



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



## PERTE AGROALIMENTARIO ACCELEREAT.

*Línea I+D+i — Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.*

**PP12: Investigación de nuevos productos destinados a sectores alternativos a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.**

### ENT\_001

**INFORME DE IDENTIFICACIÓN DE CARACTERÍSTICAS Y ASPECTOS QUE DETERMINAN LA UTILIDAD DE LOS SUBPRODUCTOS Y DESPERDICIOS DE LA INDUSTRIA AGROALIMENTARIA PARA SU APLICACIÓN EN SECTORES ALTERNATIVOS. IDENTIFICACIÓN DE LOS COMPUESTOS SUSCEPTIBLES DE USO PARA SU REVALORIZACIÓN Y BIOCONVERSIÓN.**

**Entidad responsable: VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA, S.L.**

Programa: PERTE Agroalimentario ACCELEREAT — Línea I+D+i.

Financiado por: Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia — NextGenerationEU.

Fecha: Abril 2026.

*CONFIDENCIAL — Uso restringido al consorcio ACCELEREAT*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS. ....	2
ÍNDICE DE TABLAS. ....	5
1. RESUMEN EJECUTIVO. ....	7
2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN. ....	8
2.1 Contexto del proyecto PP12 dentro del PERTE ACCELEREAT. ....	8
2.2 El imperativo de la economía circular en la insecticultura. ....	8
2.3 Objetivos del informe. ....	8
2.4 Alcance del informe. ....	9
2.5 Especies de referencia. ....	9
3. SUBPRODUCTOS GENERADOS EN LA INSECTICULTURA INDUSTRIAL. ....	10
3.1 Frass (heces + restos de sustrato + exuvias). ....	10
3.2 Exuvias (mudas/cutículas). ....	10
3.3 Insectos muertos (mortalidad natural). ....	10
3.4 Puparios vacíos de BSF. ....	11
3.5 Residuos del procesamiento postcosecha. ....	11
3.6 Aceite residual del proceso de desgrasado. ....	11
4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LOS SUBPRODUCTOS. ....	12
4.1 Frass de <i>Tenebrio molitor</i> . ....	12
4.2 Frass de <i>Hermetia illucens</i> (BSF). ....	13
4.3 Composición de exuvias. ....	14
4.4 Frass como fertilizante fosfórico. ....	15
5. ESTUDIOS EXPERIMENTALES: RECICLAJE DE SUBPRODUCTOS EN DIETAS. ....	16
5.1 BSF sobre residuos de cría de grillos y langostas (Moore et al., 2020). ....	16
5.2 Recirculación de frass de BSF (Lopes et al., 2024 — SLU). ....	16
5.3 Harina de BSF en dieta de <i>Ceratitis capitata</i> (Sileem et al., 2025). ....	17
5.4 Sustrato de <i>T. molitor</i> como aquafeed (Boonthong et al., 2025). ....	17
5.5 Circuito cerrado insecto-pep-planta (Rizzolo et al., 2019). ....	18
5.6 BSF sobre subproductos locales Italia (Cattaneo et al., 2024). ....	18
5.7 Frass como componente de sustrato: biometano (Dal Magro et al., 2026). ....	18
5.8 Entomoponics y circuito insecto-planta (Yakti et al., 2025). ....	18
5.9 Modulación del perfil lipídico mediante adición de grasas al sustrato. ....	19
6. CANIBALISMO EN INSECTOS DE CRÍA. ....	20



6.1	<i>Tenebrio molitor</i> .....	20
6.2	<i>Hermetia illucens</i> .....	20
6.3	Implicaciones para empresas productoras .....	20
7.	BALANCE DE NUTRIENTES Y EFICIENCIA DE BIOCONVERSIÓN. ....	21
7.1	Balance de nutrientes en BSF (Parodi et al., 2020).....	21
7.2	Balance de nutrientes en BSF sobre purín porcino (Parodi et al., 2021).....	21
7.3	Eficiencia de recuperación de N en mezclas de residuos alimentarios (Li et al., 2025). ....	21
7.4	Índices de bioconversión en <i>T. molitor</i> (Bordiean et al., 2022).....	22
7.5	Economía del reciclaje de frass (Beesigamukama et al., 2021).....	22
8.	MARCO REGULATORIO Y RESTRICCIONES LEGALES.....	23
8.1	Reglamento (CE) 1069/2009 — SANDACH. ....	23
8.2	Definición legal del frass — Reglamento (UE) 2021/1925.....	23
8.3	Prohibición intraespecífica — Art. 11 Reg. 1069/2009.....	24
8.4	TSE/Priones: riesgo en insectos. ....	24
8.5	Reglamentos (UE) 2017/893 y 2021/1372.....	24
8.6	Posición de la EFSA.....	24
8.7	Tabla de síntesis regulatoria. ....	25
8.8	Esterilización térmica — Resultados de Vanlinden et al. (2025) .....	25
9.	ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE VIABILIDAD. ....	27
9.1	Costes de producción de referencia. ....	27
9.2	Coste del frass vs. salvado de trigo .....	27
9.3	Ahorro potencial en costes de alimentación. ....	27
9.4	CAPEX/OPEX del sistema de recirculación.....	28
9.5	Valor económico del frass como subproducto. ....	28
9.6	Análisis break-even. ....	29
9.7	Datos de análisis de ciclo de vida (LCA). ....	29
9.7.1	Marco Metodológico del LCA.....	30
9.7.2	Análisis Detallado de la Tabla 15. ....	31
9.7.2.1	Harina de soja (2,2 – 3,0 kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína).....	31
9.7.2.2	Harina de pescado (3,1 – 7,1 kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína).....	31
9.7.2.3	BSF con sustrato convencional (30,1 kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína). ....	31
9.7.2.4	BSF con Residuos Alimentarios (12,9 kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína).....	32
9.7.2.5	BSF con Estiércol de Pollo (~20 kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína). ....	32



9.7.2.6	Tenebrio <i>molitor</i> — Escenario PEFCR Riga (~1,70 kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína). .....	32
9.7.2.7	H. <i>illucens</i> — Escenario Óptimo PEFCR (~0,10 kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína) .....	33
9.7.3	Frass como Fertilizante Orgánico vs. Fertilizantes Sintéticos NPK. ....	33
9.7.3.1	Huella de carbono del frass (0,05 kg CO <sub>2</sub> eq/kg). .....	33
9.7.3.2	Comparación con fertilizantes sintéticos NPK (1,1 – 1,7 kg CO <sub>2</sub> eq/kg). .....	33
9.7.4	Hotspots Ambientales Identificados en los Estudios LCA. ....	34
9.7.4.1	Hotspot 1: Producción del pienso/sustrato (hasta 90% del GWP). ....	34
9.7.5	Potencial de Reducción de Impacto: T. <i>molitor</i> vs. Pollo Ecológico. ....	34
9.7.6	Análisis comparativo integral y posicionamiento estratégico. ....	35
9.7.6.1	Divergencias entre estudios y su interpretación. ....	35
	Relevancia para la comunicación de sostenibilidad. ....	35
9.7.7	Limitaciones y necesidades de datos adicionales. ....	36
10.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LAS EMPRESAS DEL SECTOR. ....	37
10.1	Síntesis de hallazgos.....	37
10.2	Recomendaciones operativas. ....	37
10.3	Propuesta de formulaciones experimentales. ....	38
10.4	Diferencias entre T. <i>molitor</i> y H. <i>illucens</i> en tolerancia a subproductos. ....	39
10.5	Principales brechas de conocimiento. ....	39
10.6	Tabla resumen: subproductos y su potencial como ingrediente.....	40
10.7	Experiencias industriales y empresas referentes. ....	40
10.8	Tratamientos previos: protocolos recomendados.....	41
10.9	Riesgos y limitaciones del reciclaje.....	42
10.10	Aceite de insecto y grasa residual.....	43
10.11	Composición nutricional de larvas según sustrato. ....	43
10.12	Modelos de economía circular aplicables.....	43
10.13	Innovaciones y patentes. ....	44
10.14	Seguridad alimentaria: metales pesados en detalle.....	44
10.15	Análisis de ciclo de vida específico para T. <i>molitor</i> .....	45
10.16	Perfil de aminoácidos esenciales de insectos. ....	45
10.17	Seguridad microbiológica de BSF en residuos. ....	46
10.18	Reglamento (UE) 2019/1009 — Fertilizantes y frass. ....	46
10.19	Panorama del sector insecticultura (2024-2026).....	46
11.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. ....	48



A. Composición y valorización del frass. ....	48
B. Exuvias, cutículas y quitina. ....	48
C. Estudios experimentales de reciclaje.....	49
D. Canibalismo. ....	49
E. Balance de nutrientes y bioconversión.....	49
F.....	49
Economía circular y LCA.....	50
G. Regulación. ....	50
H. Viabilidad económica. ....	51
I. Innovaciones, aceite y composición de insectos. ....	51
J. Riesgos y seguridad.....	51

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 - Composición química del frass de <i>T. molitor</i> (revisión de valores publicados). Fuentes: Ashworth et al. (2024) y Çolak & Açıl (2025). ....	12
Tabla 2 - Composición de macronutrientes del frass de BSF y <i>T. molitor</i> (valores a 5 t/ha). Fuente: Beesigamukama et al. (2022).....	13
Tabla 3 - Micronutrientes del frass de BSF y <i>T. molitor</i> (mg/kg). Fuente: Beesigamukama et al. (2022). ....	13
Tabla 4 - Composición proximal de exuvias de <i>H. illucens</i> y comparación con larvas. Fuente: Rangel et al. (2022). ....	14
Tabla 5 - Contenido en quitina por estadio de desarrollo de <i>T. molitor</i> (mg/g MS). Fuente: Wang et al. (2021). ....	14
Tabla 6 - Efectos de la inclusión de frass recirculado en el rendimiento de BSF. Fuente: Lopes et al. (2024). ....	16
Tabla 7 - Eficiencias de bioconversión de nutrientes en BSF. Fuente: Parodi et al. (2020). ....	21
Tabla 8 - Partición de nutrientes en BSF sobre purín porcino (9 días). Fuente: Parodi et al. (2021). ...	21
Tabla 9 - Parámetros de bioconversión en <i>T. molitor</i> sobre diferentes dietas. Fuente: Bordiean et al. (2022). ....	22
Tabla 10 - Categorías SANDACH y su aplicación a la insecticultura. Fuente: Reglamento (CE) 1069/2009.....	23
Tabla 11 - Estatus legal de cada subproducto para uso como pienso de insectos.....	25
Tabla 12 - Eficacia del tratamiento térmico en frass de BSF y TM. Fuente: Vanlinden et al. (2025)....	25
Tabla 13 - Producción de <i>T. molitor</i> — Países Bajos, 2023.....	27
Tabla 14 - Producción de <i>H. illucens</i> — múltiples estudios. ....	27



Tabla 15 - Comparación de costes de ingredientes de sustrato.....	27
Tabla 16 - Inversión estimada para el sistema de recirculación de subproductos.....	28
Tabla 17 - Huella de carbono comparada de diferentes fuentes proteicas para pienso. Fuentes: Ricardo LCA (2025), LCA PEFCR Riga (2023), InsectBiotech (2025). .....	29
Tabla 18 - Huella de carbono comparada de diferentes fuentes proteicas para pienso.....	31
Tabla 19 - Factores de maximización de beneficio ambiental.....	35
Tabla 20 - Propuesta de dieta experimental para <i>T. molitor</i> con subproductos internos.....	38
Tabla 21 - Propuesta de dieta experimental para <i>H. illucens</i> con subproductos internos.....	38
Tabla 22 - Comparativa de características relevantes para la recirculación de subproductos. ....	39
Tabla 23 - Síntesis del potencial de cada subproducto para su uso en dietas de insectos. ....	40
Tabla 24 - Empresas referentes y prácticas de circularidad interna.....	40
Tabla 25 - Patógenos en frass de <i>T. molitor</i> . Fuente: Ashworth et al. (2024). ....	42
Tabla 26 - Composición de <i>T. molitor</i> según sustrato.....	43
Tabla 27 - Composición de <i>H. illucens</i> según sustrato.....	43
Tabla 28 - Metales pesados en <i>T. molitor</i> según sustrato (mg/100g MS). Fuentes: Liiv et al. (2024), SUSINCHAIN. ....	44
Tabla 29 - Perfil de aminoácidos esenciales (g/kg MS).....	45



## 1. RESUMEN EJECUTIVO.

El presente informe, elaborado en el marco del Proyecto Primario PP12 del PERTE ACCELEREAT por VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA, S.L., tiene por objeto evaluar de forma exhaustiva la viabilidad técnica, nutricional, económica y regulatoria del uso de subproductos derivados de la cría industrial de insectos —frass, exuvias, insectos muertos, puparios vacíos, residuos postcosecha y aceite residual— como ingredientes en la formulación de dietas para las propias especies de insectos de cría, específicamente *Tenebrio molitor* (gusano de la harina) y *Hermetia illucens* (mosca soldado negra, BSF).

La revisión sistemática de la literatura científica disponible (2019-2026) permite establecer las siguientes conclusiones principales:

- **Composición nutricional favorable:** el frass de insectos contiene entre 0,81-3,5% de nitrógeno, 0,79-1,9% de fósforo y 1,28-1,9% de potasio, con un contenido de materia orgánica del 90% y ausencia de metales pesados preocupantes (As = 0, Pb = 0, Cd = 0,2 mg/kg). Las exuvias de BSF alcanzan un 64,3% de proteína bruta y 7,2% de quitina.
- **Evidencia experimental positiva:** la recirculación de frass al 40% duplica el rendimiento larval por tonelada de residuo procesado (Lopes et al., 2024). Moore et al. (2020) demostraron por primera vez la viabilidad de alimentar BSF con residuos de cría de otros insectos, con supervivencia superior al 94%.
- **Restricciones regulatorias significativas:** el Reglamento (CE) 1069/2009, artículo 11, prohíbe el reciclado intraespecífico de proteínas animales transformadas. El uso de frass de especie distinta (BSF → TM o viceversa) se sitúa en una zona gris regulatoria que requiere consulta formal a la AESAN/MAPA.
- **Viabilidad económica condicionada:** el ahorro potencial se cifra en 12-50 EUR/t de larva producida, con un CAPEX del sistema de recirculación entre 125.000-510.000 EUR y un punto de equilibrio en 50-200 t de larva fresca/año.

Se formulan seis recomendaciones operativas, priorizando la consulta regulatoria formal, el diseño experimental con frass de BSF tratado térmicamente como sustituto del 10-25% del salvado de trigo en dietas de *T. molitor*, y la generación de datos propios de análisis de ciclo de vida.



## 2. INTRODUCCIÓN Y JUSTIFICACIÓN.

### 2.1 Contexto del proyecto PP12 dentro del PERTE ACCELEREAT.

El Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España contempla el Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica (PERTE) del sector Agroalimentario, denominado ACCELEREAT. Dentro de este marco, VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA, S.L., empresa radicada en Valencia, desarrolla el Proyecto Primario PP12, centrado en la identificación de características y aspectos que determinan la utilidad de varios subproductos principalmente procedentes de la Industria Agroalimentaria y desríos de cosechas (en productos que se consumen o comercializan frescos) para su posible aplicación en sectores alternativos. Igualmente a la identificación de los compuestos más prometedores para su revalorización y bioconversión por medio de varias tecnologías.

El PP12 tiene como objetivo principal demostrar la viabilidad de modelos de biovalorización basados en los principios de economía circular, donde los subproductos generados en el proceso productivo se revalorizan como insumos del propio sistema, minimizando residuos y maximizando la eficiencia de los recursos.

Una de las biotecnologías probadas con éxito en este PP12 es el empleo de varias especies de **insectos** en la bioconversión de subproductos y desperdicios orgánicos procedentes de varios socios del PERTE.

### 2.2 El imperativo de la economía circular en la insecticultura.

La cría industrial de insectos genera un volumen considerable de subproductos. En sistemas de producción de BSF, la generación de frass supera la de biomasa larvaria en un ratio de 2 a 3 veces (Jasso et al., 2024; Kenchanna et al., 2024). A escala global, la industria de insectos genera hasta 67.000 toneladas de frass al año (Castillo et al., 2026). A estos volúmenes se suman las exuvias (cutículas de muda), los insectos muertos por mortalidad natural (2-8% de la producción), los puparios vacíos de BSF, los residuos del procesamiento postcosecha (agua de blanqueo, torta desgrasada) y el aceite residual del desgrasado.

La gestión lineal de estos subproductos —eliminación como residuo o venta a bajo precio como fertilizante— representa una pérdida de valor significativa. La transformación hacia un modelo circular, donde estos subproductos se reincorporan al ciclo productivo como ingredientes de las dietas de los propios insectos, podría reducir los costes de materia prima en un 30-50% (Lopes et al., 2024) e incrementar los ingresos netos del productor de 5 a 15 veces (Beesigamukama et al., 2021).

### 2.3 Objetivos del informe.

El presente informe persigue los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar y cuantificar todos los subproductos generados en la cría industrial de *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens*.
2. Caracterizar la composición nutricional de cada subproducto a partir de la literatura científica más reciente (2019-2026).
3. Revisar los estudios experimentales que han evaluado el reciclaje de subproductos de insectos como ingredientes en dietas de insectos.



4. Analizar el marco regulatorio europeo y español aplicable, con especial atención a las restricciones del Reglamento (CE) 1069/2009 y la prohibición intraespecífica.
5. Evaluar la viabilidad económica del sistema de recirculación, incluyendo CAPEX/OPEX y análisis break-even.
6. Formular recomendaciones operativas y propuestas de formulaciones experimentales.

