

# PRETRATAMIENTO DE RESIDUOS ORGÁNICOS PARA LA ALIMENTACIÓN DE LA MOSCA SOLDADO NEGRA (*HERMETIA LLUCENS*): UNA REVISIÓN

PRETREATMENT OF ORGANIC WASTE FOR BLACK SOLDIER FLY REARING: A REVIEW

Quilaztli Carolina Escobar Montoya  
Saúl López Juárez  
Benito Parra Pacheco  
Humberto Aguirre Becerra  
Juan Fernando García Trejo\*

Universidad Autónoma de Querétaro, México

\*fernando.garcia@uaq.mx

# Resumen

La mosca soldado negra ha adquirido un papel importante en el aprovechamiento de residuos orgánicos debido a su capacidad de transformarlos en biomasa rica en proteína y lípidos. Esta es utilizada en alimentación animal y en la producción de biocombustibles. Sin embargo, la biomasa obtenida a partir de la larva presenta una gran variabilidad en cuanto a los atributos productivos (supervivencia, peso de la larva, eficiencia de conversión) y composición nutrimental, todo esto derivado de la variación en la composición nutricional y fisicoquímica del residuo orgánico. Como solución, se han propuesto estrategias de pretratamientos físicos, biológicos y químicos, que permiten homogenizar el residuo y mejorar la medida en que la larva lo aprovecha. En este trabajo se presenta el estado actual de la investigación sobre los pretratamientos de residuos orgánicos para la alimentación de la larva de mosca soldado negra, incluyendo los métodos utilizados y los efectos en distintas variables productivas de la larva. Esta revisión se realizó mediante una búsqueda exhaustiva en bases de datos electrónicas, seleccionando aquellos estudios relevantes al tema. Los resultados indican que el pretratamiento de los residuos permite que la larva pueda aprovecharlos, provocando mayor peso en la etapa larvaria, supervivencia y eficiencia de conversión. Sin embargo, falta por indagar productivos a mayor escala, considerando la viabilidad económica.

**Palabras clave:** eficiencia de conversión, fermentación, larva de mosca soldado negra, preprocesamiento, tamaño de partícula.

The black soldier fly has acquired an important role in organic waste valorization due to its ability to transform them into biomass rich in protein and lipids. This biomass is used in animal feed and in the production of biofuels. However, the biomass obtained from the larvae presents a great variability in terms of productive variables (e.g., survival, larval weight, conversion efficiency) and nutritional composition, all derived from the variation in the nutritional and physicochemical composition of the organic waste. As a solution to this variability, physical, biological, and chemical pre-treatment strategies have been proposed to homogenize the waste and improve its use by the larva. This paper presents the current state of research on pre-treatments of organic waste for black soldier fly lar-

va feeding, including the methods used and the effects on different larval productive variables. This review was conducted through an exhaustive search in electronic databases, selecting relevant studies on the topic. The results obtained indicate that pre-treatment of the waste can improve its use by the larva, causing higher weights in the larval stage, survival, and conversion efficiency. However, there is a lack of research on the application of different pre-treatments that are applicable in larger-scale production processes, considering the economic viability.

**Keywords:** bioconversion efficiency, fermentation, black soldier fly larvae, preprocessing, particle size.

---

## Introducción

Se estima a nivel mundial la pérdida del 13.3 % de la producción alimenticia en las etapas de poscosecha, transporte, almacenamiento, procesamiento y comercio mayorista [1]; mientras que en hogares, servicios de comida y venta minorista se desperdicia el 17 % [2]. A estas estimaciones falta cuantificar y añadir las mermas de cada proceso en las etapas de cultivo y cosecha [3]. Este desperdicio tiene una repercusión ambiental negativa debido al desgaste de los recursos invertidos para la producción; además, la disposición final de los residuos genera contaminación de suelo, agua, aire, y contribuye al 8-10 % de las emisiones de gases de efecto invernadero globales [2].

La actual crisis climática demanda estrategias para mitigar el impacto de los residuos orgánicos en el medio ambiente: planes de manejo y disposición hacia la revalorización como insumos para la generación de bioenergía, extracción de compuestos bioactivos, compostaje y bio-transformación con insectos [4]. Dentro de esta última, ha destacado la especie *Hermetia illucens*, mejor conocida como mosca soldado negra (MSN). La MSN es un díptero de la familia *Stratiomyidae*, nativo de América, con una distribución mundial en zonas tropicales y templadas. Es un insecto detritívoro que durante su fase larvaria se alimenta para acumular reservas de proteína y grasa necesarias para la reproducción [5].

Las larvas son capaces de consumir una gran variedad de desperdicios orgánicos, como excremento, restos animales, desechos de comida, lixiviados y residuos agroindustriales. La biomasa larvaria resultante es rica en proteína y grasa, útil para la alimentación animal y producción de biodiesel (Figura 1). Además, el *frass* (excretas, partes anatómicas y cutículas de insecto, alimento sin digerir) es utilizable como fertilizante [6]. Aquí cabe mencionar que el tratamiento de los residuos utilizando la MSN disminuye la presencia de mosca doméstica en las poblaciones y, por lo tanto, reduce la cantidad de microorganismos patógenos como *Salmonella* y *Escherichia coli* [7].



En este trabajo se presenta el estado actual de la investigación sobre los pretratamientos de residuos orgánicos para la alimentación de la larva de mosca soldado negra, incluyendo los métodos utilizados y los efectos en distintas variables productivas de la larva.

