



## El papel de los insectos en la gestión de residuos y la producción sostenible de fertilizantes

La insecticultura es una solución innovadora para gestionar residuos y producir biofertilizantes. *Tenebrio molitor* no solo es fuente de proteína, sino que su excremento (*frass*) mejora la fertilidad del suelo y degrada residuos recalcitrantes como plástico y poliuretano, con lo que reduce su impacto ambiental. Es crucial investigar los mecanismos de biodegradación y mejorar las técnicas diagnósticas para cuantificar polímeros y monómeros.

### LA INSECTICULTURA: UNA SOLUCIÓN NUTRICIONAL Y AMBIENTAL

Los insectos son los invertebrados más diversos y abundantes del planeta. Cumplen funciones esenciales en la naturaleza, desde la polinización hasta la descomposición de materia orgánica. Además, desempeñan un papel clave en el equilibrio ecológico al participar en la cadena trófica como presas y depredadores. Gracias a su diversidad y adaptabilidad, los insectos pueden colonizar casi cualquier hábitat gracias en gran parte a su exoesqueleto protector, su pequeño tamaño y sus ciclos de vida rápidos.

En los últimos años, la insecticultura se ha posicionado como una estrategia clave para abordar los desafíos de seguridad alimentaria

y sostenibilidad. A nivel mundial, la producción de insectos para alimentación humana y animal está en plena expansión, con un crecimiento anual estimado del 27,8 por ciento. Se espera que el mercado global de insectos comestibles alcance los ocho mil millones de euros en 2030.

Los insectos son una fuente rica en proteína, con valores que oscilan entre el 20 y el 80 por ciento de materia seca, dependiendo de la especie. Además, aportan aminoácidos esenciales, ácidos grasos beneficiosos, vitaminas (como B12 y riboflavina) y minerales como hierro y zinc. Su producción es altamente eficiente en comparación con las

fuentes tradicionales de proteína animal. Requieren menos agua, generan menos emisiones de gases de efecto invernadero y pueden criarse en espacios reducidos con subproductos agroindustriales como sustrato. Estas ventajas han llevado a la incorporación de harinas de insecto en la alimentación animal y humana, con una creciente aceptación en mercados globales.

En Europa, la **Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA), en 2021**, ha aprobado diversas especies de insectos para consumo humano, como *Tenebrio molitor*, *Acheta domesticus* y *Locusta migratoria*. Estas aprobaciones han permitido la entrada de harinas de

insecto en mercados clave como la industria de panadería, pastas y suplementos proteicos. Además, en 2021 la Comisión Europea incluyó las proteínas de insecto en la lista de ingredientes permitidos en la formulación de piensos para aves y porcinos, abriendo nuevas oportu-

nidades para su escalado industrial. En España, la insecticultura está en auge, donde se estima que el sector podría generar más de mil empleos directos en la próxima década y producir anualmente más de diez mil toneladas de biomasa de insecto.

## EL DESAFÍO DE LOS RESIDUOS NO BIODEGRADABLES



Residuos plásticos agrícolas apilados tras su empleo.

El crecimiento exponencial de residuos es uno de los principales retos ambientales del siglo XXI. Se estima que para 2050 la producción de residuos superará los 3,4 mil millones de toneladas anuales, afectando a ecosistemas y economías.

Si bien existen esfuerzos por reducir y reciclar, algunos materiales, como los agroplásticos y los residuos de poliuretano procedentes del reciclado de colchones siguen sin tener soluciones eficientes de valorización.

## DE LA INSECTICULTURA A LA ECONOMÍA CIRCULAR

La insecticultura, además de su potencial nutricional, también desempeña un papel clave en la economía circular al convertir residuos orgánicos en productos de alto valor añadido. Especies como *Tenebrio molitor* (gusano de la harina) y *Hermetia illucens* (mosca soldado negra) pueden alimentarse de desechos agroindustriales, reduciendo el volumen de residuos mientras generan biomasa rica en nutrientes.

Los insectos han demostrado ser herramientas valiosas en la investigación científica en el contexto de la gestión de residuos dada su versatilidad y capacidad de descomponer materia orgánica y transformar sub-

productos en recursos aprovechables. En la agricultura y la economía circular, especies como *T. molitor* han demostrado un gran potencial para la gestión de residuos y la producción de fertilizantes.