## 2.4 Alcance del informe.

El presente informe se basa en una revisión sistemática de la literatura científica publicada entre 2019 y 2026, complementada con la normativa europea y española vigente. Se han consultado las bases de datos PubMed, Scopus, Web of Science y Google Scholar, así como los repositorios institucionales de la EFSA, el MAPA, el BOE y el DOUE. Se han identificado y analizado más de 65 referencias científicas con DOI verificado, cubriendo los siguientes ámbitos:

- Composición química y nutricional de subproductos de insecticultura (frass, exuvias, aceite residual).
- Estudios experimentales de reciclaje de subproductos en dietas de insectos.
- Canibalismo y necrofagia en especies de cría.
- Balance de nutrientes y eficiencia de bioconversión.
- Economía circular y análisis de ciclo de vida (LCA) en insecticultura.
- Marco regulatorio europeo y español (SANDACH, TSE, PAT, fertilizantes).
- Viabilidad técnico-económica del sistema de recirculación.
- Innovaciones tecnológicas y patentes.

## 2.5 Especies de referencia.

**Tenebrio molitor** (Coleoptera: Tenebrionidae), comúnmente denominado gusano de la harina, es una de las especies de insectos de cría más consolidadas a nivel industrial en Europa. Su ciclo de vida comprende entre 9 y 20 instares larvarios, con un ciclo completo de 3-4 meses. La especie presenta un perfil nutricional óptimo (proteína bruta 44-52% MS, grasa 28-35% MS) y se cría sobre sustratos secos (salvado de trigo, cereales) con baja humedad (<20%).

**Hermetia illucens** (Diptera: Stratiomyidae), la mosca soldado negra (BSF), es la especie más eficiente en la bioconversión de residuos orgánicos húmedos. Su ciclo larvario es significativamente más corto (2-3 semanas hasta prepupa), con una capacidad de reducción de sustrato de hasta el 72% (Moore et al., 2020). Se cría sobre sustratos húmedos (residuos alimentarios, 60-80% de humedad) y genera el mayor volumen de frass por unidad de biomasa producida.

### 3. SUBPRODUCTOS GENERADOS EN LA INSECTICULTURA INDUSTRIAL.

La cría industrial de insectos genera un conjunto de subproductos que, en conjunto, pueden superar en volumen a la propia biomasa de insectos producida.

En una planta de referencia, 1.400 kg de residuo procesado generan aproximadamente 635 kg/semana de frass (Ashworth et al., 2024). A continuación se describen y cuantifican los principales subproductos identificados en la literatura científica.

#### 3.1 Frass (heces + restos de sustrato + exuvias).

El frass constituye el subproducto más abundante de la insecticultura industrial. Según la definición armonizada del Reglamento (UE) 2021/1925, el frass es una «mezcla de excrementos derivados de insectos de granja, sustrato alimentario, partes de insectos de granja, huevos muertos y con un contenido de insectos de granja muertos no superior al 5% en volumen ni superior al 3% en peso».

En términos volumétricos, la industria global de cría de insectos genera hasta 67.000 toneladas de frass al año (Castillo et al., 2026). En sistemas BSF, la producción de frass supera la de biomasa larvaria en un ratio de 2 a 3 veces (Jasso et al., 2024; Kenchanna et al., 2024). El frass es una mezcla heterogénea compuesta por:

- Heces larvarias propiamente dichas.
- Fragmentos de exuvias (cutículas de mudas).
- Restos de sustrato no digerido.
- Microbiota asociada (bacterias, hongos, protistas).

La composición del frass refleja directamente la del sustrato de alimentación utilizado: sustratos proteicos producen frass rico en proteína, mientras que sustratos lipídicos generan frass con mayor contenido graso (Lomonaco et al., 2024; Rezaei Far et al., 2023).

#### 3.2 Exuvias (mudas/cutículas).

Las exuvias son las cutículas que los insectos desprenden en cada muda durante su desarrollo. En *T. molitor*, que experimenta entre 9 y 20 instares larvarios, la producción acumulada de exuvias es considerable. Cada muda genera una cutícula compuesta fundamentalmente por quitina, proteínas estructurales y lípidos cuticulares.

Las exuvias de BSF son especialmente ricas en quitina (7,2% de la materia seca según Rangel et al., 2022) y proteína (64,3% MS), lo que las convierte en un subproducto de alto valor nutricional. La materia seca de las exuvias de *T. molitor* alcanza el 97,5% (Toviho & Bársony, 2022), lo que confirma que son materiales casi completamente secos y de fácil conservación.

#### 3.3 Insectos muertos (mortalidad natural).

En condiciones óptimas de cría, la supervivencia larvaria de *T. molitor* oscila entre el 92% y el 97,7% en diferentes dietas (Bordiean et al., 2022).

En BSF, la supervivencia es superior al 94% en sustratos de calidad (Moore et al., 2020). La mortalidad natural genera, por tanto, entre un 2% y un 8% de biomasa «no cosechada» que debe gestionarse.



Los insectos muertos durante la cría presentan una composición nutricional similar a la de las larvas vivas (proteína ~50-65% MS) y son susceptibles de ser consumidos como fuente proteica por los supervivientes (comportamiento necrófago), lo que constituye un mecanismo natural de reciclaje proteico.

### 3.4 Puparios vacíos de BSF.

Tras la emergencia de los adultos de *H. illucens*, los puparios vacíos representan un subproducto con alto contenido en quitina y proteína residual. Estos puparios, al igual que las exuvias, están compuestos principalmente por cutícula esclerotizada rica en quitina y pueden procesarse como fuente de biopolímeros o como ingrediente en dietas.

### 3.5 Residuos del procesamiento postcosecha.

El procesamiento postcosecha de insectos genera diversos residuos:

- **Agua de blanqueo/lavado:** rica en proteínas solubles y lípidos emulsionados.
- **Residuos de molienda:** fracciones de tamaño reducido con composición similar al insecto entero.
- **Torta desgrasada:** después de la extracción de aceite, con alto contenido proteico (>60% PB en BSF desgrasada), constituye un ingrediente de alto valor para la formulación de piensos.

### 3.6 Aceite residual del proceso de desgrasado.

El aceite extraído de las larvas representa el subproducto lipídico más valioso. El perfil de ácidos grasos difiere significativamente entre especies:

- **Aceite de *H. illucens*:** contiene principalmente ácidos grasos saturados, con predominio del ácido láurico (C12:0, ~40-50%) y palmítico (C16:0, ~10-15%). El ácido láurico posee propiedades antimicrobianas documentadas contra *E. coli*, *Salmonella* y algunos hongos patógenos (Boaru et al., 2022).
- **Aceite de *T. molitor*:** presenta un perfil más insaturado, con predominio de ácido oleico (C18:1) y linoleico (C18:2), lo que lo hace más adecuado para la modulación del perfil lipídico de las dietas (Boukid et al., 2021).

## 4. COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DE LOS SUBPRODUCTOS.

Esta sección presenta los datos cuantitativos más completos disponibles en la literatura científica sobre la composición nutricional de los principales subproductos de la insecticultura.

### 4.1 Frass de *Tenebrio molitor*.

La composición química del frass de *T. molitor* ha sido caracterizada por múltiples grupos de investigación, con variaciones que reflejan principalmente la composición del sustrato de cría utilizado.

Tabla 1 - Composición química del frass de *T. molitor* (revisión de valores publicados). Fuentes: Ashworth et al. (2024) y Çolak & Açıl (2025).

Parámetro	Çolak & Açıl (2025)	Nyanzira et al.	Ashworth (IF-C)	Ashworth (IF-L)
pH	6,43	—	6,08 ± 0,2	6,39 ± 0,2
Materia orgánica (%)	90,01	—	—	—
N total (%)	0,81	3,3	3,5 ± 0,1	3,4 ± 0,1
P total (%)	0,79	2,8	1,6 ± 0,1	1,9 ± 0,1
K total (%)	1,28	2,3	1,9 ± 0,1	1,9 ± 0,1
C total (%)	—	—	39,7 ± 0,6	35,6 ± 0,4
Relación C/N	—	—	11,2 ± 0,5	10,5 ± 0,3
Ca (%)	—	—	0,1 ± 0,04	0,1 ± 0,03
Mg (%)	—	—	0,7 ± 0,02	0,7 ± 0,01
Fe (mg/kg)	277,1	—	70,7 ± 21	87,3 ± 15
Mn (mg/kg)	183,5	—	242,3 ± 8	165,9 ± 6
Zn (mg/kg)	94,8	—	133,9 ± 11	107,9 ± 8
Cu (mg/kg)	30,1	—	16,8 ± 13,3	17,9 ± 9,4

Datos clave derivados del análisis de Ashworth et al. (2024):

- **El nitrógeno orgánico representa el 97% del N total** en el frass de *T. molitor* (frente al 73% en gallinaza), lo que implica una mineralización más lenta pero sostenida, ideal para la liberación gradual de nutrientes.
- **El fósforo soluble reactivo (SRP) constituye el 50-58% del P total** del frass, indicando alta biodisponibilidad y superior potencial fertilizante.
- **Ausencia de metales pesados preocupantes:** As = 0 mg/kg, Pb = 0 mg/kg, Cd = 0,2 mg/kg, Cr = 0,1 mg/kg. Valores muy por debajo de los límites máximos establecidos por la UE para materias primas para piensos.

En comparación con la gallinaza, el frass de *T. molitor* contiene un 43% más de carbono y un 47% más de nitrógeno, con un pH más bajo (6,1-6,4 vs. 8,6-8,7), más favorable para la actividad microbiana del suelo (Ashworth et al., 2024).

## 4.2 Frass de *Hermetia illucens* (BSF).

El estudio más completo sobre la composición del frass de BSF fue realizado por Beesigamukama et al. (2022), que analizó frass de nueve especies de insectos comestibles.

Tabla 2 - Composición de macronutrientes del frass de BSF y *T. molitor* (valores a 5 t/ha). Fuente: Beesigamukama et al. (2022).

Especie	N (kg/ha)	P (kg/ha)	K (kg/ha)	Ca (kg/ha)	Mg (kg/ha)	S (kg/ha)
<i>H. illucens</i> (BSF)	147,5 ± 4,1	63,2 ± 2,7	203,7 ± 4,2	52,7 ± 2,2	26,2 ± 0,93	34,5 ± 0,76
<i>T. molitor</i>	124,3 ± 2,3	69,8 ± 2,6	104,8 ± 1,5	15,8 ± 0,6	28,5 ± 0,87	15,8 ± 0,17

Tabla 3 - Micronutrientes del frass de BSF y *T. molitor* (mg/kg). Fuente: Beesigamukama et al. (2022).

Especie	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	B (mg/kg)
<i>H. illucens</i>	409 ± 36,2	7.803 ± 319,5	168,0 ± 5,03	26,9 ± 0,50	32,6 ± 0,66
<i>T. molitor</i>	176 ± 14,2	436 ± 54,1	102,7 ± 0,33	12,6 ± 0,07	5,8 ± 0,45

Índices de fertilización (Beesigamukama et al., 2022):

- Rango para todas las especies analizadas: 3,9-4,8 (un índice >3 indica fertilizante óptimo).
- **BSF obtiene el índice más alto: 4,8**, lo que confirma su condición de fertilizante de máxima calidad.
- Índice de germinación de semillas: BSF = 267,1 ± 91,7% (tasa de germinación >90%); *T. molitor* = 27,9 ± 6,2% (fitotoxicidad alta, requiere dilución para uso directo).
- Relación C/N: BSF = 13,2 ± 0,39; *T. molitor* = 20,0 ± 0,35.

La composición del frass de BSF refleja directamente la del sustrato de alimentación: sustratos proteicos (residuos de matadero) producen frass rico en proteína, mientras que sustratos con base de champiñón generan frass bajo en proteína (Lomonaco et al., 2024; Rezaei Far et al., 2023). La adición de piel de plátano al sustrato incrementa significativamente el P, K, Ca, Na, Mn y Mg en el frass resultante (Romano et al., 2022)



### 4.3 Composición de exuvias.

El trabajo de Rangel et al. (2022), que comparó diferentes fracciones de insecto como alimento para lubina europea (*Dicentrarchus labrax*), proporciona los datos más detallados sobre la composición de exuvias de BSF.

Tabla 4 - Composición proximal de exuvias de *H. illucens* y comparación con larvas. Fuente: Rangel et al. (2022).

Ingrediente	Proteína bruta (% MS)	Lípidos (% MS)	Quitina (% MS)	Sustitución HP (%)
Exuvias BSF (HEM)	64,3	8,1	7,2	46 (a 25% inclusión)
Larvas BSF (HM)	60,3	6,4	6,8	39 (a 25% inclusión)
Larvas <i>T. molitor</i> (TM)	69,5	14,1	5,2	51 (a 25% inclusión)

Las exuvias de BSF presentan un contenido en quitina ligeramente superior al de las propias larvas (7,2% vs. 6,8%), lo que las convierte en un «concentrado de quitina» natural cuando se separan del frass. Además, su inclusión al 25% en dietas de lubina produjo los efectos más potentes sobre la microbiota intestinal: incremento de 6,5 veces en copias del gen de quitinasa (*chiA*) y enriquecimiento en taxa quitinolíticos beneficiosos como *Paenibacillus* (0% → 5,5%) y *Bacillaceae* (1% → 12,4%) (Rangel et al., 2022).

Tabla 5 - Contenido en quitina por estadio de desarrollo de *T. molitor* (mg/g MS). Fuente: Wang et al. (2021).

Estadio larval	Quitina (mg/g MS)
Instares 3-4	71,9 ± 5,4
Instares 5-6	84,5 ± 2,3
Instares 7-8	92,6 ± 1,5
Instares 9-10	92,3 ± 1,8
Instares 11-12	101,3 ± 4,0
Instar 13 (último)	99,3 ± 3,3
Pupa	95,4 ± 2,0
Adulto	117,9 ± 1,4

Los adultos de *T. molitor* presentan el mayor contenido en quitina (117,9 mg/g MS), consistente con la mayor esclerotización de la cutícula adulta. Este dato es relevante para VGA, ya que los adultos no utilizados para reproducción podrían constituir una fuente concentrada de quitina para su inclusión en dietas.

### Efecto de las exuvias en la microbiota intestinal.

El estudio de Rangel et al. (2022) demostró que las exuvias de BSF (HEM25, 25% de inclusión) producen los efectos más potentes sobre la microbiota intestinal de lubina europea:

- Incremento del número de copias del gen de quitinasa (*chiA*) en digesta:  $2,4 \times 10^4$  copias/g (vs.  $3,7 \times 10^3$  en control;  $p = 0,0077$ ).



- Enriquecimiento de taxa quitinolíticos: Paenibacillus (0% → 5,5%), Staphylococcus (1,1% → 14,8%), Bacillaceae (1% → 12,4%).
- El 73% de los clones de chiA correspondieron a Paenibacillus spp.

**Implicación para insecticultura:** la inclusión de exuvias en dietas de insectos podría enriquecer la microbiota intestinal de las propias larvas en microorganismos quitinolíticos beneficiosos, mejorando potencialmente la salud intestinal y la eficiencia de bioconversión.

### Composición de cutículas/mudas de *T. molitor*.

En el estudio de Toviho y Bársony (2022), las mudas (exuvias) de *T. molitor* presentan una materia seca (MS) del 97,5%, un valor muy alto que confirma que las exuvias son materiales casi completamente secos y de fácil conservación.

No se detectaron diferencias significativas en la composición general entre estadios de pre-muda y muda, ya que la cutícula representa una parte muy pequeña del peso corporal total.

### Extracción de quitosano a partir de subproductos de coleópteros.

Una revisión reciente (Rajan et al., 2026) evalúa el potencial de los subproductos de insectos coleópteros (incluyendo *T. molitor*) como fuente de quitina y quitosano.

Los subproductos (exuvias, restos de cutícula, frass) pueden destinarse a producción de biopolímeros valorados. Se identifican formas polimórficas  $\alpha$ -,  $\beta$ - y  $\gamma$ -quitina en diferentes subórdenes de Coleoptera.

La aplicación circular más prometedora es que la quitina extraída de exuvias pueda funcionar como prebiótico quitinolítico en dietas de los propios insectos, cerrando el ciclo de nutrientes.

## 4.4 Frass como fertilizante fosfórico.

Un estudio español de especial relevancia para el socio del PERTE PROTEINSECTA (Nieto-Cantero et al., 2025) analizó el frass de *T. molitor* y BSF como fertilizante fosfórico en el contexto de la economía circular.

Los resultados clave son:

- En ambos frasses, el P soluble en agua y el P orgánico representan más del 30% y más del 50% del P total, respectivamente.
- **Los valores de Mineral Fertilizer Replacement Value (MFRV) fueron de 150% para frass de BSF y 180% para frass de *T. molitor***, superando el superfosfato mineral de referencia.
- El frass aumentó la biodisponibilidad de P en suelo más que el superfosfato, confirmando su potencial como fertilizante fosfórico de alta eficiencia.



## 5. ESTUDIOS EXPERIMENTALES: RECICLAJE DE SUBPRODUCTOS EN DIETAS.

Esta sección revisa en detalle los estudios experimentales más relevantes que han evaluado el uso de subproductos derivados de insectos como ingredientes en dietas para insectos u otros organismos, proporcionando la base científica para las propuestas.