La heterogeneidad de los residuos orgánicos supone un problema en el aprovechamiento mediante MSN. Según su naturaleza y procesamiento previo, los despojos presentan distintos tamaños, texturas, contenido de humedad, composición nutricional y disponibilidad de nutrientes [8]. Por ejemplo, los vegetales y frutas tienen contenidos de hasta 90 % de humedad, y se componen principalmente de carbohidratos, con bajos porcentajes de proteína. Además, algunos residuos agroindustriales como cáscaras, tallos y bagazos se integran sobre todo por celulosa, hemicelulosa y lignina; mientras que los cárnicos y acuícolas tienen mayor porcentaje de proteína y grasa [9]. Esta pluralidad compromete la capacidad de la larva para alimentarse, crecer, desarrollarse, sobrevivir, y a su vez perjudica las variables productivas como la eficiencia de conversión (EC) y la reducción del sustrato (RS) [10]. Por lo tanto, es necesario procesar los residuos antes de alimentar a las larvas, para obtener características homogéneas que mejoren los rendimientos de biotransformación [11]. El objetivo de este artículo es presentar la descripción de los métodos de pretratamiento físico, químico y biológico de diferentes residuos orgánicos utilizados para la alimentación de la larva de MSN y su efecto en las variables productivas.

FIGURA 1.

Proceso de biotransformación de residuos orgánicos mediante larva de mosca soldado negra.





## Metodología

Para la investigación se emplearon los buscadores Google Scholar, Springer Link y Science Direct. En la búsqueda se utilizaron palabras clave como: "Hermetia illucens", "black soldier fly", "pretreatment", "preprocessing", "fermentation", "particle size", "co-conversion", "moisture" y sus combinaciones. A partir de los resultados fueron seleccionados los trabajos enfocados en la modificación de los residuos a través de un pretratamiento químico, físico o biológico, y su efecto en la biotransformación mediante la larva de *MSN*, en variables productivas como supervivencia, peso larvario, tasas de crecimiento, eficiencia de conversión y reducción de sustrato.

## Resultados y discusión

### Pretratamiento físico

Este método tiene como propósito disminuir el contenido de agua y el tamaño de partícula. La modificación de este último facilita la alimentación de la larva, favoreciendo su acceso a todo el sustrato ya que aumenta la superficie de contacto y disminuye el gasto energético [12]. Además, un área de superficie mayor propicia el crecimiento de microorganismos que ayudan a la degradación de la materia orgánica [13]. La saturación del sustrato está relacionada con la estructura y aireación; a humedades mayores de 80 %, este corre el riesgo de perder su estructura, dificultando el movimiento y respiración de las larvas [14]. Por consiguiente, [11], [15] es recomendable el uso de trituradoras y molinos de martillos para mejorar la biotransformación mediante la larva; a su vez, [13] aconsejan la filtración con bolsas de tela, drenado por gravedad en contenedores perforados y la combinación de residuos con diferentes porcentajes de agua. A nivel experimental, se ha reportado el uso de molinos [9], [16], [17], cuchillos [9], [18] y procesadores de alimentos [9]. Sin embargo, pocos artículos exploran el efecto del pretratamiento en variables productivas de la larva (Tabla 1).

TABLA 1.

Pretratamiento físico  
de residuos orgánicos  
para alimentación de  
larva de MSN.

RESIDUO	PRETRATAMIENTO	RESULTADO	REFERENCIA
Desperdicios de cocina	Comparación de distintos tamaños de partícula (residuo < 30 mm <sup>3</sup> , residuo molido < 5 mm <sup>3</sup> y control sin tratamiento), con distintas alturas de sustrato (5, 10, 15 y 20 cm).	<p>Las larvas acceden a una mayor profundidad del sustrato cuando está molido.</p> <p>Tienen mayor ganancia de peso con el residuo molido y una altura de sustrato de 10 cm.</p> <p>En sustratos con altura de 10, 15 y 20 cm, las larvas tienen mayor supervivencia en el residuo molido. En la altura de 5 cm no hay diferencia en la supervivencia entre los 3 tamaños de partícula.</p> <p>RS sin diferencias entre tamaños de partícula en tratamiento de 5 cm de altura. En 10 cm de altura, el residuo de &lt; 30 mm<sup>3</sup> tuvo la menor RS, los otros tamaños de partícula presentaron una RS similar. RS en 15 y 20 cm de altura no tuvo diferencia significativa entre tamaños de partícula.</p>	[19]
Cáscaras de almendra con urea	Comparación de dos tamaños de partícula: residuo molido en molino de martillos y cribado de 6.35 mm, y residuo molido con molino de mano y cribado de 4 mm. Humedad: 68.5 %	<p>Las larvas del tratamiento de tamaño de partícula de 6.35 mm tuvieron 4 más calcio, 10.5 más metionina y 7.4 % más cisteína.</p> <p>Las larvas del tratamiento de 6.35 mm tuvieron mayor peso y porcentaje de biotransformación del residuo.</p>	[20]
	Comparación de 7 porcentajes de humedad: 48, 55, 57, 59, 62, 66 y 68%.	<p>El peso seco de las larvas aumenta en humedades mayores de sustrato.</p> <p>El porcentaje de biotransformación es mayor conforme aumenta la humedad.</p>	[21]
Residuos de cocina (recortes de vegetales, restos de café, hojas de té)	Comparación de tres niveles de humedad: 70 %, 75 % y 80 %.	<p>El peso de las prepupas no presentó una gran variación entre tratamientos.</p> <p>Tasa de crecimiento larvario mayor en humedad de 80 %.</p> <p>Al cosechar (separar las larvas del residuo), se obtuvo una eficiencia de tamizaje (porcentaje del residuo que pasa el tamiz) de 86 % con humedad del 70, y de 86 con humedad de 75 %. El residuo con humedad de 80 % no se pudo tamizar.</p> <p>No hubo diferencias en la supervivencia.</p>	[22]
		<p>No hubo diferencias significativas entre el peso de las prepupas de todos los tratamientos.</p> <p>El peso máximo de las larvas fue mayor en tratamientos de 80 y 70 % de humedad. La tasa de crecimiento fue mayor en 80 % de humedad.</p> <p>Al cosechar se obtuvo una eficiencia de tamizaje de 93 con humedad del 70, y de 97 con humedad de 75 %. El residuo de humedad de 80 % no se pudo tamizar.</p> <p>No hubo diferencias en la supervivencia.</p>	
Residuos de centros de reciclaje (sobrantes de escuelas, hoteles y hospitales)	Reducción de la humedad con prensa de tornillo y adición de agua hasta porcentaje de cada tratamiento.	<p>No hubo diferencias significativas entre el peso de las prepupas de todos los tratamientos.</p> <p>El peso máximo de las larvas fue mayor en tratamientos de 80 y 70 % de humedad. La tasa de crecimiento fue mayor en 80 % de humedad.</p> <p>Al cosechar se obtuvo una eficiencia de tamizaje de 93 con humedad del 70, y de 97 con humedad de 75 %. El residuo de humedad de 80 % no se pudo tamizar.</p> <p>No hubo diferencias en la supervivencia.</p>	