El proceso de cría de insectos también genera subproductos de interés, como el *frass* (excremento de insectos), que se está evaluando como biofertilizante y bioestimulante en la agricultura. Investigaciones recientes han demostrado que el *frass* no solo aporta nutrientes esenciales al suelo, incluso de mayor valor que materias orgánicas tradicionales como la gallinaza, sino que también promueve la activi-

dad microbiana beneficiosa, lo cual mejora la salud del suelo y el crecimiento de las plantas.

Dada su versatilidad, recientes estudios han explorado la capacidad de ciertas especies de insectos, como *T. molitor* y *Zophobas morio*, para degradar plásticos como el poliestireno y espumas de poliuretano. Se ha demostrado que su microbioma intestinal alberga enzimas capaces de fragmentar y biodegradar estos materiales, lo que abre una vía prometedora para la biorremediación de residuos plásticos y la reducción del impacto ambiental de estos contaminantes persistentes.



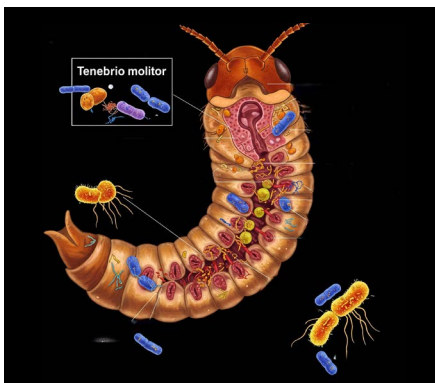


Imagen superior, *T. molitor* alimentándose de residuos.

Imagen inferior, representación gráfica de *T. molitor* y su tracto digestivo o gupta en la que se representa su microbiota a lo largo del mismo, responsable último de la biodegradación de compuestos xenobióticos (Imagen generada mediante inteligencia artificial -DALLE 3, OpenAI- basada en un prompt elaborado por los autores).

## TENEBRIO MOLITOR: BIOCONVERSIÓN DE RESIDUOS Y FERTILIZANTES

El ciclo de vida de *T. molitor* incluye las fases de huevo, larva, pupa y adulto. Durante su fase larvaria, desempeña un papel clave en la descomposición de residuos orgánicos y, en algunos casos, plásticos biodegradables, gracias a la acción combinada de su sistema digestivo y su microbioma intestinal, tal y como ha sido demostrado por nuestro grupo de investigación con el poliuretano (Orts et al., 2023<sup>2</sup>; Ros et al., 2025<sup>3</sup>).

En el tracto digestivo de las larvas de *T. molitor*, se han identificado enzimas especializadas, como las caspas, lipasas y proteasas, que facilitan la degradación de compuestos orgánicos complejos. Además, el microbioma intestinal juega un papel esencial en la digestión, ya que alberga bacterias y hongos

simbióticos que contribuyen a la fragmentación y metabolización de materiales resistentes, incluidos ciertos polímeros plásticos como el poliestireno y el poliuretano, lo cual abre nuevas vías para la bioconversión de residuos plásticos en biomasa utilizable.

Este proceso digestivo no solo permite la asimilación de nutrientes, sino que también influye en la composición del frass, un subproducto rico en materia orgánica, microorganismos beneficiosos y metabolitos que pueden actuar como biofertilizantes y bioestimulantes en suelos agrícolas. La interacción entre el microbioma del insecto y los residuos que consume es un área de gran interés en la investigación de biorremediación y producción sostenible de fertilizantes.

## CARACTERIZACIÓN Y APLICACIÓN DEL FRASS COMO FERTILIZANTE (Y MÁS)

El frass, también conocido como guano de insecto, es el subproducto resultante de la digestión y metabolismo de los insectos durante su fase larvaria. Se compone principalmente de excrementos, mudas de quitina y restos orgánicos parcialmente degradados, lo que lo convierte en un material rico en nutrientes y microorganismos beneficiosos. En el caso del frass de *T. molitor*, su composición lo hace particularmente interesante como biofertilizante y bioestimulante en la agricultura. Su contenido en macronutrientes esenciales

como nitrógeno, fósforo y potasio, y su menor contenido de contaminantes, junto con su microbioma activo, lo diferencian de otros fertilizantes orgánicos convencionales, puesto que favorece a la vez el crecimiento y la salud de las plantas.

Además de como fertilizante, actúa como bioestimulante natural gracias a la presencia de microorganismos beneficiosos que mejoran la estructura del suelo, la actividad microbiana y la resistencia de las plantas.

Producción de enmiendas orgánicas tradicionales a partir de la alimentación de pienso o maíz por parte de gallinas (izquierda) y, en contraposición, producción de frass o guano a partir de la alimentación de residuos agroalimentarios de *T. molitor* (derecha).