### 5.1 BSF sobre residuos de cría de grillos y langostas (Moore et al., 2020).

Este estudio constituye la primera demostración científica de que los residuos generados en la cría de insectos pueden ser utilizados exitosamente como sustrato para criar *H. illucens*, cerrando el ciclo de producción entre especies distintas de insectos.

Resultados principales:

- *H. illucens* se desarrolló hasta emergencia adulta en todos los residuos testados (residuos de grillos y residuos de langostas).
- **Supervivencia media: >94%** en todos los tratamientos.
- Los residuos de grillos permitieron un desarrollo más rápido con larvas más pesadas que los residuos de langostas.
- **Reducción del sustrato en residuos de grillos: <72%** (reducción superior); en residuos de langostas: 33% (menor eficiencia).
- La composición nutricional de las larvas BSF reflejó la del sustrato de cría (alto contenido en proteína y grasa).

**Implicación para el socio participante del PP12 - PROTEINSECTA:** este estudio demuestra que la alimentación cruzada entre especies de insectos es técnicamente viable y genera biomasa de alta calidad.

La cría de BSF sobre residuos de producción de *T. molitor* (y viceversa) es la vía más sólida tanto técnica como regulatoriamente.

### 5.2 Recirculación de frass de BSF (Lopes et al., 2024 — SLU).

El estudio más completo sobre recirculación de frass fue realizado por Lopes et al. (2024) en la Universidad Sueca de Ciencias Agrícolas (SLU). Se evaluó la recirculación de frass de *H. illucens* sobre residuos alimentarios posconsumo, incorporando frass al 0-100% sobre base húmeda.

Tabla 6 - Efectos de la inclusión de frass reciclado en el rendimiento de BSF. Fuente: Lopes et al. (2024).

Nivel inclusión frass (%)	Rendimiento larval (kg/t FW)	BCE (%)	Proteína larval (% MS)	Lípidos larvales (% MS)
0 (control)	207	20	27,5	31,1
40	360-403 (+94-96%)	~12	~33	~24
100	Variable	9	~39	16,3

Conclusiones principales del estudio:

- **La recirculación de frass al 40% prácticamente duplica el rendimiento larval** por tonelada de residuo alimentario procesado (+94-96%), sin incrementar la biomasa total de larvas por unidad experimental.
- La eficiencia de bioconversión (BCE) disminuye con el frass (del 20% al 9% al 100%), pero la calidad del frass final mejora significativamente (mayor estabilidad, menor materia orgánica lábil).
- El frass recirculado actúa como agente secante para sustratos húmedos, mejorando las condiciones de cría.
- El contenido proteico de las larvas aumenta progresivamente con la recirculación (de 27,5% a ~39% MS al 100%), mientras que el contenido lipídico disminuye (de 31,1% a 16,3% MS).
- **Limitación identificada:** acumulación de sodio (Na) a niveles de inclusión elevados, lo que podría limitar el número de ciclos de recirculación consecutivos.

### 5.3 Harina de BSF en dieta de *Ceratitis capitata* (Sileem et al., 2025).

Sileem et al. (2025) evaluaron el uso de harina de *H. illucens* y *T. molitor* en la dieta larval de *Ceratitis capitata* (mosca del Mediterráneo) como alternativa a la levadura de cerveza, en el contexto de la técnica del insecto estéril (TIE).

Resultados cuantitativos:

- BSF-Diet: período larval = 5,86 días (vs. 6,05 días dieta estándar y 6,95 días YMW-Diet).
- BSF-Diet: período pupal = 8,06 días (vs. 9,12 días dieta estándar), reduciendo significativamente el tiempo de ciclo.
- Peso pupal, producción de pupas y emergencia adulta fueron significativamente mayores en BSF-Diet.
- El contenido total de proteína fue más alto en BSF-Diet > YMW-Diet > levadura de cerveza.
- Ambas harinas de insecto redujeron los costes de cría respecto a la dieta estándar (mejor FCR).

### 5.4 Sustrato de *T. molitor* como aquafeed (Boonthong et al., 2025).

Boonthong et al. (2025) evaluaron el Feed Substrate Waste (FSW) — el sustrato consumido y excretado por larvas de *T. molitor* — como ingrediente para acuicultura. A medida que aumenta el tiempo de contacto larvas-sustrato, el contenido en proteína bruta y fibra bruta del FSW se incrementa, mientras que el extracto etéreo, los extractivos no nitrogenados (NFE) y la energía bruta disminuyen.

La digestibilidad in vitro de proteínas (IVPD) fue máxima en el día 7 para tilapia y en el día 14 para siluro rayado, aunque inferior a la de piensos comerciales. El FSW podría incluirse como fuente proteica alternativa parcial en acuicultura, abriendo vías de valorización adicionales.



### 5.5 Circuito cerrado insecto-pep-planta (Rizzolo et al., 2019).

Rizzolo et al. (2019) implementaron el primer sistema de economía circular completo que integra insectos, peces y plantas:

1. Residuos de frutas y verduras → sustrato para BSF.
2. Larvas BSF → harina para alimentación de truchas (*Oncorhynchus mykiss*).
3. Residuos post-BSF (frass y restos de cría) → vermicompostaje con *Eisenia fetida*.
4. Vermicompost → enmienda para cultivos de fruta y verdura (retorno al punto 1).

Los resultados confirmaron que las larvas BSF criadas sobre sustrato de frutas y verduras presentaron buena calidad nutricional, la harina BSF resultante fue adecuada para alimentación de truchas, y los lombricompostes de residuos BSF mostraron calidad química equivalente al compost estándar.

Este estudio constituye la primera demostración de cierre del ciclo completo en un sistema insecto-pep-plantas.

### 5.6 BSF sobre subproductos locales Italia (Cattaneo et al., 2024).

Cattaneo et al. (2024) analizaron el potencial de establecer una planta de producción BSF en Italia utilizando subproductos agroalimentarios locales (>115 empresas contactadas en un radio de 100 km). Resultados destacados:

- **Reducción de residuos locales en un 52%** respecto al compostaje convencional.
- **Incremento del valor de producción de 47 veces** respecto a la dieta estándar.

El frass y los residuos post-cosecha de la propia planta deben reintegrarse al ciclo como «sustrato de segunda generación», complementándose con subproductos agroalimentarios del entorno de Albacete.

### 5.7 Frass como componente de sustrato: biometano (Dal Magro et al., 2026).

Un estudio reciente (Dal Magro et al., 2026) evaluó el potencial de producción de biometano a partir del frass de *T. molitor* y *H. illucens* criados en dietas basadas en subproductos. Los resultados muestran que el frass de *T. molitor* tiene mayor potencial de biometano que el frass de BSF, lo que abre la posibilidad de usar el frass como sustrato energético dentro del mismo ciclo productivo, además de como fertilizante.

Esta vía de valorización energética podría complementar la estrategia de circularidad, especialmente cuando el excedente de frass no encuentre salida como fertilizante o como ingrediente de dietas.

### 5.8 Entomoponics y circuito insecto-plantas (Yakti et al., 2025).

Yakti et al. (2025) desarrollaron el concepto de «entomoponics» para describir la integración directa de la producción de plantas con la cría de insectos. Los residuos vegetales (de fresa y judía común) se incorporan como sustrato para *T. molitor*, y el frass resultante se devuelve como fertilizante a los cultivos de plantas.

Este modelo de «doble circularidad» reduce el coste del sustrato y valoriza residuos agrícolas que de otro modo tendrían un coste de gestión para el agricultor.



Un hallazgo importante fue que los antinutrientes (flavonoides, taninos) presentes en los residuos vegetales pueden afectar negativamente al rendimiento larvario si no se realiza un pretratamiento.

El autoclave y la fermentación con *Trichoderma reesei* eliminaron estos antinutrientes sin comprometer la calidad del sustrato. Para productores de insectos esto implica que los subproductos agroalimentarios locales de Albacete deberían someterse a un protocolo de pretratamiento estandarizado antes de su incorporación a las dietas.

### 5.9 Modulación del perfil lipídico mediante adición de grasas al sustrato.

You et al. (2022) demostraron que las larvas BSF acumulan y modifican selectivamente su perfil lipídico en función de la grasa añadida al sustrato. Los ácidos grasos C12:0 (láurico), C14:0 (mirístico) y C16:1n-9 (palmitoleico) son producidos in vivo por las larvas, relativamente independientes de la dieta.

Sin embargo, C16:0 (palmítico), C18:1n-9 (oleico), C18:2n-6 (linoleico) y C18:3n-3 ( $\alpha$ -linolénico) son solo parcialmente incorporados desde la dieta. La adición de aceite de linaza a 5-10% en el sustrato mejora significativamente el perfil de ácidos grasos poliinsaturados de las larvas.

Boaru et al. (2022) confirmaron estos resultados evaluando cinco fuentes de aceite vegetal (10% de inclusión): el aceite de linaza produjo la mayor mejora del perfil lipídico (UFA: 29,94-48,74% de FAME).

Los índices aterogénico (AI) y trombogénico (TI) disminuyeron significativamente con aceites enriquecidos en ácidos grasos insaturados.

Estos datos sugieren que el aceite residual del desgrasado de larvas BSF, si se reincorpora al sustrato de cría de la siguiente generación, podría modular el perfil lipídico de las nuevas larvas de forma controlada.

El aceite de BSF es especialmente rico en ácido láurico (C12:0, ~40-50%), que tiene propiedades antimicrobianas documentadas contra *E. coli*, *Salmonella* y algunos hongos patógenos. Al reincorporarse al sustrato como grasa adicional, puede actuar como prebiótico/antimicrobiano funcional en el intestino larvario, proporcionando un beneficio adicional más allá del mero aporte calórico.

Varios estudios en acuicultura han confirmado que el aceite de BSF puede sustituir parcialmente al aceite de pescado sin afectar negativamente al crecimiento (Gou et al., 2023; Schiavone et al., 2019).

## 6. CANIBALISMO EN INSECTOS DE CRÍA.

El canibalismo y la necrofagia son comportamientos relevantes para la gestión de los insectos muertos como subproducto reutilizable. Su comprensión es esencial para diseñar estrategias de reciclaje proteico interno en las instalaciones de producción industrial de insectos.

### 6.1 *Tenebrio molitor*.

El canibalismo es un comportamiento documentado en *T. molitor*, especialmente bajo condiciones de estrés nutricional o densidad elevada. Los factores desencadenantes identificados en la literatura son:

1. **Deficiencia proteica:** Lardies et al. (2011) demostraron que las larvas en condiciones de déficit proteico desarrollan respuestas fisiológicas compensatorias que alteran el comportamiento alimentario, incluyendo tendencia a la necrofagia.
2. **Alta densidad de población:** la revisión de Sönmez & Erilli (2023) documenta que el canibalismo es uno de los problemas más comunes en instalaciones de producción cuando la densidad poblacional es muy elevada. Se reporta canibalismo en adultos durante condiciones de inanición y sed.
3. **Almacenamiento en frío:** la exposición prolongada al frío (hasta 30 días) reduce el contenido lipídico en larvas no alimentadas, y el retorno a condiciones normales se asocia con episodios de canibalismo en adultos (Sönmez & Erilli, 2023).
4. **Disponibilidad de congéneres muertos (necrofagia):** los insectos muertos son consumidos como fuente proteica por los supervivientes. Este comportamiento puede interpretarse como un mecanismo natural de reciclaje proteico.

### 6.2 *Hermetia illucens*.

A diferencia de *T. molitor*, el canibalismo es menos frecuente en BSF bajo condiciones normales de cría. Sin embargo, la competencia por recursos alimentarios a alta densidad puede incrementar la mortalidad. El documento Bugbook (Coudron et al., 2025) menciona el canibalismo como riesgo potencial en ambas especies bajo condiciones de estrés.

### 6.3 Implicaciones para empresas productoras.

La mortalidad natural (~2-8%) en bandejas de cría puede convertirse en un recurso proteico si los cadáveres permanecen en el sustrato durante los primeros estadios de descomposición.

Sin embargo, es necesario:

- Control microbiológico riguroso: los cadáveres pueden ser vectores de patógenos si permanecen demasiado tiempo en condiciones de alta humedad.
- Mantener una relación C:N apropiada en el sustrato para minimizar la incidencia de canibalismo activo.
- Considerar la recogida de insectos muertos para su procesamiento como harina (PAT), aunque esta vía está sujeta a la prohibición intraespecífica si se destina a la misma especie.
- La composición óptima de dieta para *T. molitor* (67,5-71,5% carbohidratos, 19,9-22,8% proteína, 8,6-10% lípidos según Kröncke & Benning, 2022) debe respetarse para minimizar el estrés nutricional.

## 7. BALANCE DE NUTRIENTES Y EFICIENCIA DE BIOCONVERSIÓN.

### 7.1 Balance de nutrientes en BSF (Parodi et al., 2020).

El estudio de Parodi et al. (2020) utilizó un enfoque de balance de masas para cuantificar el destino de nutrientes en la cría de BSF sobre un sustrato industrial estándar.

Tabla 7 - Eficiencias de bioconversión de nutrientes en BSF. Fuente: Parodi et al. (2020).

Nutriente	Retención en larvas (%)	En residuo/frass (%)	Emitido atmósfera (%)
Carbono (C)	—	55	24 (CO <sub>2</sub> )
Energía	—	55	6 (calor)
Nitrógeno (N)	38	—	1 (NH <sub>3</sub> )
Fósforo (P)	8,5	—	—
Potasio (K)	14	86	—

Las eficiencias de bioconversión oscilan entre el 14% (potasio) y el 38% (nitrógeno). El rango para potasio fue el más bajo, indicando que la mayoría del K queda en el frass, disponible para recirculación.

Las emisiones de gases de efecto invernadero (CH<sub>4</sub> + N<sub>2</sub>O) fueron de 16,8 g CO<sub>2</sub>-eq/kg BSF seca.

### 7.2 Balance de nutrientes en BSF sobre purín porcino (Parodi et al., 2021).

Tabla 8 - Partición de nutrientes en BSF sobre purín porcino (9 días). Fuente: Parodi et al. (2021).

Nutriente	Incorporado en biomasa BSF (% del total ingerido)
Materia seca	12,5%
Carbono	13%
Nitrógeno	25%
Energía	14%
Fósforo	8,5%
Potasio	9%

El N incorporado en las larvas BSF procedente de purín fue del 25%, mientras que el P y K retenidos fueron notablemente bajos (8,5% y 9%), lo que implica que la gran mayoría del P y K se encuentra disponible en el frass para ser reutilizado como fertilizante o para recirculación al sustrato.

### 7.3 Eficiencia de recuperación de N en mezclas de residuos alimentarios (Li et al., 2025).

Li et al. (2025) optimizaron las mezclas de residuos alimentarios para maximizar la eficiencia de recuperación de N en larvas BSF:

- La mezcla RFW: HFW = 1:1 logró la eficiencia de recuperación de nitrógeno más alta: 92,78% y el mayor contenido proteico larvario (42,40%).
- La mezcla RFW: HFW = 3:1 logró el mejor equilibrio entre productividad larvaria y recuperación de nutrientes.



## 7.4 Índices de bioconversión en *T. molitor* (Bordiean et al., 2022).

Tabla 9 - Parámetros de bioconversión en *T. molitor* sobre diferentes dietas. Fuente: Bordiean et al. (2022).

Dieta	Supervivencia (%)	Peso fresco (mg)	FCR	Período larval (días)
CF 100 (pienso avícola)	96,0 ± 2,6	131,5	1,59	76,8 ± 3,2
RM 75/CF 25 (colza+avícola)	96,9 ± 1,4	113,6	1,53	76,0
WB 100 (salvado trigo)	92,0 ± 6,7	140,4	—	74,7
WS 100 (girasol silvestre)	95,8 ± 3,2	76,6	2,08	115,0

Las dietas más proteicas (harina de colza + avícola) dieron el mejor FCR (1,53), mientras el salvado de trigo produjo las larvas más pesadas (140,4 mg).

La supervivencia fue elevada (>92%) en todos los tratamientos, confirmando la versatilidad de *T. molitor* frente a diferentes fuentes de sustrato.

## 7.5 Economía del reciclaje de frass (Beesigamukama et al., 2021).

Beesigamukama et al. (2021) cuantificaron el impacto económico de producir frass fertilizante como subproducto de la cría de BSF:

- **La producción de 1 Mg de larvas BSF secas (valor ~900 USD) genera 10-34 Mg de frass (valor 3.000-10.200 USD).**
- Incluir el frass como producto de valor añadido incrementa los ingresos netos del productor de 5 a 15 veces respecto a la venta exclusiva de larvas.
- El uso directo del frass como fertilizante en maíz generó un 29-44% más de ingresos netos que el fertilizante orgánico comercial.



## 8. MARCO REGULATORIO Y RESTRICCIONES LEGALES.

Esta sección constituye el núcleo regulatorio del informe y reviste especial importancia para productores de insectos para consumo humano y/o animal, dado que determina qué vías de recirculación de subproductos son legalmente viables en el contexto europeo y español.

### 8.1 Reglamento (CE) 1069/2009 — SANDACH.

El Reglamento (CE) n.º 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo establece las normas sanitarias aplicables a los subproductos animales y los productos derivados no destinados al consumo humano (SANDACH). Es la norma fundacional del sistema de gestión de subproductos animales en la UE.

Tabla 10 - Categorías SANDACH y su aplicación a la insecticultura. Fuente: Reglamento (CE) 1069/2009.

Categoría	Descripción	Ejemplo insecticultura	Destinos permitidos
Cat. 1	Mayor riesgo; posible TSE.	No aplica directamente.	Incineración, vertedero.
Cat. 2	Riesgo intermedio.	Insectos con materiales no autorizados.	Compostaje, biogás.
Cat. 3	Menor riesgo.	Frass, exuvias, insectos muertos.	Piensos, fertilizantes, biogás.