Residuos de comida domiciliar	<p>Comparación de 6 porcentajes de humedad.</p> <p>Tratamientos con ventilación pasiva: 76, 84, y 88 % de humedad. Se llevaron a cabo en un cuarto abierto.</p> <p>Tratamientos con ventilación activa: 90 %, 95 % y 97.5 % de humedad. Se llevaron a cabo en una cámara de reactor (3.2 m<sup>3</sup>), con 4 ventiladores con capacidad de 107 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> cada uno, y 2 extractores con capacidad de 187 m<sup>3</sup>h<sup>-1</sup> cada uno.</p>	<p>La supervivencia de las larvas reduce conforme aumenta la cantidad de humedad del sustrato (supervivencia de 97.2, 94.3, 91.2, 78.9, 56.6 y 19.3 %, para contenidos de humedad de 76, 84, 88, 90, 95 y 97.5 % respectivamente).</p> <p>Se observó que el peso de las larvas disminuye a mayor humedad (peso de 373, 342, 305, 104, 130, y 236 mg, en contenidos de humedad de 76, 84, 88, 90, 95 y 97.5 % respectivamente).</p>	[14]
Recortes de vegetales	Comparación de tres porcentajes de humedad: 60, 70 y 80 %	<p>El peso de las prepupas aumenta a mayor humedad, se obtuvieron pesos de 412, 455 y 480 mg para tratamientos de 60, 70 y 80 % respectivamente.</p> <p>Tasa de crecimiento mayor con humedad de 80 %.</p> <p>Tasa de supervivencia no es afectada por la humedad del sustrato.</p>	[23]
Sobras de comida de restaurante	Reducción de la humedad usando prensa de tornillo manual, y adición de agua hasta porcentaje de cada tratamiento.	<p>El peso de las prepupas aumenta a mayor humedad, se obtuvieron pesos de 480, 472 y 451 mg para tratamientos de 80, 70 y 60 % respectivamente.</p> <p>Tasa de crecimiento mayor con humedad de 80 %.</p> <p>Tasa de supervivencia no es afectada por la humedad del sustrato.</p>	
Manzana	<p>Comparación de dos porcentajes de humedad (70 % y la humedad natural de los sustratos: 81.2 % para manzana, 88.9 % para col roja, 83.5 % para cebolla morada, 86.47 % para calabaza, 49.5 % para orujo de uva y 92 % para espinaca) y tres temperaturas (20, 25 y 30°C).</p> <p>Se deshidrataron los sustratos hasta 70 % de humedad, excepto el orujo de uva, al que se le añadió agua.</p>	Los mejores tratamientos para cada residuo fueron:	[24]
Col morada		<p>Manzana: 25°C, 70 %. Peso de larva: 0.76 g, supervivencia: 87.2 %, EC: 6.2 %</p> <p>Col morada: 25°C, 88.9 %. Peso: 0.137 g, supervivencia: 93.6 %.</p>	
Cebolla morada		<p>30°C, 88.9 %. Peso: 0.129 g, supervivencia: 96.4 %.</p> <p>25°C, 70 %. EC: 21.8 %</p>	
Calabaza		<p>Cebolla: 25°C, 70 %. Peso: 0.131 g, supervivencia: 93.4 %, EC: 24 %</p> <p>Calabaza: 25°C, 70 %. Peso: 0.121 g, supervivencia 97.6 %, EC 25 %</p>	
Orujo de uva		<p>25°C, 86.47 %, EC 25 %</p> <p>Orujo: 25°C, 70 %. Peso: 0.025 g, supervivencia: 87.2 %, EC: 4.1 %</p>	
Espinaca		<p>Espinaca: 25°C, 92 %. Peso: 0.1 g, supervivencia: 51.6 %, EC: 4.6 %</p>	

