Fuel*, 338, 127221.

Schmitt, E., & de Vries, W. (2020). Potential benefits of using *Hermetia illucens* frass as a soil amendment on food production and for environmental impact reduction. *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry* 25, 100335.

Secretaría de Agricultura y Desarrollo Rural. (2022). Norma que establece los métodos y procedimientos para el tratamiento aerobio de la fracción orgánica de los residuos sólidos urbanos y de manejo especial, así como la información comercial y de sus parámetros de calidad de los productos finales., pub. l. no. NMX-AA-180-SCFI-2018.

<https://biblioteca.semarnat.gob.mx/janium/Documentos/Ciga/agenda/PPD1/NMX-AA-180-SCFI-2018.pdf>

Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (2017). Residuos Sólidos Urbanos (RSU). Información sobre residuos sólidos urbanos. Recuperado el 31 de enero de 2023, de <https://www.gob.mx/semarnat/acciones-y-programas/residuos-solidos-urbanos-rsu>.

Sharma, K., & Garg, V. K. (2019). Vermicomposting of waste: A zero-waste approach for waste management. In M.J.

Taherzadeh, K. Bolton, J. Wong & A. Pandey (Eds.) *Sustainable Resource Recovery and Zero Waste Approaches*. (pp. 133-164). ISBN 9780444642004. Elsevier.

Singh, S., Singh, J., Kandoria, A., Quadar, J., Bhat, S. A., Chowdhary, A. B., & Vig, A. P. (2020). Bioconversion of different organic waste into fortified vermicompost with the help of earthworm: A comprehensive review. *International Journal of Recycling of Organic Waste in Agriculture*, 9 (4) 423-439.

Sudkolai, S. T., & Nourbakhsh, F. (2017). Urease activity as an index for assessing the maturity of cow manure and wheat residue vermicomposts. *Waste Management*, 64, 63–66.

Swarnam, T. P., Velmurugan, A., Pandey, S. K., & Dam Roy, S. (2016). Enhancing nutrient recovery and compost maturity of coconut husk by vermicomposting technology. *Bioresource Technology*, 207, 76–84.

Tan, J. K. N., Lee, J. T. E., Chiam, Z., Song, S., Arora, S., Tong, Y. W., & Tan, H. T. W. (2021). Applications of food waste-derived black soldier fly larval FLMS as incorporated compost, side-dress fertilizer and FLMS-tea drench for soilless cultivation of leafy



vegetables in biochar-based growing media. *Waste Management*, 130, 155–166.

Thomas, G. V., Mathew, A. E., Baby, G., & Mukundan, M. K. (2019). Bioconversion of Residue Biomass from a Tropical Homestead Agro-Ecosystem to Value Added Vermicompost by *Eudrilus* Species of Earthworm. *Waste and Biomass Valorization*, 10(7), 1821–1831.

Timsina, J. (2018). Can organic sources of nutrients increase crop yields to meet global food demand? *Agronomy*, 8, (10) 1–20.

Yakovleva, N., Chiwona, A. G., Manning, D. A. C., & Heidrich, O. (2021). Circular economy and six approaches to improve

potassium life cycle for global crop production. *Resources Policy*, 74, 102426.

Yu, Y., Yu, Z., Sun, P., Lin, B., Li, L., Wang, Z., Ma, R., Xiang, M., Li, H., & Guo, S. (2018). Effects of ambient air pollution from municipal solid waste landfill on children's non-specific immunity and respiratory health. *Environmental Pollution*, 236, 382–390.

Zhu, W., Yao, W., Shen, X., Zhang, W., & Xu, H. (2018). Heavy metal and $\delta^{13}\text{C}$ value variations and characterization of dissolved organic matter (DOM) during vermicomposting of pig manure amended with ^{13}C -labeled rice straw. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(20), 20169–20178.