Según el artículo 10 (Categoría 3), los invertebrados acuáticos y terrestres distintos de las especies patógenas quedan clasificados como material de Categoría 3.

En consecuencia, los insectos de granja (*T. molitor*, *H. illucens*) y sus subproductos (exuvias, cadáveres) se clasifican como material de Categoría 3, lo que permite un amplio abanico de usos.

El artículo 23 exige que los explotadores que generen subproductos animales notifiquen su actividad a la autoridad competente para su registro. Todo movimiento de SANDACH debe documentarse conforme al artículo 21 y el Reglamento (UE) 142/2011.

### 8.2 Definición legal del frass — Reglamento (UE) 2021/1925.

El Reglamento (UE) 2021/1925, de 3 de noviembre de 2021, incorpora por primera vez una definición armonizada de «frass» en el Anexo I del Reglamento (UE) 142/2011:

«Frass»: mezcla de excrementos derivados de insectos de granja, sustrato alimentario, partes de insectos de granja, huevos muertos y con un contenido de insectos de granja muertos no superior al 5% en volumen ni superior al 3% en peso.

El Reglamento equipara el frass de insectos al estiércol transformado y establece que su comercialización como fertilizante orgánico y/o enmienda del suelo requiere:

- **Tratamiento térmico de al menos 70°C durante un mínimo de 60 minutos.**
- Reducción demostrada de bacterias formadoras de esporas donde se identifiquen como peligro relevante.

**Distinción importante:** la definición de frass bajo la legislación SANDACH solo aplica a los insectos criados como animales de granja. Si los insectos se emplean exclusivamente para tratamiento de residuos, los excrementos generados no se consideran frass y quedan bajo regulación de residuos (Ley 7/2022 y RD 506/2013).



### 8.3 Prohibición intraespecífica — Art. 11 Reg. 1069/2009.

El artículo 11 del Reglamento 1069/2009 prohíbe alimentar a animales terrestres de una especie determinada (excepto animales de peletería) con proteínas animales transformadas (PAT) derivadas de cuerpos o partes de animales de la misma especie. Esta prohibición, conocida como «cláusula de canibalismo» o «intra-species recycling ban», se aplica a los insectos de la misma forma que a cerdos o aves:

- **PROHIBIDO:** Alimentar *T. molitor* con PAT obtenidas de *T. molitor* (misma especie).
- **SITUACIÓN AMBIGUA:** Alimentar *T. molitor* con frass producido por *T. molitor*. El frass no es PAT en sentido estricto, pero los insectos muertos que puede contener (hasta 3% en peso) sí se consideran material SANDACH Cat. 3 sujeto a la prohibición.
- **POTENCIALMENTE PERMITIDO:** Alimentar *T. molitor* con frass producido por *H. illucens* y viceversa, siempre que se cumplan los demás requisitos de transformación (70°C/60 min), dado que son especies distintas.

### 8.4 TSE/Priones: riesgo en insectos.

No se ha identificado ningún agente de encefalopatía espongiforme transmisible (TSE) en insectos en condiciones naturales.

La EFSA y la autoridad neerlandesa de seguridad alimentaria (NVWA) concluyen que el riesgo de propagación de priones a través de insectos es negligible cuando se evita el reciclado intraespecífico y no se utilizan proteínas de rumiantes como sustrato (Gerrits et al., 2023).

Sin embargo, la Comisión Europea aplica el principio de precaución: mientras no haya datos suficientes, la prohibición intraespecífica se mantiene.

El informe de Gerrits et al. (2023) propone una nueva «hoja de ruta TSE» que reconozca la naturaleza biológicamente distinta de los insectos y adapte las prohibiciones en consecuencia.

### 8.5 Reglamentos (UE) 2017/893 y 2021/1372.

El Reglamento (UE) 2017/893 fue el primer instrumento europeo que autorizó el uso de PAT derivadas de siete especies de insectos de granja en piensos para acuicultura. Las especies autorizadas incluyen *H. illucens*, *M. domestica*, *T. molitor*, *A. diaperinus*, *A. domesticus*, *G. sigillatus* y *G. assimilis*.

El Reglamento (UE) 2021/1372 amplió la autorización a piensos para porcino y aves de corral, modificando el Anexo IV del Reglamento (CE) 999/2001.

España desarrolló este reglamento mediante un Real Decreto aprobado en mayo de 2024.

Los sustratos autorizados para alimentar insectos de granja incluyen productos de origen vegetal, productos a base de leche, huevos, harinas de pescado y grasas fundidas de no rumiantes, pero excluyen explícitamente residuos de catering, estiércol, lodos de aguas residuales y proteínas de rumiantes.

### 8.6 Posición de la EFSA.

La EFSA publicó su dictamen científico fundacional sobre insectos en la alimentación (2015) con estas conclusiones clave respecto a la circularidad:

1. Los peligros microbiológicos y químicos dependen principalmente del sustrato empleado.
2. Con sustratos permitidos, el riesgo microbiológico es similar al de otras fuentes proteicas no procesadas.
3. Datos limitados sobre transferencia de contaminantes químicos de sustratos a insectos.
4. Riesgo priónico negligible con sustrato vegetal o de no rumiantes sin reciclado intraespecífico.

## 8.7 Tabla de síntesis regulatoria.

Tabla 11 - Estatus legal de cada subproducto para uso como pienso de insectos.

Subproducto	Cat. SANDACH	Misma especie	Especie distinta
Frass (Reg. 2021/1925)	Cat. 3	PROHIBIDO (intra-species + estiércol).	Zona gris — requiere interpretación.
Exuvias (quitina)	Cat. 3	PROHIBIDO como PAP.	Potencialmente permitido (no PAP).
Insectos muertos (PAP)	Cat. 3 → PAP	Expresamente PROHIBIDO (Art. 11).	Potencialmente permitido si ≠ especie.
Aceite residual	Variable Cat. 2-3	Posible como grasa fundida.	Posible como grasa fundida autorizada.
Torta desgrasada	Cat. 3	PROHIBIDO como PAP.	Requiere autorización específica.

## 8.8 Esterilización térmica — Resultados de Vanlinden et al. (2025)

El estudio de Vanlinden et al. (2025), publicado en MicrobiologyOpen, proporciona los datos más completos sobre la eficacia del tratamiento térmico reglamentario (70°C/60 min) para el frass de ambas especies.

Tabla 12 - Eficacia del tratamiento térmico en frass de BSF y TM. Fuente: Vanlinden et al. (2025).

Tratamiento	Eficacia frass BSF	Eficacia frass TM	Validación Salmonella
70°C × 60 min	✓ Enterobacterias < LOD	✓ Similar	Eliminación confirmada BSF; TM requiere verificación
60°C × 60 min	✓ Eficaz para BSF.	⚠ Salmonella detectada en algunos casos.	Válida BSF; no concluyente TM.
50°C × 90 min	⚠ Parcial.	✗ No suficiente.	No recomendable como tratamiento único.
Almacenamiento 4°C (2 sem.)	Sin aumento bacteriano.	Sin aumento bacteriano.	Sin recontaminación post-tratamiento.

El Reglamento (CE) 999/2001 (Reglamento TSE) establece el «feed ban» que prohíbe alimentar a animales de granja con proteínas animales transformadas derivadas de la misma especie. Los insectos criados para la producción de PAT se consideran animales de granja según el artículo 3(6)(a) del Reglamento 1069/2009. 5

El Reglamento 893/2017 confirmó explícitamente esta clasificación en sus considerandos.



El artículo 11 del Reglamento 1069/2009 se aplica a los insectos de la misma forma que a cerdos o aves.

La propuesta de Gerrits et al. (2023) de una nueva «hoja de ruta TSE» reconoce que los insectos son biológicamente muy distintos de los mamíferos y que las restricciones actuales se aplican por analogía regulatoria más que por evidencia científica de riesgo real de priones.

La monitorización por PCR tiene un límite de detección del 0,1% (Reglamento (CE) No 152/2009, Anexo VI).

Los expertos proponen desarrollar modelos de evaluación cuantitativa del riesgo (QRA) específicos para insectos antes de modificar la legislación.

La tendencia regulatoria europea es hacia una mayor flexibilización, pero requiere datos de seguridad robustos específicos para insectos.

Datos cuantitativos de calidad microbiológica del frass:

- Frass fresco de BSF: TBC 8,4-9,1 log UFC/g; Enterobacterias 5-6 log UFC/g.
- Frass fresco de TM: TBC 5,9 log UFC/g (más bajo que BSF).
- Tras tratamiento 70°C/60 min: Enterobacterias < LOD (1,0 log UFC/g) en ambas especies.

**Conclusión:** el tratamiento de 70°C/60 min es el estándar mínimo seguro. Para frass de *T. molitor*, el perfil microbiológico es diferente al de BSF y puede requerir tratamientos más intensos o complementarios (compostaje parcial). Se recomienda un protocolo de 70°C/60 min como mínimo, con verificación analítica de cada lote.



## 9. ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE VIABILIDAD.

### 9.1 Costes de producción de referencia.

Los datos más recientes sobre costes de producción de insectos proceden de la Universidad de Wageningen (WUR, 2023) y del consorcio SUSINCHAIN.

Tabla 13 - Producción de *T. molitor* — Países Bajos, 2023.

Concepto	Rango (EUR/t larva fresca)
Sustrato seco (cereales, salvado)	638 – 883
Sustrato húmedo	108 – 437
Mano de obra contratada	400 – 1.282
Mano de obra total (propia + contratada)	677 – 2.913
Inversión total (edificios + maquinaria)	3.000 – 11.564
Precio de venta larva fresca	3.100 – 4.278
Ingresos por frass	0 – 150 EUR/t producción
Margen bruto (sin mano de obra propia)	1.113 – 2.307

Tabla 14 - Producción de *H. illucens* — múltiples estudios.

Concepto	Rango (EUR/t larva seca)
Precio de venta larva seca	1.816 – 18.900
Margen energía+alimento+trabajo	-798 a +15.576
CAPEX estimado (convencional)	2.700 – 19.000 USD/t seca/año.

### 9.2 Coste del frass vs. salvado de trigo

Tabla 15 - Comparación de costes de ingredientes de sustrato.

Ingrediente	Proteína bruta (% MS)	Precio referencia (EUR/t)	Fuente
Salvado de trigo.	15-17%	120-200	Mercado UE 2023-2024.
Salvado de maíz.	8-10%	80-140	Mercado UE 2023-2024.
Frass de insectos (fertilizante).	3-7% N (~18-44% PB)	200-800	IPIFF / mercado emergente.
Frass de BSF (coste interno).	Variable	~0-50 (coste tratamiento)	Estimación PROTEINSECTA.

El mercado global de fertilizantes a base de frass estaba valorado en aproximadamente 97 millones USD en 2024, con 68.221 toneladas producidas en Europa (IPIFF, 2023). Los precios de referencia convencionales (FAO, septiembre 2024) se sitúan en: urea 293 USD/t, DAP 577 USD/t, MOP 252 USD/t.

### 9.3 Ahorro potencial en costes de alimentación.

Si se logra recircular el frass como componente del sustrato de cría, los beneficios económicos potenciales serían:



1. **Reducción del coste de sustrato:** reemplazando entre un 10-40% del salvado de trigo (~150 EUR/t) por frass generado internamente (coste marginal de tratamiento ~10-30 EUR/t), el ahorro podría situarse entre 12-50 EUR/t de larva producida, dependiendo de la escala.
2. **Aumento del rendimiento por unidad de residuo:** según Lopes et al. (2024), a 40% de inclusión de frass, el rendimiento larval por tonelada de residuo alimentario aumenta un 94-96%, lo que equivale a reducir el coste de materias primas por tonelada de larva producida en un 30-50%.
3. **Diversificación de ingresos del frass:** el frass de mayor calidad (tras recirculación interna) podría venderse a mayor precio al tener una materia orgánica más estabilizada (más cercana al compost maduro).

#### 9.4 CAPEX/OPEX del sistema de recirculación.

Tabla 16 - Inversión estimada para el sistema de recirculación de subproductos.

Componente	Descripción	CAPEX (EUR)	OPEX anual (EUR)
Secador de frass	Tambor o banda, 1 t/h	50.000 – 200.000	8.000 – 25.000
Horno/esterilizador	70°C × 60 min	15.000 – 80.000	5.000 – 15.000
Molino	Reducción granulométrica	10.000 – 50.000	2.000 – 8.000
Mezcladora sustratos	Formulación y mezcla	20.000 – 100.000	3.000 – 10.000
Sistemas de control	Sensores, SCADA	30.000 – 80.000	5.000 – 15.000
<b>TOTAL</b>		<b>125.000 – 510.000</b>	<b>23.000 – 73.000</b>

Estimaciones basadas en proyectos de escala piloto-industrial (10-100 t larva/año). Para instalaciones a escala laboratorio/piloto como las del socio: PROTEINSECTA, los valores CAPEX serían sensiblemente inferiores.

#### 9.5 Valor económico del frass como subproducto.

El frass constituye el subproducto económicamente más relevante de la insecticultura. Según los datos de Beesigamukama et al. (2021), la producción de 1 Mg (tonelada métrica) de larvas BSF secas (con un valor de mercado de aproximadamente 900 USD) genera entre 10 y 34 Mg de frass, con un valor potencial de 3.000-10.200 USD.

Esto significa que el valor del frass producido puede superar entre 3 y 11 veces el valor de las propias larvas.

El uso directo del frass como fertilizante en cultivos de maíz generó un 29-44% más de ingresos netos que el fertilizante orgánico comercial (Beesigamukama et al., 2021).

En el mercado europeo, el frass de insectos se comercializa a precios que oscilan entre 200 y 800 EUR/t según la calidad y el grado de procesamiento, muy por encima de los fertilizantes sintéticos convencionales (urea a 293 USD/t, DAP a 577 USD/t, MOP a 252 USD/t; FAO, septiembre 2024).

La decisión estratégica entre reciclar el frass internamente (reducción de costes de sustrato) o venderlo como fertilizante (generación de ingresos) dependerá de un análisis coste-beneficio específico que considere:

- el diferencial de coste entre el frass tratado y el salvado de trigo (principal ingrediente sustituido),
- la mejora de rendimiento larval atribuible a la recirculación,
- el precio de mercado del frass en España, y
- los costes de tratamiento térmico y molienda del frass para su uso como ingrediente de dieta.

El mercado global de fertilizantes a base de frass estaba valorado en aproximadamente 97 millones USD en 2024, con 68.221 toneladas producidas en Europa (IPIFF, 2023).

Las proyecciones indican un crecimiento anual del 15-20% durante la próxima década, impulsado por la demanda de fertilizantes orgánicos en agricultura de precisión y cultivos de alto valor. Los productores españoles podrían posicionarse en este mercado emergente como productor de frass premium certificado bajo el Reglamento (UE) 2019/1009.

## 9.6 Análisis break-even.

Para que la recirculación del frass sea económicamente rentable:

**Condición de equilibrio:** ahorro en costes de sustrato + Incremento de ingresos por rendimiento > CAPEX amortizado + OPEX adicional.

- Ahorro por kg de salvado de trigo sustituido: ~0,13-0,20 EUR/kg.
- CAPEX amortizado (10 años): ~12.500-51.000 EUR/año.
- Umbral de producción mínima para rentabilidad: 50-200 t de larva fresca/año**, dependiendo del porcentaje de inclusión de frass y el diferencial de coste del sustrato.

En el contexto de empresas de investigación en fase PERTE, la recirculación no necesita ser rentable per se en la fase actual — el valor es el conocimiento generado y la demostración de viabilidad técnica.

## 9.7 Datos de análisis de ciclo de vida (LCA).

Tabla 17 - Huella de carbono comparada de diferentes fuentes proteicas para pienso. Fuentes: Ricardo LCA (2025), LCA PEFCR Riga (2023), InsectBiotech (2025).

Sistema productivo	Huella CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína)	Referencia
Harina de soja	2,2 – 3,0	Ricardo LCA, 2025.
Harina de pescado	3,1 – 7,1	Ricardo LCA, 2025.
BSF — sustrato convencional	30,1	Ricardo LCA, 2025.
BSF — residuos alimentarios	12,9	Ricardo LCA, 2025.
BSF — estiércol de pollo	~20	Ricardo LCA, 2025.
T. <i>molitor</i> — proteína	~1,70	LCA PEFCR Riga, 2023.
H. <i>illucens</i> — escenario óptimo	~0,10	LCA PEFCR Riga, 2023.
Frass como fertilizante	0,05	InsectBiotech, 2025.
Fertilizantes sintéticos NPK	1,1 – 1,7	InsectBiotech, 2025.

El uso de frass como fertilizante orgánico tiene una huella de carbono de 0,05 kg CO<sub>2</sub>eq/kg, frente a 1,1-1,7 kg CO<sub>2</sub>eq/kg para fertilizantes sintéticos NPK, lo que representa el mayor potencial de reducción de impacto ambiental de la economía circular en insecticultura.

Los hotspots principales identificados en los estudios LCA son: producción de pienso/sustrato (hasta 90% del impacto) y calefacción de instalaciones (hasta 65%).

La utilización de sustratos basados en subproductos agroalimentarios y energía renovable puede reducir la huella de *T. molitor* hasta un 18-72% respecto a la producción de pollo ecológico (Dreyer et al., 2021).