Se ha reportado que a mayor humedad del sustrato la tasa de crecimiento de las larvas aumenta, en humedades menores a 80 % [22], [23], [24]. En humedades mayores a 80 % se ha observado menor supervivencia y peso de las larvas [14]. En contraste, se ha reportado que, usando una dieta artificial basada en celulosa, con humedad de 40 %, no hay desarrollo larvario; y una humedad de 55 % disminuye el crecimiento de las larvas comparado con un 70 % [25]. A partir de esta diferencia se observa un

rango de humedad donde las larvas presentan mejor progreso, aproximadamente 60-80 %. Dentro de este margen, se ha reportado que a mayor humedad el peso final de las larvas y prepupas aumenta para algunos residuos orgánicos como sobras de alimentos [22], [23] y recortes de vegetales [23].

El efecto del tamaño de partícula en las variables productivas de la larva de MSN todavía es desconocido, pues se restringe a dos tipos de residuos, cáscaras de almendra [20] y desperdicios de cocina, de los cuales no se reportó su caracterización [19]. Según [19], para los desperdicios de comida el tamaño de partícula menor ( $< 5 \text{ mm}^3$ ) fue el que logró mayor peso de larva, mientras para las cáscaras de almendra se logró mejor desempeño y biotransformación con el tamaño de partícula mayor (6.35 mm) [20].

## Pretratamiento biológico

El pretratamiento biológico incluye la introducción de microorganismos y enzimas para llevar a cabo una predigestión de los residuos, o una conversión simultánea con las larvas. Aunque más lento y difícil de controlar, este tipo de procesamiento suele resultar más económico y requiere menor energía [26]. Los microorganismos ayudan a aumentar la disponibilidad de nutrientes a través de la hidrólisis de fibras variando el rendimiento de acuerdo con el número y diversidad microbiana; igualmente, producen sustancias como ácidos orgánicos, que son útiles para el metabolismo de la MSN [10]. Asimismo, la simbiosis entre microorganismos e insectos es primordial para que se adapten a diferentes ambientes y fuentes de alimento [27].

Dentro de los pretratamientos biológicos se reporta la eficacia de consorcios bacterianos, algunas especies de bacterias, hongos, y enzimas, así como distintos tiempos de fermentación. Entre las respuestas evaluadas se encuentran la eficiencia de conversión, reducción de sustrato, peso de la larva, tiempo de desarrollo, acumulación de lípidos y proteínas (Tabla 2).





TABLA 2.

Pretratamiento biológico de residuos orgánicos para alimentación de larva de MSN.

RESIDUO	PRETRATAMIENTO	RESULTADO	REFERENCIA
Residuo de cuajada de soya	Tratamiento de <i>Lactobacillus buchneri</i> en el residuo de manera simultánea con las larvas. Tratamiento de residuo solo, y control de dieta artificial no especificada.	RS, tasa de bioconversión y contenido de proteína mayor en tratamiento (55.7 %, 6.9 % y 55.4 %) en comparación con el residuo sin pretratar (49 %, 5 %, 52.8 %).	[27]
Excremento de aves de corral	Aplicación de tres cepas de <i>Bacillus subtilis</i> (S15, S16, S19), y la cepa D1 de <i>B. natto</i> , de manera simultánea con las larvas, y un control sin bacterias.	El peso de las prepupas varió entre los tratamientos. La adición de microorganismos puede incrementar hasta un 22 % la ganancia de peso de MSN. El tiempo de desarrollo cambió entre los tratamientos.	[28]
Residuos de restaurante y paja de arroz	Adición de Rid-X, una formulación de microorganismos y enzimas, en dosis de 0.05-0.5 % en peso, de manera simultánea con las larvas.	La aplicación de Rid-X aumenta la acumulación de lípidos en las larvas. 0.35 % de Rid-X aumenta la tasa de conversión de celulosa (65.5 %) y hemicelulosa (56.3 %), en comparación con el residuo sin tratamiento (27.9 % celulosa y 32.6 % hemicelulosa).	[29]
Endospermo de coco	Fermentación espontánea durante 2, 4, 6 y 8 semanas.	Mayor disponibilidad de nutrientes en residuo fermentado 4 semanas. El tratamiento de 6 semanas generó larvas con mayor proteína.	[30]
	Fermentación del residuo con Rid-X en concentraciones de 0.02 %, 0.1 %, 0.5 % y 2.5 % en peso seco, por 7, 14, 21 y 28 días.	Mayor ganancia de peso y tasa de crecimiento de las larvas en residuo fermentado por 14-21 días con una concentración 0.5 % de Rid-X.	[31]
Cáscaras de plátano	Tratamiento biológico de microorganismos aislados del intestino de la larva, <i>Trichoderma reesei</i> , y <i>Rhizopus oligosporus</i> . Fermentado por 7, 14, y 21 días. Tratamiento de calentamiento a 120 °C por una hora. Combinación de tratamiento químico (solución de amoníaco al 24.5 %, en cantidades de 0.8 y 1 % del peso del residuo, por 7 días, y 0.8 % por 14 días), seguido de tratamiento biológico. Combinación de tratamiento de calentamiento seguido de tratamiento biológico.	Los carbohidratos solubles, fibra cruda y lípidos totales no variaron entre los tratamientos. Mayor peso de larvas (> 190 mg) en el tratamiento combinado de microorganismos y amoníaco. Mayor peso de larvas en fermentaciones con microorganismos (> 150 mg), en comparación con el grupo control sin pretratamiento (134 mg). Se considera que el tiempo óptimo de pretratamiento con microorganismos fue de 14 días.	[32]
Paja de maíz	Se inoculó <i>Aspergillus oryzae</i> en la paja de maíz en una proporción 1:4000, y se dejó fermentar por 24 horas.	La paja pretratada disminuyó el tiempo de vida de los adultos y la fecundidad. La RS es menor en paja fermentada (48.41 %), contra control de salvado de trigo (55.01 %). Peso de larva menor en paja fermentada (5.29 mg), en comparación con el control (7.82 mg).	[33]