Gallinaza

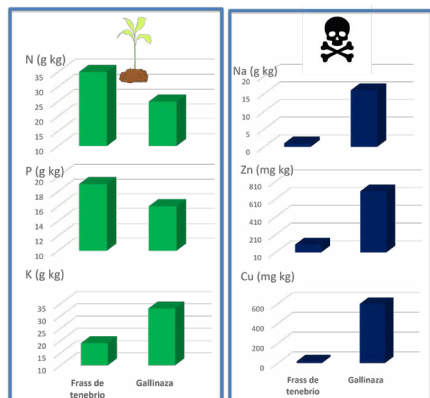


CSIC  
CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS



Frass de Tenebrio

## BENEFICIOS EN EL USO DE FRASS DE TENEBRIO EN COMPARACIÓN CON GALLINAZA



## EFFECTOS BENEFICIOSOS DE FRASS DE TENEBRIO



Aislados del frass de *T. molitor*, destaca la presencia de los siguientes microorganismos:

- *Bacillus subtilis*, que favorece el crecimiento radicular, mejora la absorción de fósforo y protege a las plantas contra patógenos del suelo;
- *Pseudomonas fluorescens*, que aumenta la disponibilidad de nutrientes y estimula la resistencia sistémica inducida (ISR) contra enfermedades, y

- *Trichoderma* spp., que estimula la colonización de raíces y actúa como antagonista de hongos fitopatógenos como *Fusarium* y *Rhizoctonia*.

La presencia de hidrolasas, oxidasas y peroxidasas en el microbioma de *T. molitor* es el motivo de que estos insectos tengan estas capacidades beneficiosas.

## LOS INSECTOS Y LA ELIMINACIÓN DE PLÁSTICOS

Uno de los aspectos más innovadores de la insecticultura es la capacidad de ciertas especies de insectos para degradar plásticos.

El proceso de biodegradación ocurre en dos fases: primero, la fragmentación mecánica del plástico dentro del sistema digestivo del insecto, y luego su transformación química mediada por el microbiota intestinal. Los compuestos resultantes pueden ser asimilados por el insecto y parcialmente excretados en el frass, que contiene residuos de plástico en formas más biode-

gradables. Este fenómeno abre la posibilidad de utilizar *T. molitor* y otros insectos en el tratamiento de desechos plásticos acumulados en entornos agrícolas e industriales. La aplicación de estos insectos en sistemas de gestión de residuos aún requiere investigación adicional, especialmente para evaluar la seguridad y la eficiencia del proceso a escala industrial. Sin embargo, la perspectiva de utilizar organismos vivos en la eliminación de plásticos representa una alternativa prometedora a los métodos tradicionales de reciclaje y biorremediación.

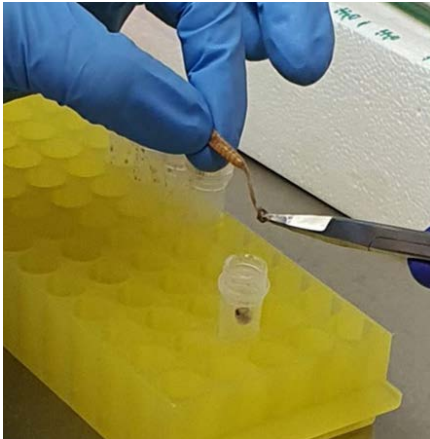
**TABLA 1. ESTUDIOS CIENTÍFICOS DEL EMPLEO DE DIFERENTES ESPECIES DE INSECTOS PARA LA BIODEGRADACIÓN DE PLÁSTICOS COMO POLIESTIRENO Y POLIPROPILENO.**