### 9.7.1 Marco Metodológico del LCA.

El Análisis de Ciclo de Vida (LCA, por sus siglas en inglés) es la metodología de referencia internacional para cuantificar los impactos ambientales asociados a un sistema productivo a lo largo de todas sus etapas, desde la extracción de materias primas hasta la disposición final del producto.

Está estandarizado por las normas **ISO 14040** (Principios y marco de referencia) e **ISO 14044** (Requisitos y directrices), y su aplicación en el sector de proteínas alternativas ha cobrado especial relevancia en la última década.

En el contexto de proteínas para pienso animal, los estudios LCA deben definir con precisión cuatro elementos:

- **Objetivo y alcance:** determinación de los límites del sistema (normalmente *cradle-to-gate* o *cradle-to-grave*).
- **Unidad funcional:** habitualmente expresada como 1 kg de proteína bruta o proteína digestible suministrada, lo que permite comparaciones directas entre sistemas muy diferentes.
- **Inventario de ciclo de vida (ICV):** cuantificación de todos los flujos de energía, agua, materiales y emisiones dentro de los límites del sistema.
- **Evaluación del impacto (EICV):** conversión del inventario en indicadores de impacto ambiental, siendo el **Potencial de Calentamiento Global (GWP)** expresado en kg CO<sub>2</sub>eq la categoría más frecuentemente reportada, aunque los estudios rigurosos contemplan hasta 16–18 categorías de impacto.

Una dificultad metodológica crítica en la insecticultura es la **asignación de impactos entre co-productos** (harina proteica, aceite de insecto, frass). Los métodos de asignación económica, por expansión de sistema o por masa producen resultados significativamente distintos, lo que dificulta la comparabilidad entre estudios. Esta heterogeneidad metodológica es la principal razón por la que los rangos de huella de carbono publicados para insectos varían en más de dos órdenes de magnitud.<sup>[8][6]</sup>

El marco **PEFCR** (Product Environmental Footprint Category Rules) de la Comisión Europea ofrece reglas armonizadas para calcular y reportar la huella ambiental de piensos compuestos, y ha sido aplicado a proteínas de insectos por equipos de investigación en Riga (Letonia) y otros centros europeos. El PEFCR contempla 18 categorías de impacto y es el método de referencia para comparaciones a nivel UE.



### 9.7.2 Análisis Detallado de la Tabla 15.

Tabla 18 - Huella de carbono comparada de diferentes fuentes proteicas para pienso.

Sistema productivo	Huella CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq/kg proteína)	Referencia
Harina de soja	2,2 – 3,0	Ricardo LCA, 2025.
Harina de pescado	3,1 – 7,1	Ricardo LCA, 2025.
BSF — sustrato convencional	30,1	Ricardo LCA, 2025.
BSF — residuos alimentarios	12,9	Ricardo LCA, 2025.
BSF — estiércol de pollo	~20	Ricardo LCA, 2025.
T. <i>molitor</i> — proteína	~1,70	LCA PEFCR Riga, 2023.
H. <i>illucens</i> — escenario óptimo	~0,10	LCA PEFCR Riga, 2023.
Frass como fertilizante	0,05	InsectBiotech, 2025.
Fertilizantes sintéticos NPK	1,1 – 1,7	InsectBiotech, 2025.

#### 9.7.2.1 Harina de soja (2,2 – 3,0 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína).

La harina de soja es la proteína de referencia más utilizada en piensos monogástricos.

Su huella de carbono de 2,2–3,0 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de proteína, según el estudio Ricardo (2025), encargado por el Departamento de Medio Ambiente, Alimentación y Asuntos Rurales (DEFRA) del Reino Unido, incluye los impactos de cultivo, extracción y transporte. Este rango puede ser considerablemente mayor si se consideran escenarios con deforestación asociada en Brasil (hasta 5–8 kg CO<sub>2</sub>eq/kg en estudios de ACV consecuencial), pero el alcance del estudio Ricardo se limita a la producción actual en el mercado del Reino Unido.

La soja constituye la línea de base de comparación más relevante para evaluar si las proteínas alternativas, incluyendo los insectos, pueden realmente descarbonizar el sector de piensos.

#### 9.7.2.2 Harina de pescado (3,1 – 7,1 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína).

La harina de pescado presenta una variabilidad significativa (más del doble entre el valor mínimo y máximo), reflejo de la heterogeneidad en las especies capturadas, los métodos de pesca, la eficiencia energética de los procesos de reducción y las distancias de transporte.

Las capturas en caladeros lejanos, que requieren embarcaciones de alta potencia durante períodos prolongados, elevan considerablemente la huella en comparación con capturas costeras.

Desde una perspectiva de sostenibilidad sistémica, la harina de pescado también conlleva impactos adicionales que no siempre se recogen en el GWP: agotamiento de recursos marinos, eutrofización de aguas costeras y presión sobre ecosistemas pelágicos.

#### 9.7.2.3 BSF con sustrato convencional (30,1 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína).

El dato más discutido de la Tabla 18 es la huella de 30,1 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de proteína para *Hermetia illucens* (BSF) alimentada con pienso comercial convencional.

Este escenario, que refleja la práctica más extendida en las grandes empresas insecticultoras europeas, es entre 5,7 y 13,5 veces peor en términos climáticos que la harina de soja.



La causa dominante de esta elevada huella es la **producción del sustrato/pienso**, que puede representar hasta el 90% del impacto total del sistema.

Cuando los insectos se crían con piensos formulados a base de cereales o materias primas convencionales, arrastran todos los impactos aguas arriba de esos cultivos, sin ninguna ventaja circular. Este resultado es coherente con la literatura académica independiente revisada por el Insect Institute: la circularidad prometida de los insectos solo se materializa cuando la fuente de sustrato es genuinamente un subproducto o residuo de bajo impacto.

#### 9.7.2.4 BSF con Residuos Alimentarios (12,9 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína).

El uso de residuos de la cadena alimentaria como sustrato para BSF reduce la huella a 12,9 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína. Aunque sigue siendo cuatro veces superior a la soja bajo esta comparación directa, este escenario introduce un crédito sistémico relevante: el residuo habría requerido tratamiento (compostaje, digestión anaerobia, vertedero) con sus propias emisiones asociadas, y la producción de insectos evita ese tratamiento.

Estudios LCA consecuencial —que sí incorporan estos efectos de sustitución en el mercado— reportan valores bastante menores, llegando incluso a GWP negativos cuando se incorporan todos los créditos de sustitución de fertilizantes químicos y de proteína animal convencional.

La diferencia con el LCA atribucional del estudio Ricardo LCA refleja el efecto del método de asignación, no necesariamente una divergencia factual.

#### 9.7.2.5 BSF con Estiércol de Pollo (~20 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína).

El estiércol de pollo como sustrato ofrece un escenario intermedio (~20 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína). Si bien el estiércol es un residuo con impacto prácticamente nulo en el lado del sustrato, la dificultad reside en la **calidad nutricional subóptima** de este material para las larvas BSF, lo que requiere suplementación y prolonga los ciclos de producción.

Adicionalmente, el manejo de estiércol en instalaciones insecticultoras europeas requiere cumplimiento de normativas veterinarias estrictas sobre patógenos y trazabilidad.

Desde el punto de vista ambiental, existe un crédito potencial por evitar las emisiones del estiércol no tratado (principalmente CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O en almacenamiento), que en LCA consecuencial puede mejorar significativamente el balance.

#### 9.7.2.6 *Tenebrio molitor* — Escenario PEFCR Riga (~1,70 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína).

El estudio LCA siguiendo metodología PEFCR publicado en Riga (2023) reporta una huella de ~1,70 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de proteína para *Tenebrio molitor* en un escenario de producción optimizado. Este valor es inferior al rango de la soja según el estudio Ricardo, aunque los límites del sistema y el contexto geográfico difieren.

El estudio de Dreyer et al. (2021), uno de los más robustos disponibles en literatura académica revisada por pares para *T. molitor*, reporta un GWP de 20,4 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de proteína en un sistema de pequeña escala con alimentación ecológica en Austria.

La diferencia respecto al valor PEFCR Riga ilustra el efecto crítico de:

- a) la escala de producción (industrial vs. artesanal),



- b) la fuente energética (renovable vs. gas natural), y
- c) la composición del sustrato. El mismo estudio Dreyer identifica que la producción de pienso contribuye hasta el **90% del GWP** y la calefacción de instalaciones hasta el **65%**, según la categoría de impacto.

#### 9.7.2.7 H. *illucens* — Escenario Óptimo PEFCR (~0,10 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína)

El valor de 0,10 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína para BSF en escenario óptimo según la metodología PEFCR Riga representa el **techo teórico de eficiencia** del sistema cuando convergen las condiciones más favorables: uso de sustratos residuales de impacto próximo a cero, energía 100% renovable, maximización de la valorización de co-productos (aceite, frass) y producción en regiones cálidas donde la calefacción no es necesaria.

Este resultado está alineado con la estimación de InsectBiotech (2025) para su propia producción industrial en España, que usando orujo de aceituna como sustrato principal reporta una huella de insect meal de 0,5 kg CO<sub>2</sub>eq/kg en el escenario óptimo.

El contraste entre 30,1 (sustrato convencional) y 0,10 (escenario óptimo) para la misma especie ilustra de manera poderosa que la **variable determinante no es la biología del insecto sino la logística del sustrato y la energía**.

#### 9.7.3 Frass como Fertilizante Orgánico vs. Fertilizantes Sintéticos NPK.

##### 9.7.3.1 Huella de carbono del frass (0,05 kg CO<sub>2</sub>eq/kg).

El frass —mezcla de excrementos larvarios, cutículas y restos de sustrato— generado durante la producción de insectos presenta una huella de carbono de apenas **0,05 kg CO<sub>2</sub>eq/kg** según el estudio LCA de InsectBiotech (2025). Este valor, que se sitúa por debajo incluso del escenario óptimo para la proteína de insecto, refleja que el frass es esencialmente un coproducto del proceso de bioconversión al que se le asigna muy poca carga ambiental bajo la metodología empleada.

##### 9.7.3.2 Comparación con fertilizantes sintéticos NPK (1,1 – 1,7 kg CO<sub>2</sub>eq/kg).

Los fertilizantes sintéticos NPK generan entre 1,1 y 1,7 kg CO<sub>2</sub>eq/kg, cifra que incorpora principalmente la energía fósil y las emisiones de proceso en la síntesis de amoníaco (ruta Haber-Bosch para el nitrógeno), ácido fosfórico y sales potásicas. La diferencia de **22–34 veces** en la huella de carbono a favor del frass representa el mayor diferencial de impacto identificado en la economía circular de la insecticultura.

Más allá del GWP, la literatura científica subraya ventajas adicionales del frass:

- **Riqueza en N y C orgánico:** contenido de N y C hasta un 43–47% superior a la cama de pollo (*poultry litter*), con elevada disponibilidad de fósforo soluble.
- **Efecto biostimulante por la quitina:** la presencia de quitina activa respuestas de defensa sistémica en plantas, reduciendo la necesidad de fitosanitarios.
- **Huella de patógenos y metales pesados prácticamente nula:** As, Cd, Cr y Pb casi ausentes, un perfil muy favorable frente a purines y lodos.

- **Mejora de la salud del suelo:** incremento de la actividad microbiana, capacidad de retención de agua y secuestro de carbono en el suelo

Un estudio de referencia de la FAO (Bohuon/Quantis) señala que la huella de carbono del frass de *T. molitor* como sustituto de fertilizante convencional es **8 veces menor** en escala de 100 años, lo que consolida su papel como palanca de reducción de impacto en la economía circular de la insecticultura.

#### 9.7.4 Hotspots Ambientales Identificados en los Estudios LCA.

El consenso entre los estudios LCA disponibles converge en dos puntos críticos de impacto (*environmental hotspots*):

##### 9.7.4.1 Hotspot 1: Producción del pienso/sustrato (hasta 90% del GWP).

La producción y preparación del sustrato larvario es, con diferencia, el mayor contribuyente al GWP total del sistema. Este impacto es consecuencia directa de la cadena de producción agrícola upstream: cultivo de cereales, transporte, secado, formulación del pienso. En el estudio Dreyer et al. (2021), la contribución de la alimentación al GWP alcanza hasta el 90% dependiendo de la categoría de impacto analizada.

La conclusión operativa es contundente: **la elección del sustrato es la decisión ambiental más importante en insecticultura.**

El uso de subproductos agroalimentarios (residuos de molinería, orujo, pulpa de frutas, subproductos de cervecería) puede reducir este hotspot hasta en un 85–90% respecto al pienso convencional.

##### 9.7.4.2 Hotspot 2: Calefacción de instalaciones (hasta 65% del impacto energético).

*T. molitor* y *H. illucens* son insectos tropicales y subtropicales que requieren temperaturas de cría de 25–32°C.

En climas centroeuropeos, la calefacción de las instalaciones puede representar hasta el **65%** del impacto total en categorías como uso de energía no renovable. Este hotspot es especialmente relevante para proyectos en zonas templadas.

Las estrategias de mitigación incluyen:

- Integración con excedentes de calor industrial (*waste heat*).
- Uso de energías renovables (solar térmica, biomasa, geotermia).
- Relocalización de producción en climas cálidos (Mediterráneo, trópico).
- Integración con plantas de biogás o cogeneración que proporcionan calor como residual.

#### 9.7.5 Potencial de Reducción de Impacto: *T. molitor* vs. Pollo Ecológico.

Dreyer et al. (2021) es el estudio LCA más completo disponible para *T. molitor* en condiciones de producción orgánica centroeuropea y ofrece una comparación directa con el pollo ecológico austriaco. Los resultados muestran que el sistema de producción de gusano de la harina puede lograr un impacto ambiental **18–72% inferior al pollo ecológico** en las categorías analizadas (GWP, uso de energía no renovable, acidificación, eutrofización, uso de suelo), dependiendo del escenario de análisis de sensibilidad.

El rango tan amplio (18–72%) refleja la elevada sensibilidad de los resultados a:

- La fuente energética utilizada en la instalación (gas natural vs. electricidad renovable vs. biogás).
- La proporción de subproductos vs. pienso convencional en la formulación del sustrato.
- La escala de producción y eficiencias logísticas.
- El método de asignación de cargas entre coproductos.

Optimizando estos factores, la insecticultura puede alcanzar un **perfil ambiental 18–72% mejor** que su principal competidor de proteína animal de alta calidad en el mercado ecológico, lo que constituye una ventaja competitiva diferenciable desde el punto de vista de comunicación de sostenibilidad y acceso a mercados de alto valor.

### 9.7.6 Análisis comparativo integral y posicionamiento estratégico.

#### 9.7.6.1 Divergencias entre estudios y su interpretación.

La coexistencia de valores tan dispares en la Tabla 15 —desde 0,10 hasta 30,1 kg CO<sub>2</sub>eq/kg proteína para la misma especie (BSF)— no constituye una inconsistencia científica sino el reflejo de que **el insecto por sí mismo no tiene huella de carbono intrínseca**: la huella es fundamentalmente la del sistema productivo que lo rodea.

Los estudios más críticos (Ricardo/DEFRA 2025) modelan condiciones actuales de mercado (pienso convencional, energía de la red del UK) y concluyen que la insecticultura convencional no descarboniza el sector de piensos. Los estudios más optimistas (PEFCR Riga 2023, InsectBiotech 2025) modelan escenarios de producción circular, con sustratos residuales y energía renovable. Ambas perspectivas son válidas y no contradictorias: describen extremos de un continuum de posibilidades.

Para un proyecto de insecticultura que aspire a maximizar el beneficio ambiental y el valor de mercado de sus credenciales de sostenibilidad, los LCA disponibles señalan una hoja de ruta clara:

Tabla 19 - Factores de maximización de beneficio ambiental.

Palanca de mejora	Reducción potencial del GWP	Referencia
Sustituir pienso convencional por subproductos agroalimentarios.	57–90%	Ricardo LCA, Dreyer.
Usar energía renovable (sustituye gas natural).	20–40%	Dreyer et al.
Valorizar frass sustituyendo fertilizantes NPK.	Crédito de hasta 1,1–1,7 kg CO <sub>2</sub> eq/kg frass producido	InsectBiotech.
Relocalizar producción en zona cálida (sin calefacción).	30–65% (categoría energía)	PEFCR Riga, Dreyer.
Escala industrial (economías de proceso).	15–30%	Smetana et al.

#### Relevancia para la comunicación de sostenibilidad.

Los datos LCA de la Tabla 15 constituyen la base evidencial para:



1. **Certificaciones y sellos de sostenibilidad:** EPD (Environmental Product Declaration), Huella de Producto bajo PEF/PEFCR.
2. **Mercados de carbono voluntarios:** en proyectos donde la insecticultura se integra con tratamiento de residuos orgánicos, los créditos por evitar emisiones de metano del vertedero/compost son cuantificables y verificables mediante metodologías ACR o VCS.
3. **Diferenciación comercial frente a harina de soja y pescado:** la proteína de insecto producida bajo condiciones óptimas puede alcanzar una huella hasta 20–30 veces inferior a la harina de soja, un argumento poderoso para compradores con compromisos de Scope 3.
4. **Cumplimiento de requisitos de la taxonomía verde europea:** la clasificación de actividades insecticultoras como "sustancialmente sostenibles" depende en parte de la documentación LCA del sistema productivo específico.