Residuos de comedor (mezcla de sobras de alimentos, alimentos no vendidos y residuos de preparación)	Aplicación de bacterias formadoras de esporas aisladas del intestino de larvas de MSN. Tratamientos: fermentación por 7 días y a posteriori se incluyen larvas; larvas y bacterias se añaden a la par, finalmente se añaden larvas.	Alta variación entre réplicas. No hubo diferencias en RS y EC entre tratamientos.	[34]
Cáscaras de naranja	Comparación de tratamiento de solución de <i>Trichoderma reesei</i> con densidad 10-7 g/ml, por 16 días para cáscaras de naranja, y 14 días para brócoli y coliflor, contra control sin tratamiento.	EC menor en el tratamiento que en el control. RS mayor en el tratamiento. Supervivencia sin diferencias. Peso de larvas de 0.05 g en el control, 0.018 g con <i>T. reesei</i>	[35]
Recortes de brócoli y coliflor		Contenido de sólidos volátiles del residuo disminuyó después del tratamiento, de 87.4 % a 70.8 %. EC del tratamiento sin diferencia con el control. RS más alta en el tratamiento. Supervivencia menor en el tratamiento (28.1 %), comparado con el control (62.8 %). Peso de larvas de 100 mg en el control, 60 mg con <i>T. reesei</i> .	
Torta de palmiste	Aplicación de celulasa al residuo.	Residuo pretratado mostró concentración de glucosa 8.8 veces más alta que sin pretratar. Máximo crecimiento de larvas en pretratamiento de celulasa al 1 % por 72 horas. Larvas alimentadas con residuo tratado 2.4 veces más pesadas en comparación con residuo sin tratamiento.	[36]
Lechuga y col	Se añadió un coctel de enzimas (SAE0020 Sigma-Aldrich), con celulasas, $\beta$ -glucosidasas y hemicelulosas en concentración de 1 % en peso del residuo, por 0, 2 y 4 días.	EC 22 % más alta al añadir enzimas simultáneamente con las larvas, comparado con el control sin enzimas. RS 14 % más alta al añadir enzimas al mismo tiempo que las larvas, comparada con el control y tiempos de pretratamiento más largos.	[37]
Digestato de frutas, verduras, residuos de jardín, lodo de procesamiento de lácteos y tratamiento de aguas	Se añadió el complejo enzimático Accellerase® DUET, 48 horas antes de alimentar a la larva.	Larvas alimentadas con el digestato pretratado crecieron el doble que larvas en el digestato sin tratar. EC del digestato pretratado más baja que el control con dieta Gainesville.	[38]

La aplicación de pretratamientos biológicos en diferentes residuos ha demostrado un aumento en la ganancia de peso de las larvas, la reducción del sustrato y la eficiencia de conversión. Sin embargo, en ciertos residuos se ha reportado un efecto negativo: en paja de maíz inoculada con *Aspergillus oryzae* la RS y el peso de las larvas se redujeron [33]; en brócoli y coliflor pretratados con *Trichoderma reesei*, el peso de las larvas disminuyó [35]. También se han reportado tiempos de pretratamiento óptimos distintos: 14 días para cáscaras de plátano inoculadas con



microorganismos aislados del intestino de la larva, *Trichoderma reesei* y *Rhizopus oligosporus* [32]; para endospermo de coco, la fermentación espontánea por 4 semanas resultó en mayor disponibilidad de nutrientes del residuo, pero la fermentación por 6 semanas derivó en larvas con más proteína [30]. Para pretratamientos con complejos enzimáticos, [37] señala que en residuos de lechuga y col, la adición simultánea de las enzimas con las larvas tiene mayor EC y RS, mientras que con endospermo de coco hay mayor tasa de crecimiento al alimentarse del residuo fermentado durante 14-21 días [31].

### Pretratamiento químico

El pretratamiento químico consiste en el uso de sustancias inorgánicas como ácidos, bases u otros agentes químicos para modificar la estructura de los residuos, especialmente aquellos ricos en materia lignocelulósica [39]. La adición de ácidos para solubilizar hemicelulosa de residuos de poda o de industria agrícola se estudia para aumentar la cantidad de azúcares obtenidos de su degradación. Sin embargo, la alta corrosividad de los ácidos puede comprometer la eficiencia de procesos fermentativos posteriores [40]. También, la hidrólisis alcalina mediante bases ha mostrado disminuir la cristalinidad y grado de polimerización de la celulosa, generando un aumento en el área de superficie de contacto. Como resultado, un mayor número de bacterias y enzimas obtienen acceso en tratamientos posteriores. Las desventajas del uso de bases en contraste con los ácidos, son el prolongado tiempo de procesamiento y la dificultad para ser neutralizadas [41]. Este tipo de pretratamiento es aplicable a la biotransformación con la MSN, ya que puede mejorar la digestibilidad de fibra y aportar una fuente de nitrógeno asimilable por los microorganismos para producir más aminoácidos para las larvas [35]. No obstante, existen pocos trabajos dedicados a la aplicación de pretratamientos químicos en residuos que servirán como sustrato para la cría de la MSN, por lo que su potencial aún se desconoce (Tabla 3).