INSECTO	PLÁSTICO	
Supergusanos ( <i>Zophobas atratus</i> )	Poliestireno (PS) Poliestireno (PS) y Polietileno de baja densidad (LDPE) Polipropileno (PP)	Yang et al., 2020 Peng et al., 2020
Grandes gusanos de cera ( <i>Galleria mellonella</i> )	Polietileno (PE) Polietileno de baja densidad (LDPE)	Bombelli et al., 2017 Cassone et al., 2020
Pequeños gusanos de cera ( <i>Achroia grisella</i> )	Polietileno de baja densidad (LDPE)	Kundungal et al., 2019
Polillas de la harina de la India ( <i>Plodia interpunctella</i> )	Polietileno (PE)	Yang et al., 2014
Escarabajo de la harina ( <i>Tenebrio molitor</i> )	Polietileno (PE) Poliestireno (PS) Poliestireno (PS) y Polietileno (PE) Polipropileno (PP) Cloruro de polivinilo (PVC) Polietileno de baja densidad (LDPE)	Yang et al., 2015 Brandon et al., 2018 Yang et al., 2021 Peng et al., 2020 Wu et al., 2020
Escarabajo oscuro de la harina ( <i>Tenebrio obscurus</i> )	Poliestireno (PS)	Peng et al., 2019
Escarabajo oscuro ( <i>Plesiophthalmus davidis</i> )	Poliestireno (PS)	Woo et al., 2020
Escarabajo de la harina ( <i>Tribolium castaneum</i> )	Poliestireno (PS)	Wang et al., 2020

## INVESTIGACIONES Y PROYECTOS EN MARCHA

Proceso de aislamiento de los microorganismos del tracto digestivo de *T. molitor*: disección y extracción del tracto digestivo y microorganismo crecido en placa Petri.



Nuestro grupo de investigación ha participado en proyectos de naturaleza competitiva como APWASTE y BIO4PURT, enfocados en la biodegradación de plásticos agrícolas y de poliuretano procedente del reciclado de los colchones, respectivamente. Los resultados han sido prometedores en ambos casos, aunque la biodegradación de poliuretano es más eficiente que la de los plásticos agrícolas.

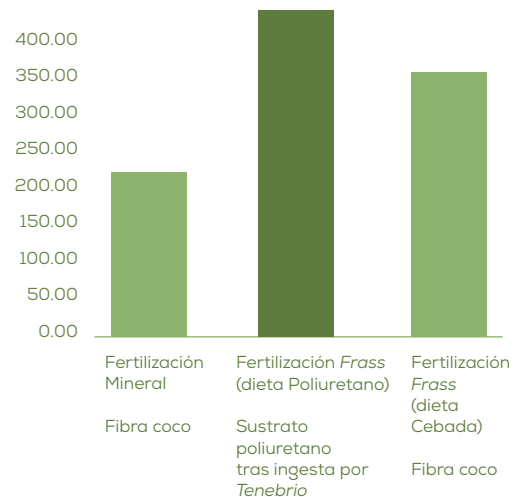
Estos estudios buscan optimizar la cría de insectos y aislar microorganismos clave para mejorar la biodegradación de plásticos y su aplicación en biorreactores, labor que se realiza en colaboración con el grupo del doctor Parrado y Tejada, de la Universidad de Sevilla, habiéndose publicado, fruto de esta colaboración, dos trabajos hasta la fecha que profundizan en la importancia de la diversidad del microbioma en este tipo de reacciones (Orts et al., 2023; Ros et al., 2025).

Si bien, dentro de una economía circular, esta biodegradación produciría por un lado *tenebrio*, que podría tener diferentes aplicaciones biotecnológicas como alimentación animal y cosmética, entre otras, y por otro *frass*, que podría usarse en agricultura, en ambos casos, antes de su utilización, es necesario tener en cuenta el principio de precaución, más allá incluso de

lo marcado por la legislación europea, que plantea controles de calidad y análisis de contaminantes, metales pesados y residuos plásticos. En nuestro caso, en colaboración con el grupo de la doctora Peñalver y su equipo de la Universidad de Murcia (UMU), hemos determinado que ni *T. molitor* ni el *frass* o guano presentaban contaminación por plásticos o poliuretano, dentro de los niveles de detección de las técnicas empleadas. Además, se han realizado estudios en referencia a la quitina o exoesqueleto del tenebrio, parte importante en la industria cosmética, sin que se observaran tampoco restos o trazas que nos puedan inducir a temer ningún efecto negativo. Para más información, se puede consultar las publicaciones científicas correspondientes ([Martín de la Fuente et al., 2022](#); [Peñalver et al., 2024](#)).

Sus efectos como biofertilizante y bioestimulante se han demostrado fundamentalmente en cultivos ornamentales con el objeto de poder avanzar en sus consecuencias y evitar en la medida de lo posible riesgos sobre la alimentación humana, para lo cual se está trabajando en esta otra vertiente de los productos derivados de *T. molitor*, con mayor garantía a medida que las técnicas de detección de residuos y contaminantes se vuelven más precisas.