### 9.7.7 Limitaciones y necesidades de datos adicionales.

A pesar del volumen creciente de estudios LCA sobre insectos, persisten lagunas metodológicas relevantes:

- **Escasez de datos primarios a escala industrial:** la mayoría de los estudios parten de datos de instalaciones piloto o pequeña escala, con incertidumbre en la extrapolación.
- **Heterogeneidad en los límites del sistema:** la comparabilidad directa entre estudios es limitada por diferencias en alcance (*cradle-to-gate* vs. *cradle-to-grave*), unidad funcional (proteína bruta vs. proteína digestible) y métodos de asignación.
- **Ausencia de datos para sustratos no convencionales regionales:** el orujo de aceituna (relevante para el contexto ibérico-mediterráneo), algas invasoras o subproductos pesqueros como sustratos para BSF/T. molitor carecen de LCA primarios publicados.
- **Emisiones directas de GEI del proceso larvario:** las emisiones biogénicas de CH<sub>4</sub> y N<sub>2</sub>O directamente del proceso de bioconversión siguen siendo un área con datos escasos y de alta incertidumbre.
- **Impactos hídricos en clima mediterráneo:** el uso del agua en instalaciones cerradas en zonas con estrés hídrico es una categoría de impacto infraestudiada en el contexto español.

La realización de un **LCA site-specific** para el proyecto, utilizando datos primarios de la instalación, sustratos locales y la matriz energética regional, es la acción de mayor valor para dotar de credibilidad técnica los argumentos de sostenibilidad ante inversores, compradores institucionales y organismos reguladores.



## 10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES PARA LAS EMPRESAS DEL SECTOR.

### 10.1 Síntesis de hallazgos.

1. **La recirculación directa de frass de la misma especie no está permitida** bajo la normativa SANDACH vigente (Art. 11, Reg. 1069/2009). Sin embargo, el frass no es PAP stricto sensu, lo que genera un argumento interpretativo que requiere confirmación por la autoridad competente (AESAN/MAPA).
2. **El frass de especie distinta ofrece la vía más sólida** técnica y regulatoriamente para industrias productoras. Requiere tratamiento a 70°C/60 min, documentación SANDACH Cat. 3 y seguimiento de parámetros de calidad.
3. **Las exuvias de *T. molitor* son un subproducto de alto valor** (10-25% quitina) con potencial prebiótico (Kim et al., 2019). Su uso como ingrediente dietético no está explícitamente regulado como PAP.
4. **La viabilidad económica depende de la escala de producción.** El umbral de rentabilidad se estima en 50-200 t de larva fresca/año. Para una empresa en fase de investigación, el valor primario es la demostración técnica.
5. **Los estudios LCA son ambiguos sobre el efecto neto**, pero la sustitución de fertilizantes sintéticos por frass es claramente positiva (0,05 vs. 1,1-1,7 kg CO<sub>2</sub>eq/kg).
6. **Los tratamientos previos óptimos son:** (a) secado a 70°C para TM; (b) secado + tratamiento térmico 70°C/60 min para BSF; (c) fermentación láctica como alternativa complementaria.

### 10.2 Recomendaciones operativas.

1. **Consulta regulatoria formal a AESAN/MAPA:** antes de cualquier ensayo de alimentación, presentar una consulta escrita sobre la categorización del frass de *H. illucens* como ingrediente en dietas experimentales de *T. molitor*, acogiendo la investigación al artículo 6 del Reglamento 1069/2009 (tecnologías alternativas).
2. **Diseño experimental priorizado:** iniciar con frass de BSF tratado térmicamente (70°C/60 min) como sustituto del 10-25% del salvado de trigo en dietas de *T. molitor*. Menor riesgo regulatorio (especie distinta) y mayor base científica disponible.
3. **Protocolo completo de caracterización del frass:** antes de cualquier uso, analizar: proteína bruta, materia orgánica, N/P/K, TBC, Enterobacteriaceae, metales pesados (Pb, Cd, Cr, As, Hg), micotoxinas (aflatoxinas, ZEA, OTA, DON), PFAS y humedad.
4. **Seguimiento de calidad larvaria:** en todos los ensayos, determinar en las larvas cosechadas: proteína bruta, perfil de aminoácidos (HPLC), perfil lipídico (GC-FID), metales pesados y calidad microbiológica.
5. **Generación de datos LCA propios:** instrumentar el proceso de producción para medir consumos energéticos reales y calcular la huella de carbono del sistema de recirculación frente al sistema lineal.
6. **Estrategia de publicación científica:** los resultados tienen alto valor de novedad para publicación en *Insects* (MDPI), *Journal of Insects as Food and Feed*, *Waste Management* o *Animal Feed Science and Technology*.



### 10.3 Propuesta de formulaciones experimentales.

#### Formulación propuesta para *T. molitor*.

Tabla 20 - Propuesta de dieta experimental para *T. molitor* con subproductos internos.

Ingrediente	Inclusión (%)	Función	Observaciones
Salvado de trigo.	50-60	Fuente energética/fibra.	Control/base.
Frass de <i>H. illucens</i> tratado (70°C/60 min).	15-25	Sustrato enriquecido en N, minerales, quitina.	Diferente especie → menor riesgo; ≤25% para evitar acumulación Na.
Exuvias de <i>T. molitor</i> molidas.	5-10	Fuente de quitina/prebiótico.	Control microbiológico previo (Kim et al., 2019).
Subproductos cervecera (orujo).	10-15	Proteína adicional.	Autorizado como sustrato.
Fuente hídrica (zanahoria/hortalizas).	15-20	Humedad necesaria.	Ajustar según condiciones de cría.

#### Formulación propuesta para *H. illucens*.

Tabla 21 - Propuesta de dieta experimental para *H. illucens* con subproductos internos.

Ingrediente	Inclusión (%)	Función	Observaciones
Residuos alimentarios.	40-60	Base del sustrato.	Autorizado bajo Reg. 893/2017.
Frass de <i>T. molitor</i> tratado (70°C/60 min).	10-20	Sustrato enriquecido, agente secante.	Diferente especie; actúa como agente secante para FW húmedo.
Orujo cervecero / subproductos levadura.	10-20	Proteína fermentable.	Alto en aminoácidos; mejora SGR.
Residuos de panadería.	10-15	Energía (almidón).	Fuente energética de bajo coste.
Exuvias de <i>H. illucens</i> .	≤5	Retorno de quitina.	Datos limitados; evaluar efecto.

Porcentajes máximos recomendados según la evidencia disponible:

- **Frass (cualquier especie): máximo 25-30%** de la dieta base para evitar efectos negativos en índice de conversión y acumulación de Na (Lopes et al., 2024).
- **Exuvias molidas: máximo 10-15%** como fuente de fibra/quitina.
- **Insectos muertos procesados (PAP distinta especie): máximo 10%** (datos limitados; si regulatoriamente autorizado).



## 10.4 Diferencias entre *T. molitor* y *H. illucens* en tolerancia a subproductos.

La respuesta de ambas especies de referencia a la inclusión de subproductos en sus dietas difiere significativamente, lo cual debe considerarse en el diseño experimental.

Tabla 22 - Comparativa de características relevantes para la recirculación de subproductos.

Parámetro	<i>T. molitor</i>	<i>H. illucens</i>
Sustrato preferido	Cereales secos; baja humedad (<20%).	Sustratos húmedos (60-80% humedad).
Tolerancia a frass	Moderada; puede reducir apetito.	Alta; frass como agente secante beneficioso.
Perfil microbiológico frass	Menor carga: TBC ~5,9 log.	Mayor carga: TBC 8,4-9,1 log.
Riesgo acumulación Na	Mayor con alta inclusión de frass.	Moderado.
Cambio composición larval	+41% proteína, -32% grasa (100% frass).	Moderado según nivel inclusión.
Tiempo de ciclo	3-4 meses (larva completa).	2-3 semanas (prepupa).
Quitina en exuvias	10-25% (abundantes por muda continua).	Menos exuvias (pocas mudas).
Exuvias totales producidas	Alto (9-20 instares)	Bajo (6 instares)

Esta comparativa evidencia que la estrategia de recirculación óptima debe ser asimétrica: utilizar frass de BSF (con mayor contenido mineral y mejor perfil fertilizante) como ingrediente en dietas de *T. molitor* (donde actúa como fuente de nutrientes), y utilizar frass de *T. molitor* (más seco, menor carga microbiana) como agente secante y enriquecedor de sustratos húmedos para BSF.

## 10.5 Principales brechas de conocimiento.

La revisión exhaustiva de la literatura permite identificar las siguientes brechas de conocimiento que este PP12 y los trabajos desarrollados pueden contribuir a cerrar:

1. **Ausencia de estudios experimentales directos** sobre el uso del frass de *T. molitor* o BSF como ingrediente en la propia dieta de larvas de la misma especie. La literatura se centra casi exclusivamente en el frass como fertilizante agrícola.
2. **Escasa información cuantitativa** sobre la composición de exuvias aisladas de *T. molitor*. La mayoría de datos incluyen las exuvias dentro del frass.
3. **Balance de nutrientes en ciclos múltiples:** no existe ningún estudio que haya realizado más de 2 ciclos de reciclaje para evaluar la acumulación de contaminantes en ciclos repetidos.
4. **Marco regulatorio pendiente de clarificación:** el estatus legal del uso de subproductos de la propia especie (frass, exuvias) como ingrediente en las dietas de insectos de la misma especie necesita pronunciamiento específico de la EFSA.
5. **Patógenos específicos de insectos** (*Beauveria bassiana*, *Metarhizium anisopliae*) en frass reciclado: no hay estudios que evalúen la proliferación de estos patógenos entomopatógenos en ciclos de recirculación del frass.



## 10.6 Tabla resumen: subproductos y su potencial como ingrediente.

Tabla 23 - Síntesis del potencial de cada subproducto para su uso en dietas de insectos.

Subproducto	Composición	Potencial	Restricciones
Frass de <i>T. molitor</i>	N: 0,81-3,5%; P: 0,79-1,9%; K: 1,28-1,9%; MO: 90%.	Sustrato 2ª gen. para BSF; biofertilizante.	Carga microbiana; fitotoxicidad.
Frass de BSF	N: 2,5-3%; P: 1,3-1,5%; K: 2-4%; Fe: 7.803 mg/kg.	Biofertilizante; posible sustrato para TM.	Salmonella; monitoreo patógenos.
Exuvias de BSF	Proteína: 64,3% MS; Quitina: 7,2%.	Fuente quitina funcional; prebiótico.	Regulación incierta.
Exuvias de <i>T. molitor</i>	MS: 97,5%; quitina 10-25%.	Fuente concentrada de quitina.	Regulación incierta.
FSW (sustrato usado)	Proteína ↑ con tiempo; IVPD variable.	Ingrediente parcial acuicultura.	IVPD < comerciales.
Aceite residual	Láurico 40-50% (BSF); oleico/linoleico (TM).	Modulación lipídica; antimicrobiano.	Ninguna específica.
Insectos muertos	Proteína ~50-65% MS.	Fuente proteica emergencia.	Prohibición intraespecífica; riesgo micro.
Residuos grillos/langostas → BSF	Variable según especie.	BSF de alta calidad.	Ninguna conocida.

## 10.7 Experiencias industriales y empresas referentes.

El análisis de las prácticas industriales actuales en el sector proporciona contexto relevante para la estrategia de producción y conversión de insectos. Las inversiones acumuladas en insecticultura alcanzaron aproximadamente 2.000 millones USD hasta junio de 2024 (Rethink Priorities, 2024), con una proyección de producción para 2030 de ~221.000 toneladas de larva seca.

Tabla 24 - Empresas referentes y prácticas de circularidad interna.

Empresa	Especie	¿Recircula subproductos?	Notas
Ynsect (Francia)	<i>T. molitor</i>	Parcialmente — frass externo	Planta Amiens >230.000 t/año; 2/3 → fertilizante.
Protix (Países Bajos)	<i>H. illucens</i>	Frass como fertilizante.	Absorbida por Tyson Foods; 1ª BSF rentable en Europa.
InnovaFeed (Francia)	<i>H. illucens</i>	Residuos molino; frass fertilizante.	Mayor granja insectos; 10B larvas simultáneas.
InsectBiotech (UE)	BSF/TM	Frass como biofertilizante.	Huella frass: 0,05 kg CO <sub>2</sub> eq/kg.
PROTEINSECTA (España)	BSF/TM	En investigación (PP12).	Formulación dietas con subproductos.

Proyectos de investigación en circuito cerrado:

- **SUSINCHAIN (H2020):** Investigó la economía circular en producción de insectos, incluyendo valorización de subproductos y análisis de seguridad.



- **InDIRECT (BBI-JU):** Análisis legal detallado de la circularidad en insecticultura europea, incluyendo el marco TSE/priones.
- **Universidad SLU (Suecia):** Estudio pionero de recirculación de frass en sistemas de bioconversión BSF (Lopes et al., 2024).
- **Proyecto SARE GS25-318 (EE.UU.):** «Frass Forward» — integra frass como fertilizante y posible ingrediente de pienso para aves en sistemas orgánicos.

## 10.8 Tratamientos previos: protocolos recomendados.

Los tratamientos previos son indispensables para garantizar la seguridad y eficacia de los subproductos recirculados.

### Secado / deshidratación.

El frass fresco presenta un contenido de humedad elevado (típicamente 50-80% en BSF; 15-30% en TM). Protocolos:

- Secado en horno/banda: 70°C durante 1-2 horas. Reduce la carga microbiana y estabiliza el material.
- Secado al sol / baja temperatura: más económico pero no satisface requisitos del Reglamento 2021/1925.
- Extrusión/peletizado: producto más manejable y reduce riesgos de contaminación cruzada.

### Fermentación del frass.

La fermentación láctica es una alternativa prometedora (Borrelli et al., 2020):

- Inoculación con *Lactobacillus plantarum*, *L. rhamnosus* → fermentabilidad confirmada en puparios y adultos muertos de BSF.
- Generación de metabolitos antimicrobianos contra *Listeria*, *E. coli*, *Salmonella*.
- A pH < 5 tras 7-14 días, los riesgos microbiológicos quedan mitigados.

### Compostaje parcial.

El compostaje parcial (4-6 semanas) estabiliza la materia orgánica lábil, reduce la relación C/N y mejora la disponibilidad de nutrientes. El frass recirculado al 25-40% mostró valores Solvita® de nivel IV-VI (compost maduro; Lopes et al., 2024).

### Extracción de quitina de exuvias.

Las exuvias de *T. molitor* contienen 10-25% de quitina. El proceso incluye:

1. Molienda y tamizado (malla 100-150 µm).
2. Desmineralización con HCl 1-2 N a temperatura ambiente.
3. Desproteínización con NaOH 1-2 N a 60-80°C.
4. Desacetilación para quitosano (NaOH 50%, 100°C, 4h).

Rendimientos de quitina: 11-12% (Song & Kim, 2018); quitosano: 7-10%; grado de desacetilación: 60-75%. Las exuvias molidas presentan ~53% proteína cruda y ~11% fibra bruta con potencial prebiótico (Kim et al., 2019).

## 10.9 Riesgos y limitaciones del reciclaje.

### Bioacumulación de metales pesados.

La bioacumulación depende de la concentración en el sustrato (Oonincx et al., 2016):

- BSF: retención de pesticidas <10% del sustrato (Berggreen et al., 2026).
- *T. molitor*: retención hasta 27% para algunos pesticidas (etofenprox).
- En frass BSF: Cd BAF máx. = 8,52%; Hg no se acumuló (Addeo et al., 2024).
- Concentraciones Cd/Pb en larvas: bajo límites máximos UE para piensos.
- **Riesgo de biomagnificación en ciclos repetidos** → monitoreo periódico obligatorio.

### Micotoxinas y hongos entomopatógenos.

- *H. illucens* y *A. diaperinus* excretan/metabolizan aflatoxina B1, ZEN, DON, OTA (van der Fels-Klerx et al., 2018).
- Las micotoxinas NO se acumulan en larvas (hasta 86% excretadas/metabolizadas).
- El tratamiento 70°C/60 min no inactiva micotoxinas termoestables → monitorización continua.
- *Beauveria bassiana* y *Metarhizium anisopliae*: mantener humedad <70% HR y renovación frecuente del sustrato.

### Riesgos microbiológicos.

Tabla 25 - Patógenos en frass de *T. molitor*. Fuente: Ashworth et al. (2024).

Patógeno	Frass TM (IF-C)	Frass TM (IF-L)	Gallinaza
Bacterias aerobias (log <sub>10</sub> UFC/g)	6,20 ± 0,06	3,85 ± 0,25	4,30 ± 0,09
Enterobacteriaceae	5,17 ± 0,001	3,19 ± 0,004	ND
<i>E. coli</i>	2,99 ± 0,11	2,91 ± 0,025	1,80 ± 0,1
<i>Campylobacter</i>	2,85 ± 0,05	ND	2,70 ± 0,4
<i>Salmonella</i>	ND	ND	ND
<i>Listeria</i>	ND	ND	ND

La presencia de *E. coli* y Enterobacteriaceae requiere tratamiento sanitizante antes de recirculación.

Para BSF sobre biorresiduos, *Salmonella* fue el contaminante predominante (Ogbon et al., 2025); la sanitización (70°C/60 min) eliminó la detección.

### Acumulación de antinutrientes.

Yakti et al. (2025) demostraron que los flavonoides de residuos de fresa y judía no se acumularon en la biomasa larvaria de *T. molitor* con pretratamiento (autoclave o fermentación con *Trichoderma reesei*). Sin pretratamiento, los antinutrientes redujeron el rendimiento.



## 10.10 Aceite de insecto y grasa residual.

You et al. (2022): C12:0, C14:0 y C16:1n-9 son producidos in vivo por BSF; C16:0, C18:1n-9, C18:2n-6 y C18:3n-3 son parcialmente incorporados desde la dieta. Aceite de linaza al 5-10% mejora el perfil de AGPIs.