En el pretratamiento de cáscaras de plátano con amoníaco se reportó un aumento en el contenido de taninos solubles [32]; estos compuestos pueden ser perjudiciales para las larvas, ya que afectan su capacidad de alimentarse y sobrevivir [24]. Sin embargo, se observó un peso y

TABLA 3.

Pretratamiento químico de residuos orgánicos para la alimentación de larva de MSN.

supervivencia de las larvas constante [32]. Se reportó un efecto contrastante de la aplicación de amoníaco en cáscaras de diferentes frutas; en plátano aumenta la EC, pero no afecta la RC [32]; mientras para naranja la RS aumenta sin afectar la EC [35]. Por el contrario, el pretratamiento de amoníaco en brócoli y coliflor disminuye la RS [33].

RESIDUO	PRETRATAMIENTO	RESULTADO	REFERENCIA
Cáscaras de plátano	Comparación de tratamientos químicos con solución de amoníaco al 24.5 %, en tres cantidades: 0.8 y 1 % del peso del residuo aplicado por 7 días y 0.8 % del peso del residuo aplicado por 14 días. Posteriormente neutralizado con ácido sulfúrico. Control no pretratado.	Los tratamientos de 0.8 y 1 % por 7 días disminuyen el contenido de compuestos fenólicos del residuo. Los tratamientos aumentan el contenido de taninos solubles del residuo, especialmente el de 0.8 % por 7 días. EC aumenta en tratamiento de 1 %. La supervivencia, peso y RS no fueron afectadas por los tratamientos.	[32]
Cáscaras de naranja	Comparación de aplicación de solución de amoníaco al 24.5 % por 16 días, contra control sin pretratamiento.	EC del tratamiento sin diferencia con el control. RS mayor en el tratamiento (83 %) que en el control (58 %). Sin diferencia en el peso de larva ni supervivencia.	[35]
Recortes de brócoli y coliflor		EC del tratamiento sin diferencia con el control. RS menor en el tratamiento (76 %) que en el control (93 %). Sin diferencia en el peso de larva ni supervivencia.	

## Conclusiones

El pretratamiento de residuos orgánicos ha demostrado renovar el proceso de biotransformación de larva de MSN. Los pretratamientos físicos, como el molido y prensado, disminuyen el tamaño de partícula y el contenido de humedad. Al disminuir la humedad a un 60-80 % las larvas tienen un desarrollo óptimo, mayor peso y supervivencia. Existen pocos trabajos sobre el efecto del tamaño de partícula en la larva, pero es notorio que el tamaño óptimo varía de acuerdo con el residuo. Es menester realizar más investigaciones sobre cómo la modificación del tamaño de partícula puede mejorar el aprovechamiento de residuos orgánicos con estructuras difíciles de acceder como frutas con cáscaras duras, semillas, huesos y cartílago.



Los pretratamientos biológicos con diferentes microorganismos y enzimas han demostrado mejorar el aprovechamiento de residuos altos en lignina y celulosa, obteniendo diferentes rendimientos por tiempos de fermentación, concentración y especie. No obstante, es difícil controlar un proceso de descomposición biológica, por factores que modifican el rendimiento: temperatura, humedad, pH, salinidad, microorganismos presentes y composición del sustrato, entre otros. El pretratamiento químico, el menos estudiado, muestra una disminución en el aprovechamiento de residuos; además, solo se ha puesto a prueba el amoníaco en los residuos, por lo que es necesario investigar la repercusión de otros compuestos químicos en la alimentación de la larva, tomando como referente aquellos que ya han sido utilizados para degradar lignina y hemicelulosa en otros procesos productivos. Para la aplicación de pretratamientos en producciones de MSN a mayor escala se debe valorar el costo-beneficio que poseen en términos de recursos, energía, tiempo y trabajo necesario.

En los estudios analizados existen discrepancias entre los cálculos de biotransformación, así como de la medida de las variables. Algunos se enfocan en el contenido en húmedo de los residuos y las larvas, mientras que otros lo hacen en el seco. Este desbalance dificulta la comparación entre diferentes análisis, por lo que apremia buscar la estandarización entre metodologías.

## Agradecimientos

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su apoyo durante toda esta investigación.