Biomasa vegetal (gramos de materia fresca) obtenida en cultivo ornamental sin suelo, comparando tres tratamientos: fibra de coco con fertilización mineral (barra izquierda), *frass* de *T. molitor* alimentado con poliuretano (barra derecha), y sustrato donde la fibra de coco fue parcialmente sustituida por restos de poliuretano tras la ingesta de los insectos, además de *frass* de *T. molitor* (barra central).





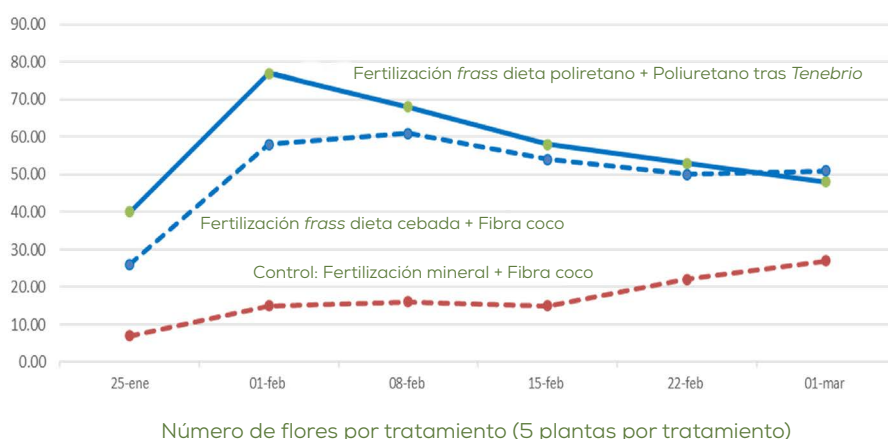


En nuestros ensayos se analizaron dos enfoques principales: por un lado, el uso del *frass* o guano de *T. molitor* como alternativa a la fertilización química, y, por otro, la utilización de los restos de poliuretano procesados por los tenebrios como un posible sustituto de la fibra de coco en sustratos de cultivo.

Los resultados obtenidos fueron prometedores, con efectos significativos en el crecimiento vegetal. Se observó un incremento en la biomasa de las plantas y un mayor número de flores en los tratamientos con *frass* en comparación con los controles sin aplicación. Estos hallazgos sugieren que tanto el *frass* como los residuos transformados por los tenebrios podrían representar alternativas viables y sostenibles en la agricultura y la horticultura ornamental.

Además, los análisis realizados indicaron que las plantas tratadas con *frass* de *T. molitor* y con los residuos de poliuretano transformados por los insectos presentaron un mayor contenido y diversidad de aceites esenciales en comparación con los cultivos control. Este incremento en la producción de compuestos volátiles bioactivos podría tener un gran potencial en el futuro, especialmente para su aprovechamiento en la industria cosmética y de fragancias, donde los aceites esenciales juegan un papel fundamental en la formulación de productos naturales y sostenibles. Estos resultados abren una nueva línea de investigación sobre el impacto de los biofertilizantes y sustratos alternativos en la producción de metabolitos secundarios de interés comercial.

Número de flores obtenidas en cultivo ornamental sin suelo comparando tres tratamientos: fibra de coco con fertilización mineral, *frass* de *T. molitor* alimentado con poliuretano y sustrato donde la fibra de coco fue parcialmente sustituida por restos de poliuretano tras la ingesta de los insectos.



## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto ha sido financiado por Proyectos Estratégicos Orientados a la Transición Ecológica y la Transición Digital (BIO4Purt), proyecto TED 2021-131894B-C22.

### >Autores del artículo:

José Antonio Pascual, Margarita Ros, Miguel Costa y Paula Lidón.  
Grupo de Enzimología y Biorremediación de Suelos. Centro de Edafología y Biología Aplicada del Segura (CEBAS-CSIC).  
jpascual@cebas.csic.es

## HACIA UN FUTURO SOSTENIBLE

El uso de insectos en la economía circular ofrece soluciones viables para la gestión de residuos y la producción de biofertilizantes. Aún queda trabajo por hacer en cuanto a regulaciones y escalabilidad industrial, pero la evidencia sugiere que los insectos podrían convertirse en aliados indispensables para una gestión de residuos más eficiente y sostenible. Pero lo que sí se ha demostrado hasta la fecha por

parte nuestra es que la insecticultura no solo permite reducir el impacto ambiental de los residuos, sino que también contribuye a la generación de productos con valor agregado, como fertilizantes y bioproductos. La investigación y el desarrollo de este campo podría consolidar un modelo de producción agrícola ambientalmente responsable para el futuro.