Boaru et al. (2022): aceite de linaza al 10% produjo la mayor mejora del perfil lipídico (UFA: 29,94-48,74% de FAME); los índices aterogénico y trombogénico disminuyeron significativamente.

El aceite residual del desgrasado, especialmente rico en ácido láurico (~40-50% en BSF), posee propiedades antimicrobianas. Al reincorporarse al sustrato, puede actuar como prebiótico/antimicrobiano funcional en el intestino larvario.

## 10.11 Composición nutricional de larvas según sustrato.

Tabla 26 - Composición de *T. molitor* según sustrato.

Sustrato	Proteína bruta (% MS)	Grasa bruta (% MS)	Referencia
Salvado de trigo (control)	44,1-51,8	28,6-34,8	Comparativo 2024
Residuos vegetales	Mayor	~6,4	Li et al., 2013
Subproductos cervecera + salvado	44-50	28-33	MDPI Animals, 2025
Con frass reciclado (BSF)	+41% (27,5→~39)	-32% (31,1→16,3)	Lopes et al., 2024

Tabla 27 - Composición de *H. illucens* según sustrato.

Sustrato	Proteína bruta (% MS)	Grasa bruta (% MS)	Referencia
Residuos alimentarios mixtos	45,9 ± 3,3	32,3 ± 1,4	Frontiers, 2025.
Residuos de pescado	Menor (SGR=9%)	Mayor (FCR=3,2)	Frontiers, 2025.
Residuos cervecera	39-45	25-35	Varios estudios.
Salvado de trigo	40-50	30-40	BSF FAO ref.

La recirculación de frass modifica significativamente la composición de las larvas, aumentando la proteína y reduciendo los lípidos. PROTEINSECTA monitorizará estos cambios para asegurar que el producto final cumple con las especificaciones de los mercados de destino.

## 10.12 Modelos de economía circular aplicables.

1. **Modelo A — Retroalimentación directa (Rizzolo et al., 2019):** Residuos F&V → BSF → harina para peces → vermicompost → cultivos F&V.
2. **Modelo B — BSF sobre residuos de otras especies (Moore et al., 2020):** Residuos de cría de grillos/langostas → BSF → harina de insecto.
3. **Modelo C — Frass como biofertilizante (Cattaneo et al., 2024):** Subproductos agroindustriales locales → insectos → larvas + frass como fertilizante local. -52% residuos.
4. **Modelo D — Biometano del frass (Dal Magro et al., 2026):** Frass → digestión anaerobia → biometano (energía) + digestato (fertilizante).

Implementaremos un modelo híbrido B+C, priorizando la recirculación cruzada entre *T. molitor* y BSF con tratamiento térmico, complementado con venta de frass excedente como biofertilizante premium.

### 10.13 Innovaciones y patentes.

La revisión de Oliveira et al. (2025) identificó 324 documentos de patente (Espacenet/EPO) sobre insectos en alimentación animal. *T. molitor* fue la especie más estudiada; *H. illucens* muestra creciente interés en avicultura.

Innovaciones recientes:

- **Fermentación microbiana dirigida (Kreft et al., 2026):** El diseño de la dieta modula el perfil microbiano del frass. Dietas ricas en fibra promueven diversidad fúngica; sustratos proteicos enriquecen taxa bacterianos específicos.
- **Compostaje optimizado (Jasso et al., 2024; Kenchanna et al., 2024):** Frass BSF al 18,75-31,25% del compost → pH 7,1-8,1, C/N 10,40-13,20; P elevado (0,75-1,30%).
- **Entomoponics (Yakti et al., 2025):** Integración directa producción plantas + cría insectos: residuos vegetales → *T. molitor* → frass → fertilizante cultivos. «Doble circularidad».

### 10.14 Seguridad alimentaria: metales pesados en detalle.

La seguridad alimentaria constituye un requisito ineludible para la comercialización de productos derivados de la insecticultura. Los datos disponibles sobre la acumulación de metales pesados en *T. molitor* según el sustrato de alimentación se resumen a continuación.

Tabla 28 - Metales pesados en *T. molitor* según sustrato (mg/100g MS). Fuentes: Liiv et al. (2024), SUSINCHAIN.

Metal	Sustrato control	Sustrato chicoría fermentada	Límite legal piensos UE
<b>Pb (mg/100g MS)</b>	0,041	0,109 (BAF=2,66)	<0,5 mg/kg
<b>Cd</b>	No detectado	No detectado	<0,5 mg/kg
<b>Cr</b>	0,040	0,154	No establecido
<b>As</b>	No detectado	No detectado	<2 mg/kg
<b>Hg</b>	No detectado	No detectado	<0,1 mg/kg

Las concentraciones encontradas se mantienen dentro de los límites legales europeos para piensos animales. Sin embargo, se confirma que *T. molitor* puede bioacumular Pb y Cr selectivamente cuando el sustrato los contiene. El uso de frass recirculado proveniente del propio proceso no añade fuentes externas de metales pesados, lo que constituye una ventaja para el control de calidad.

El ayuno post-cosecha elimina la mayoría de residuos químicos: en BSF en 24 horas, en *T. molitor* hasta 72 horas (Berggreen et al., 2026).

Este dato es relevante para el diseño del protocolo de cosecha indicado por el socio PROTEINSECTA, que debería incluir un período de ayuno post-cosecha estandarizado.



### 10.15 Análisis de ciclo de vida específico para *T. molitor*.

Los datos más detallados de LCA para la producción de *T. molitor* proceden del estudio de Dreyer et al. (2021), que analizó una instalación en Austria:

- GWP (potencial de calentamiento global): 20,4 kg CO<sub>2</sub>-eq por kg de proteína comestible.
- NREU (consumo energético no renovable): 213,66 MJ-eq.
- ALOP (uso del suelo agrícola): 22,38 m<sup>2</sup>.
- TAP (potencial de acidificación terrestre): 159,52 g SO<sub>2</sub>-eq.
- FEP (potencial de eutrofización de agua dulce): 12,41 g P-eq.

Los hotspots principales fueron: producción de pienso (hasta 90% del impacto según categoría) y calefacción de instalaciones (hasta 65%).

La comparación fue favorable con la producción de pollo ecológico (18-72% menos impacto en la mayoría de categorías).

Para BSF sobre biorresiduos (Nugroho et al., 2023), los valores por 100 kg de BSF seca fueron: GWP = 6,687 kg CO<sub>2</sub>-eq; AC = 0,029 kg SO<sub>2</sub>-eq; TE = 0,092 kg N-eq; FFE = 16,732 MJ surplus; ET = 121,231 CTUe.

El hotspot principal fue la producción de prepupas, seguida del secado.

El proyecto SUSINCHAIN (H2020, 2021) concluye que el LCA de insectos depende críticamente del mix eléctrico empleado y del sistema de manejo de subproductos. Una instalación con energía renovable y valorización total del frass puede reducir la huella ambiental hasta competir con fuentes proteicas convencionales.

La generación de datos LCA propios instrumentando los consumos energéticos reales de su instalación en Albacete constituiría una contribución significativa al conocimiento sectorial.

### 10.16 Perfil de aminoácidos esenciales de insectos.

El perfil de aminoácidos esenciales de las larvas de insectos varía significativamente según la especie y el sustrato de cría. Los datos representativos para BSF se comparan con fuentes proteicas convencionales:

Tabla 29 - Perfil de aminoácidos esenciales (g/kg MS).

Aminoácido esencial	Larva BSF	Harina de soja	Harina de pescado
Leucina	27,8-78,3	38,6	47,7
Lisina	23,0-68,2	31,1	48,7
Valina	25,0-67,9	21,7	32,7
Metionina	6,0-21,2	6,8	18,5
Treonina	16,0-39,0	19,5	26,8
Isoleucina	18,0-52,3	22,4	28,2

El amplio rango de valores observado refleja la influencia del sustrato de cría.



Las larvas BSF presentan concentraciones de leucina, lisina y valina comparables o superiores a la harina de soja, mientras que la metionina tiende a ser limitante.

La optimización del sustrato —incluyendo subproductos ricos en aminoácidos azufrados— podría mejorar este perfil.

### 10.17 Seguridad microbiológica de BSF en residuos.

El estudio sistemático de seguridad alimentaria de Hoffmans et al. (2024) analizó BSF criada sobre cinco tipos de residuos distintos (residuos de fast food, tallos de champiñón, sólidos de purín porcino, harina de aves, residuos de matadero).

Los hallazgos principales han sido:

- Los metales se acumularon en larvas BSF, pero todos por debajo de los límites máximos de la UE para materias primas para piensos.
- Solo trazas de fármacos veterinarios en larvas, sin bioacumulación significativa.
- Se detectó ADN de rumiante y cerdo en larvas BSF (procedente del sustrato), pero no de pollo.
- La detección de ADN de rumiante implica que los métodos analíticos basados en PCR (Reglamento (CE) No 152/2009, Anexo VI, límite de detección del 0,1%) podrían dar falsos positivos en insectos criados sobre sustratos que contengan trazas de proteínas de rumiante, aunque los insectos no hayan sido alimentados directamente con material de rumiantes.

Este hallazgo es relevante en el contexto del cumplimiento del feed ban: los análisis de PAT destinadas a piensos deben considerar la posibilidad de contaminación cruzada por ADN en el sustrato, y no interpretarla automáticamente como alimentación con material de rumiantes.

### 10.18 Reglamento (UE) 2019/1009 — Fertilizantes y frass.

El frass de insectos puede comercializarse como producto fertilizante orgánico bajo el Reglamento (UE) 2019/1009 sobre productos fertilizantes de la UE, en las categorías:

- **PFC 3:** Enmienda orgánica del suelo.
- **PFC 6:** Fertilizante orgánico de origen animal.

La trazabilidad es un requisito fundamental: origen del sustrato de los insectos, proceso de producción y características del frass resultante deben documentarse para cada lote comercializado. En España, los productores de frass deben registrar sus productos en el Registro de Productos Fertilizantes de la comunidad autónoma correspondiente. Para agricultura ecológica, deben cumplirse además los requisitos del Reglamento (UE) 2018/848.

Puede posicionarse el frass excedente (no recirculado internamente) como producto fertilizante premium en el mercado agrícola, generando ingresos adicionales que contribuyan a la viabilidad económica del proyecto PP12.

### 10.19 Panorama del sector insecticultura (2024-2026).

Las inversiones acumuladas en insecticultura alcanzaron aproximadamente 2.000 millones USD hasta junio de 2024, de las cuales al menos el 36% correspondían a empresas que han cesado operaciones o están en reestructuración (AgriProtein, Beta Hatch, Yñsect en dificultades, Protix absorbida por



Tyson). La proyección de producción para 2030 es de ~221.000 t de larva seca (mediana del modelo Monte Carlo; Rethink Priorities, 2024), frente a los 500.000 t proyectados en el informe Rabobank 2021.

Este contexto de consolidación sectorial refuerza la importancia de la eficiencia operativa y la reducción de costes para la supervivencia a largo plazo de las empresas de insecticultura.

La recirculación de subproductos como estrategia de reducción de costes y diferenciación (economía circular) cobra especial relevancia en este escenario competitivo.

InnovaFeed (Francia), considerada la mayor granja de insectos del mundo con 10.000 millones de larvas simultáneas, ha apostado por la integración vertical con la industria harinera, utilizando residuos de molino como sustrato de BSF y comercializando frass y aceite como productos secundarios de creciente importancia desde 2025.



## 11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Las referencias se clasifican por área temática para facilitar la consulta del lector.

### A. Composición y valorización del frass.

- Ashworth, A.J.; Donoghue, A.M.; Amorim, H.; Morales-Ramos, J.; Robinson, K.; Arsi, K.; Rojas, M. (2024). Insect frass composition and potential use as an organic fertilizer in circular economies. *Journal of Economic Entomology*, 117. DOI: 10.1093/jee/toad234
- Beesigamukama, D.; Subramanian, S.; Tanga, C. (2022). Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible insects. *Scientific Reports*, 12, 7210. DOI: 10.1038/s41598-022-11336-z
- Beesigamukama, D.; Mochoge, B.; Korir, N.; Menale, K. et al. (2021). Economic and ecological values of frass fertiliser from black soldier fly agro-industrial waste processing. *Journal of Insects as Food and Feed*, 8(3), 245. DOI: 10.3920/JIFF2021.0013
- Castillo, P.; Sáez-Tovar, J. et al. (2026). Could Insect Frass Be Used as a New Organic Fertilizer? *Insects*, 17(2), 142. DOI: 10.3390/insects17020142
- Çolak, M.; Açıl, E. (2025). Chemical Properties of Mealworm (*Tenebrio molitor*) Frass as an Alternative Organic Fertilizer Source. *Bitlis Eren Üniversitesi Fen Bilimleri Dergisi*. DOI: 10.17798/bitlisfen.1728760
- Dal Magro, A.; Bacenetti, J.; Bellezza Oddon, S. et al. (2026). Potential biomethane production from frass of *Tenebrio molitor* and *Hermetia illucens*. *Biomass and Bioenergy*, 108559. DOI: 10.1016/j.biombioe.2025.108559
- Fontana, M.; Elfouki, S. et al. (2026). The Recycling of Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) Frass as Biofertilizer. *Soil Use and Management*. DOI: 10.1002/sae2.70150
- Jasso, B.; Quinchia, L.; Waliczek, T.; Drewery, M.L. (2024). Black soldier fly larvae frass and sheddings as a compost ingredient. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 7. DOI: 10.3389/fsufs.2023.1297858
- Kenchanna, D.; Waliczek, T.; Drewery, M. (2024). Evaluating BSF Frass and Larval Sheddings in the Production of Quality Compost. *Fermentation*, 10(12), 613. DOI: 10.3390/fermentation10120613
- Klammsteiner, T. et al. (2020). Suitability of Black Soldier Fly Frass as Soil Amendment and Implication for Organic Waste Hygienization. *Agronomy*, 10(10), 1578. DOI: 10.3390/agronomy10101578
- Kreft, D.; Hurka, S. et al. (2026). Towards Functional Fertilisers: Feed Composition Shapes Microbial Community Structure in BSF Frass. *Environmental Microbiology*. DOI: 10.1111/1462-2920.70249
- Lomonaco, G. et al. (2024). Larval Frass of *Hermetia illucens* as Organic Fertilizer. *Insects*, 15(4), 293. DOI: 10.3390/insects15040293
- Nieto-Cantero, J. et al. (2025). Evaluation of Insect Farming Residue (Frass) as a Phosphate Fertilizer Within the Context of the Circular Economy. *Agronomy*, 15(9), 2019. DOI: 10.3390/agronomy15092019
- Nyanzira, A. et al. Analysis of Frass Excreted by *Tenebrio molitor* for Use as Fertilizer. *EASL Letters*. DOI: 10.51847/xbw1oofqxn
- Romano, N. et al. (2022). Mineral composition in BSF larvae and resulting frass from fruit. *Journal of Insects as Food and Feed*, 9(1), 43. DOI: 10.3920/JIFF2022.0019
- Tanga, C.; Beesigamukama, D.; Subramanian, S. (2023). Waste to value: Global perspective on entomocomposting. *Science of the Total Environment*, 166067. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2023.166067

### B. Exuvias, cutículas y quitina.

- Krüger, B. et al. (2025). Chitin Analysis in Insect-Based Feed Ingredients and Mixed Feed. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*. DOI: 10.1111/jpn.14098
- Rajan, D.K. et al. (2026). Critical insights into coleopteran insect side-streams derived chitin and chitosan. *Carbohydrate Polymers*, 124958. DOI: 10.1016/j.carbpol.2026.124958



- Rangel, F. et al. (2022). Differential Modulation of the European Sea Bass Gut Microbiota by Distinct Insect Meals. *Frontiers in Microbiology*, 13, 831034. DOI: 10.3389/fmicb.2022.831034
- Song, Y.S.; Kim, H.W. (2018). Extraction of chitin and chitosan from larval exuvium and whole body of *T. molitor*. *Entomological Research*.
- Toviho, O.A.; Bársony, P. (2022). Nutrient Composition and Growth of Yellow Mealworm at Different Ages and Stages. *Agriculture*, 12(11), 1924. DOI: 10.3390/agriculture12111924
- Wang, D.; He, Q.; Yu, X. (2021). Dynamic Analysis of Major Components in Different Developmental Stages of *T. molitor*. *Frontiers in Nutrition*, 8, 689746. DOI: 10.3389/fnut.2021.689746

### C. Estudios experimentales de reciclaje.

- Boonthong, S. et al. (2025). Mealworm feed substrate waste: An alternative protein source for aquafeed. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(12), 2159. DOI: 10.1163/23524588-bja10196
- Cattaneo, A. et al. (2024). Local circular economy: BSF insect rearing in the Italian Agri-Food Industry. *Waste Management*. DOI: 10.1016/j.wasman.2024.03.016
- Coudron, C. et al. (2025). Bugbook: Basic information and good practices for *T. molitor* and *H. illucens* for research. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(18), 241. DOI: 10.1163/23524588-bja10240
- Moore, C.D. et al. (2020). Nutrient Recapture from Insect Farm Waste: Bioconversion with *Hermetia illucens*. *Sustainability*, 12(1), 362. DOI: 10.3390/su12010362
- Rezaei Far, A. et al. (2023). Bioconversion of Different Waste Streams by BSF Larvae. *Insects*, 14(2), 204. DOI: 10.3390/insects14020204
- Rezaei Far, A. et al. (2023). Insect meals in a circular economy and applications in monogastric diets. *Animal Frontiers*, 13(4), 112. DOI: 10.1093/af/vfad016
- Rizzolo, A. et al. (2019). A First Attempt to Produce Proteins from Insects by Means of a Circular Economy. *Animals*, 9(5), 278. DOI: 10.3390/ani9050278
- Sileem, T. et al. (2025). Evaluation of Using *H. illucens* and *T. molitor* in Larval Diet of *Ceratitis capitata*. *Entomological News*, 132(1). DOI: 10.3157/021.132.0101