---

## Referencias

- [1] FAO. (2020). "Sustainable Development Goals", [En línea]. Disponible: <https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/1231/en/>
- [2] FAO. (2022). "Voluntary Code of Conduct for Food Loss and Waste Reduction". [En línea]. Disponible: <https://doi.org/10.4060/cb9433en>
- [3] S. Maina, V. Kachrimanidou y A. Koutinas, "A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization", *Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry*, vol. 8, pp. 18–23, diciembre de 2017.
- [4] Y. S. Wang y M. Shelomi, "Review of Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*) as Animal Feed and Human Food", *Foods*, vol. 6, no. 10, p. 91, octubre de 2017.
- [5] K. C. Surendra, J. K. Tomberlin, A. van Huis, J. A. Cammack, L.-H. L. Heckmann y S. K. Khanal, "Rethinking organic wastes bioconversion: Evaluating the potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.)) (Diptera: Stratiomyidae) (BSF)", *Waste Management*, vol. 117, pp. 58–80, noviembre de 2020.
- [6] K. B. Barragan-Fonseca, M. Dicke y J. J. A. van Loon, "Nutritional value of the black soldier fly (*Hermetia illucens* L.) and its suitability as animal feed – a review", *Journal of Insects as Food and Feed*, vol. 3, no. 2, pp. 105–120, junio de 2017.
- [7] Y. Law y L. Wein, "Reversing the nutrient drain through urban insect farming—opportunities and challenges", *AIMS Bioengineering*, vol. 5, no. 4, pp. 226–237, 2018.
- [8] C. Lalander, S. Diener, C. Zurbrügg y B. Vinnerås, "Effects of feedstock on larval development and process efficiency in waste treatment with black soldier fly (*Hermetia illucens*)", *Journal of Cleaner Production*, vol. 208, pp. 211–219, enero de 2019.
- [9] M. Gold, J. K. Tomberlin, S. Diener, C. Zurbrügg y A. Mathys, "Decomposition of biowaste macronutrients, microbes, and chemicals in black soldier fly larval treatment: A review", *Waste Management*, vol. 82, pp. 302–318, diciembre de 2018.
- [10] B. Dortmans, S. Diener, B. M. Verstappen, C. Zurbrügg, "Black Soldier Fly Biowaste



Processing A Step-by-Step Guide". Dübendorf: Eawag – Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, 2017.

- [11] M. S. Ayilara, O. S. Olanrewaju, O. O. Babalola y O. Odeyemi, "Waste Management through Composting: Challenges and Potentials", *Sustainability*, vol. 12, no. 11, p. 4456, mayo de 2020.
- [12] N. E. A. Basri, N. A. Azman, I. K. Ahmad, F. Suja, N. A. A. Jalil y N. F. Amrul, "Potential Applications of Frass Derived from Black Soldier Fly Larvae Treatment of Food Waste: A Review", *Foods*, vol. 11, no. 17, p. 2664, septiembre de 2022.
- [13] C. Lalander, E. Ermolaev, V. Wiklicky y B. Vinnerås, "Process efficiency and ventilation requirement in black soldier fly larvae composting of substrates with high water content", *Science of The Total Environment*, vol. 729, p. 138968, agosto de 2020.
- [14] J. F. Morales Quintana, "Bioconversión de residuos orgánicos a partir del manejo ex situ de *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae) como una alternativa para la gestión sostenible de los desechos sólidos en el Distrito Metropolitano de Quito", Tesis de licenciatura, Universidad Central de Ecuador, Ecuador, 2021.
- [15] R. Salomone, G. Saija, G. Mondello, A. Giannetto, S. Fasulo y D. Savastano, "Environmental impact of food waste bioconversion by insects: Application of Life Cycle Assessment to process using *Hermetia illucens*", *Journal of Cleaner Production*, vol. 140, pp. 890–905, enero de 2017.
- [16] M. Meneguz et al., "Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae", *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 98, no. 15, pp. 5776–5784, mayo de 2018.
- [17] N. F. Addeo et al., "Different Combinations of Butchery and Vegetable Wastes on Growth Performance, Chemical-Nutritional Characteristics and Oxidative Status of Black Soldier Fly Growing Larvae", *Animals*, vol. 11, no. 12, p. 3515, diciembre de 2021.
- [18] D. Brits, "Improving feeding efficiencies of black soldier fly larvae, *Hermetia illucens* (L., 1758) (Diptera: Stratiomyidae: Hermetiinae) through

- manipulation of feeding conditions for industrial mass rearing”, Tesis doctoral, Stellenbosch University, Stellenbosch, Sudáfrica, 2017.
- [19] L. Palma, J. Fernández-Bayo, D. Niemeier, M. Pitesky y J. S. VanderGheynst, “Managing high fiber food waste for the cultivation of black soldier fly larvae”, *Science of Food*, vol. 3, no. 1, septiembre de 2019.
- [20] L. Palma, S. J. Ceballos, P. C. Johnson, D. Niemeier, M. Pitesky y J. S. VanderGheynst, “Cultivation of black soldier fly larvae on almond byproducts: impacts of aeration and moisture on larvae growth and composition”, *Journal of the Science of Food and Agriculture*, vol. 98, no. 15, pp. 5893–5900, agosto de 2018.
- [21] J. Y. K. Cheng, S. L. H. Chiu y I. M. C. Lo, “Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larval survival in black soldier fly bioconversion”, *Waste Management*, vol. 67, pp. 315–323, septiembre de 2017.
- [22] D. Khairuddin, S. N. A. Ghafar y S. N. F. Hassan, “Food waste type and moisture content influence on the *Hermetia illucens* (L.), (Diptera: Stratiomyidae) Larval Development and Survival”, *OP Conf. Series: Earth Environmental Sci.*, vol. 1022, no. 1, p. 012076, mayo de 2022.
- [23] N. Ribeiro, R. Costa y O. M. C. C. Ameixa, “The Influence of Non-Optimal Rearing Conditions and Substrates on the Performance of the Black Soldier Fly (*Hermetia illucens*)”, *Insects*, vol. 13, no. 7, p. 639, julio de 2022.
- [24] J.A. Cammack y J.F. Tomberlin, “The Impact of Diet Protein and Carbohydrate on Select Life-History Traits of The Black Soldier Fly *Hermetia illucens* (L.) (Diptera: Stratiomyidae)”, *Insects*, vol. 8, no. 2, p. 56, mayo de 2017.
- [25] H. K. Sharma, C. Xu y W. Qin, “Biological Pretreatment of Lignocellulosic Biomass for Biofuels and Bioproducts: An Overview”, *Waste and Biomass Valorization*, vol. 10, no. 2, pp. 235–251, agosto de 2017.
- [26] A. A. Somroo et al., “Influence of *Lactobacillus buchneri* on soybean curd residue co-conversion by black soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) for food and feedstock production”, *Waste*





*Management*, vol. 86, pp. 114–122, marzo de 2019.

- [27] G. Yu, P. Cheng, Y. Chen, Y. Li, Z. Yang, Y. Chen, y J.K. Tomberlin, "Inoculating Poultry Manure With Companion Bacteria Influences Growth and Development of Black Soldier Fly (Diptera: Stratiomyidae) Larvae", *Environmental Entomology*, vol. 40, no. 1, pp. 30–35, febrero de 2011.
- [28] L. Zheng, Y. Hou, W. Li, S. Yang, Q. Li y Z. Yu, "Bio-diesel production from rice straw and restaurant waste employing black soldier fly assisted by microbes", *Energy*, vol. 47, no. 1, pp. 225–229, noviembre de 2012.
- [29] S.N. Mohd-Noor, C. Y. Wong, J. W. Lim, Y. Uemura, M. K. Lam, A. Ramli, ... y L. Tham, "Optimization of self-fermented period of waste coconut endosperm destined to feed black soldier fly larvae in enhancing the lipid and protein yields", *Renewable Energy*, vol. 111, pp. 646–654, octubre de 2017.
- [30] C. Y. Wong, J. W. Lim, F. K. Chong, M. K. Lam, Y. Uemura, W. N. Tan. y S. S. Lam, "Valorization of exo-microbial fermented coconut endosperm waste by black soldier fly larvae for simultaneous biodiesel and protein productions", *Environmental Research*, vol. 185, p. 109458, junio de 2020.
- [31] A. Isibika, B. Vinnerås, O. Kibazohi, C. Zurbrügg y C. Lalander, "Pre-treatment of banana peel to improve composting by black soldier fly (*Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) larvae", *Waste Management*, vol. 100, pp. 151–160, diciembre de 2019
- [32] Z. Gao, W. Wang, X. Lu, F. Zhu, W. Liu, X. Wang y C. Lei, "Bioconversion performance and life table of black soldier fly (*Hermetia illucens*) on fermented maize straw", *Journal of Cleaner Production*, vol. 230, pp. 974–980, septiembre de 2019
- [33] E. Ermolaev, C. Lalander y B. Vinnerås, "Greenhouse gas emissions from small-scale fly larvae composting with *Hermetia illucens*", *Waste Management*, vol. 96, pp. 65–74, agosto de 2019.
- [34] L. Lindberg, E. Ermolaev, B. Vinnerås y C. Lalander, "Process efficiency and greenhouse gas emissions in black soldier fly larvae composting of fruit and vegetable waste with and without pre-treatment", *Journal*

- of *Cleaner Production*, vol. 338, p. 130552, de 2022.
- [35] J. J. Lim, C. S. Liew, R. Raksasat, Z. M. Merican, K. Kiatkittipong, E. A. Abdelfattah, ... y J. W. Lim, "Cellulase pretreated palm decanter cake for feeding of black soldier fly larvae in triggering bioaccumulation of protein and lipid into biodiesel productions", *Sustainable Energy Technologies and Assessments*, vol. 53, p. 102485, octubre de 2022.
- [36] L. Lindberg, B. Vinnerås y C. Lalander, "Process efficiency in relation to enzyme pre-treatment duration in black soldier fly larvae composting", *Waste Management*, vol. 137, pp. 121–127, enero de 2022.
- [37] C. Pas, D. Brodeur, M. H. Deschamps, Y. Lebeuf, K. Adjalle, S. Barnabé, M. Eeckhout, G. Vandenberg & C. Vaneeckhaute, "Valorization of pretreated biogas digestate with black soldier fly (*Hermetia illucens*, L; Diptera: Stratiomyidae) larvae", *Journal of Environmental Management*, vol. 319, p. 115529, octubre de 2022
- [38] J. R. Banu, J. Merrylin, T. M. M. Usman, R. Y. Kannah, M. Gunasekaran, S. H. Kim, y G. Kumar, "Impact of pre-treatment on food waste for biohydrogen production: A review", *International Journal of Hydrogen Energy*, vol. 45, no. 36, pp. 18211–18225, julio de 2020.
- [39] M. Badiei, N. Asim, J. M. Jahim y K. Sopian, "Comparison of Chemical Pretreatment Methods for Cellulosic Biomass", *APCBEE Procedia*, vol. 9, pp. 170–174, 2014.
- [40] M. Jędrzejzyk, E. Soszka, M. Czapnik, A.M. Ruppert y J. Grams, "Chapter 6 - Physical and chemical pretreatment of lignocellulosic biomass", *Second and Third Generation of Feedstocks: The Evolution of Biofuels*, 2019. pp. 143-196.