### D. Canibalismo.

- Lardies, M.A.; Nespolo, R.; Urrejola, S. (2011). Diet-induced developmental plasticity in life histories in a beetle. *Revista Chilena de Historia Natural*, 84(4). DOI: 10.4067/S0716-078X2011000400005
- Sönmez, E.; Erilli, N. (2023). The effect of prolonged cold storage period on total lipid content and adult cannibalism of *T. molitor*. *Journal of Agricultural and Environmental Sciences*. DOI: 10.35229/jaes.1215263

### E. Balance de nutrientes y bioconversión.

- Bordiean, A.; Krzyżaniak, M.; Stolarski, M.J. (2022). Bioconversion Potential of Agro-Industrial Byproducts by *Tenebrio molitor*. *Insects*, 13(9), 810. DOI: 10.3390/insects13090810
- Li, M. et al. (2025). Insight into insect protein production from mixed food waste bioconversion by BSF larvae. *Waste Management*, 115239. DOI: 10.1016/j.wasman.2025.115239
- Parodi, A. et al. (2020). Bioconversion efficiencies, greenhouse gas and ammonia emissions during BSF rearing. *Journal of Cleaner Production*, 122488. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.122488
- Parodi, A. et al. (2021). Black soldier fly reared on pig manure: Bioconversion efficiencies and nutrients in residual material. *Waste Management*. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.04.001

### F.



## Economía circular y LCA.

- Bhatia, A. et al. (2023). Environmental impact potential of insect production chains in Europe. *Animal Frontiers*, 13(4). DOI: 10.1093/af/vfad033
- Boakye-Yiadom, K.A. et al. (2022). Greenhouse Gas Emissions and LCA on the BSF. *Sustainability*, 14(16), 10456. DOI: 10.3390/su141610456
- Dreyer, M. et al. (2021). Environmental LCA of yellow mealworm production for human consumption. *International Journal of LCA*. DOI: 10.1007/s11367-021-01980-4
- Duca, D. et al. (2025). Environmental Performance of *H. illucens* Bioconversion to Valorize Agri-Food Industrial Residue. *Sustainability*, 17(21), 9651. DOI: 10.3390/su17219651
- Jucker, C. et al. (2019). Rearing of *H. illucens* on Different Organic By-Products: Influence on Growth and Environmental Impact. *Animals*, 9(6), 289. DOI: 10.3390/ani9060289
- Nugroho, R. et al. (2023). Bioconversion of biowaste by BSF larvae: A life cycle assessment. *F1000Research*, 12, 814. DOI: 10.12688/f1000research.132371.1
- Van Huis, A.; Oonincx, D.G.A.B. (2017). The environmental sustainability of insects as food and feed. *Agronomy for Sustainable Development*. DOI: 10.1007/s13593-017-0452-8
- Yakti, W. et al. (2025). Utilising common bean and strawberry vegetative wastes in yellow mealworm substrates. *Scientific Reports*, 15. DOI: 10.1038/s41598-025-91732-3

## G. Regulación.

- Reglamento (CE) n.º 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo — normas sanitarias aplicables a los subproductos animales (SANDACH). DOUE L 300/1.
- Reglamento (UE) 2017/893 — uso de PAT de insectos en piensos para acuicultura. DOUE.
- Reglamento (UE) 2021/1372 — modificación del Anexo IV del Reglamento (CE) 999/2001. DOUE.
- Reglamento (UE) 2021/1925 — definición de frass y equiparación al estiércol transformado. DOUE L-2021-81482.
- Reglamento (UE) 2019/1009 — productos fertilizantes de la UE. DOUE.
- EFSA (2015). Risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. *EFSA Journal*.
- EFSA (2021). Interim report: Stakeholder workshop on food and feed safety vulnerabilities in circular economy. *EFSA Publications*.
- Fernandes, A. et al. (2022). Overcoming Technical and Market Barriers for Sustainable Insect Protein Production: A SUSINCHAIN Perspective. *Insects*, 13(3), 281. DOI: 10.3390/insects13030281
- Gerrits, E.; Van Raamsdonk, L.V.; Appel, M.; Meijer, N. (2023). The use of animal by-products in a circular bioeconomy: Time for a TSE road map 3? *Heliyon*, 9(3), e14021. DOI: 10.1016/j.heliyon.2023.e14021
- Gołaszewski, J. et al. (2022). Edible Insect Farming in the Context of the EU Regulations. *Insects*, 13(5), 446. DOI: 10.3390/insects13050446
- MAPA (2024). El Gobierno aprueba la aplicación en España de la normativa europea sobre PAT de insectos en piensos.
- MAPA (2025). Empleo del frass en la elaboración de fertilizantes. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- NVWA (2019). Advice on animal and public health risks of insects reared on former foodstuffs as raw material for animal feed.



- Van Huis, A.; Finke, M. et al. (2015). The EFSA scientific opinion on a risk profile related to production and consumption of insects. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 245-247.

## H. Viabilidad económica.

- Rethink Priorities (2024). Investments into insect farming: Recent trends and projected production capacity.
- SUSINCHAIN Consortium (2021). Environmental aspects of insect mass production. Publication 4.
- SUSINCHAIN Consortium (2022). Profitability of insect farms. Publication 8.
- TechSci Research (2024). Frass Fertilizer Market.
- WUR / Wageningen University (2023). Profitability of *T. molitor* farms in the Netherlands.

## I. Innovaciones, aceite y composición de insectos.

- Boaru, A. et al. (2022). Modulating the Fatty Acid Profiles of *H. illucens* Larvae Fats by Dietary Enrichment with Different Oilseeds. *Insects*, 13(9), 801. DOI: 10.3390/insects13090801
- Borrelli, L. et al. (2020). Antimicrobial Biomasses from Lactic Acid Fermentation of BSF Prepupae. *Microorganisms*. DOI: 10.3390/microorganisms8081523
- Gou, N. et al. (2023). First Insights on Administration of Insect Oil (BSF) in Diet of Juvenile *Onychostoma macrolepis*. *Animals*, 13(3), 518. DOI: 10.3390/ani13030518
- Kim, S.Y. et al. (2019). Mealworm larvae exuviae as a novel prebiotic material for BALB/c mouse gut microbiota. *Food Science and Biotechnology*.
- Kröncke, N.; Benning, R. (2022). Self-Selection of Feeding Substrates by *Tenebrio molitor* Larvae. *Insects*, 13(7), 657. DOI: 10.3390/insects13070657
- Oliveira, J. et al. (2025). Mapping the use of insects in animal feed: scientific and technological data. *Animal Production Science*, 65(9). DOI: 10.1071/AN24415
- Schiavone, A. et al. (2019). Effect of dietary supplementation with insect fats on growth performance of rabbits. *Journal of Animal Science and Biotechnology*, 10, 4. DOI: 10.1186/s40104-018-0309-2
- Vanlinden, N. et al. (2025). Heat Treatment and Storage of Frass From BSF Larvae and Yellow Mealworm. *MicrobiologyOpen*.
- You, C. et al. (2022). Growth and Fatty Acid Composition of BSF Larvae Influenced by Dietary Fat Sources. *Animals*, 12(4), 486. DOI: 10.3390/ani12040486

## J. Riesgos y seguridad.

- Addeo, N.F. et al. (2024). Mineral profile and heavy metals bioaccumulation in BSF larvae and frass across diverse organic substrates. *Italian Journal of Animal Science*. DOI: 10.1080/1828051X.2024.2302845
- Berggreen, I.E. et al. (2026). Pesticide transfer from substrate to *H. illucens* and *T. molitor* larvae. *Journal of Insects as Food and Feed*. DOI: 10.1163/23524588-bja10386
- Hoffmans, Y. et al. (2024). Can BSF larvae be reared on waste streams for food and feed? — A safety perspective. *Journal of Insects as Food and Feed*, 10(7), 1211. DOI: 10.1163/23524588-20230169
- Meyer, A.M. et al. (2021). A systematic review on the effects of mycotoxin exposure on insects and on accumulation and biotransformation. *Mycotoxin Research*. DOI: 10.1007/s12550-021-00441-z
- Ogbon, E.A. et al. (2025). Risk assessment of BSF larvae composting for circular waste management. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(8), 1483. DOI: 10.1163/23524588-00001344
- Oonincx, D. et al. (2016). Uptake of Cadmium, Lead and Arsenic by *T. molitor* and *H. illucens*. *PLOS ONE*, e0166186. DOI: 10.1371/journal.pone.0166186



- Oonincx, D.G.A.B. et al. (2017). Aflatoxin B1 Tolerance and Accumulation in BSF and Yellow Mealworms. *Toxins*, 9(6), 185. DOI: 10.3390/toxins9060185
- Schrögel, P.; Wätjen, W. (2019). Insects for Food and Feed — Safety Aspects Related to Mycotoxins and Metals. *Foods*, 8(8), 288. DOI: 10.3390/foods8080288
- van der Fels-Klerx, H.J. et al. (2018). Tolerance and Excretion of the Mycotoxins by *A. diaperinus* and *H. illucens*. *Toxins*, 10(2), 91. DOI: 10.3390/toxins10020091

**Nota:** Informe elaborado mediante revisión sistemática de literatura científica actualizada (2019-2026). Todas las referencias han sido identificadas en bases de datos académicas indexadas con DOI verificado. Para consultas adicionales o ampliación de cualquier sección, contactar con el equipo de I+D de VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA, S.L.

## INFORME DE RESULTADOS

### **Resultado Actividad 1: Caracterización de compuestos de interés e identificación de sustancias/extractos de valor**

Cliente

**VALENCIANA DE GESTION  
AGRARIA SL  
24-P00610**

Persona contacto AINIA  
Maite Navarro

Fecha  
22/07/2025



**01 Objeto del Proyecto**

**02 Materiales y Métodos**

**03 Resultados**

**04 Conclusiones**

**05 Comentarios**

## **Objeto del Proyecto**

El objetivo general del proyecto es el estudio previo de nuevos productos para otros sectores alternativos al sector agroalimentario, como puede ser el de biofertilizantes, a partir del aprovechamiento de subproductos y residuos agroalimentarios que permitan reducir la huella ambiental del producto final, así como la investigación previa sobre los procesos tecnológicos y condiciones necesarias para su obtención.

Para ello, el objetivo específico de la tarea 1 ha sido la realización de una caracterización de los residuos y subproductos procedentes de las industrias agroalimentarias del consorcio ACCELEREAT.

Para ello, previamente los socios del proyecto han identificado residuos y subproductos de la industria agroalimentaria que actualmente son desechados por las industrias agroalimentarias que integran el consorcio; con potencial para generar nuevos productos alternativos (biofertilizantes), contribuyendo así a los principios de economía circular.

## Materiales y Métodos

Se ha llevado a cabo un análisis en 20 subproductos de la composición centesimal (proteínas, grasa, hidratos de carbono, humedad, cenizas) y fibra dietética total. Además, de otros parámetros analíticos más específicos. Concretamente, se han caracterizado los siguientes subproductos:

- Salvado de arroz (DACSA)
- Cascarrilla de arroz (DACSA)
- Harina zootécnica (DACSA)
- Subproducto de carpóforo (HIFAS)
- Micelio biomasa (HIFAS)
- Hoja caída kiwi (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Hoja caída caqui (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Hoja caída aguacate (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Hoja de vid (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Hoja caída mandarina (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Kiwi (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Aguacate (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Uva (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Caqui (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Mandarina (VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA)
- Bagazo (MAHOU)
- Levadura (MAHOU)
- Alperujo (ACESUR)
- Orujillo (ACESUR)
- Orujo graso seco (ACESUR)

Las analíticas llevadas a cabo, así como la metodología empleada para su determinación, se detallan a continuación:

- Humedad: determinación por gravimetría.
- Grasa: determinación por gravimetría. (Soxhlet)
- Proteínas: determinación por volumetría. (Kjeldahl)
- Cenizas: determinación por gravimetría.
- Hidratos de carbono: calculados por diferencia.
- Energía. BOE 28/10/2008.
- Fibra dietética total: Wendee.
- Fibra bruta: determinación por gravimetría.
- Fibra soluble: Determinación por solubilidad con etanol
- Fibra insoluble: Wendee

- Azúcares totales: determinación por volumetría.
- Azúcares libres: Determinación por HPLC.
- Almidón: determinación por polarografía.
- N total: determinación por cálculo.
- Fibra ácido detergente: Determinación por gravimetría
- N ligado a fibra ácido detergente: Determinación nitrógeno insoluble en FAD.
- Perfil aminoacídico: Determinación por HPLC
- Perfil lipídico: Determinación por cromatografía de gases con detector de ionización de Llama (FID)
- Polifenoles: Determinación por HPLC con detector de UV-Vis
- Antioxidantes no enzimáticos: Determinación por HPLC.
- Ácidos orgánicos: Determinación por HPLC
- Hormonas vegetales: determinación por HPLC acoplado a espectrometría de masas

## Resultados

En las tablas 1 y 2 se indica la composición centesimal, concretamente proteínas, grasa, humedad, cenizas, hidratos de carbono (de los cuales: fibra bruta, almidón, azúcares totales y azúcares libres) y energía, de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 1. Composición Centesimal de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Cascarilla de arroz	Salvado de arroz	Micelio biomasa	Aguacate	Harina zootécnica	Hoja caída kiwi	Alperujo	Uva	Hoja caída caqui	Hoja caída aguacate
Proteínas	3,7	<b>14,1</b>	6	1,43	8,80	9,15	2,31	1,00	8,06	11,18
Grasa	0,4	15,25	0,37	11,20	5,50	0,23	8,22	0,11	1,04	0,82
Humedad	8,36	9,8	4,85	78,25	12,77	71,10	62,43	75,39	69,78	66,19
Cenizas	8,96	8,38	6,72	1,34	1,75	3,51	3,06	2,65	0,43	0,44
Hidratos de carbono de los cuales:	78,58	52,47	82,06	4,27	71,18	16,01	6,54	20,85	20,69	21,37
Fibra bruta	40,22	6,12	36,88	3,51	2,96	13,9	16,38	1,11	15,1	14,05
Almidón	36,72	<b>45,05</b>	38,9	0,17	62,17	1,28	6,5	4,34	3,69	5,36
Azúcares totales	1,64	1,3	6,28	0,59	6,05	0,83	1,1	15,4	1,9	1,96
Azúcares libres	<0,1	<0,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Energía Kcl	465,42	442,33	485,77	138,00	383,72	145,07	240,94	100,15	189,56	177,66

Tabla 2. Composición Centesimal de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Bagazo	Mandarina	Levadura	Hoja de vid	kiwi	Caqui	Hoja caída mandarina	Subproducto de carpóforo	Orujillo	Orujo graso seco
Proteínas	2,03	0,81	7,06	2,35	1,86	0,62	5,72	15,40	8,50	8,68
Grasa	3,10	0,28	2,02	0,07	0,18	0,44	0,93	1,07	10,76	1,15
Humedad	91,50	87,62	87,41	86,05	87,01	78,80	66,52	10,07	9,06	9,14
Cenizas	0,38	0,15	0,44	2,90	1,04	0,96	0,38	6,47	8,62	9,74
Hidratos de carbono de los cuales	3,44	11,14	2,53	8,63	9,91	19,18	26,43	66,99	41,62	71,29
Fibra bruta	1,04	0,96	0,54	3,86	1,1	5,52	12,18	13,3	21,94	23,95
Almidón	2,1	0,51	2,31	2,28	0,51	5,4	13,37	48,87	40,82	47,1
Azúcares totales	0,3	9,67	0,22	2,49	8,3	8,26	0,88	4,82	0,3	0,24
Azúcares libres	<0,1	0,24	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Energía Kcl	54,34	55,20	63,18	59,45	55,02	107,32	187,27	390,07	401,98	442,39

En las tablas 3 y 4 se indican las fibras (fibra dietética soluble, insoluble, total y ácido detergente) de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 3. Fibras de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Cascarilla de arroz	Salvado de arroz	Micelio biomasa	Aguacate	Harina zootécnica	Hoja caída kiwi	Alperujo	Uva	Hoja caída caqui	Hoja caída aguacate
Fibra dietética soluble	8,58	6,53	2,94	2,19	0,74	6,46	1,61	0,50	3,19	1,98
Fibra dietética insoluble	49,92	12,86	49,16	5,01	6,41	14,72	18,50	2,44	12,03	18,05
Fibra dietética total	58,5	19,4	52,1	7,20	7,15	21,18	20,11	2,94	15,22	20,04
fibra ácido detergente	51,2	13,6	40,05	5,15	5,10	15,44	15,07	1,86	11,90	15,11

Tabla 4. Fibras de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Bagazo	Mandarina	Levadura	Hoja de vid	Kiwi	Caqui	Hoja caída de mandarina	Subproducto de carpóforo	Orujillo	Orujo graso seco
Fibra soluble	0,37	0,78	0,28	0,75	0,66	0,56	2,83	7,05	8,49	3,94
Fibra insoluble	1,91	1,65	1,96	6,69	2,49	11,52	22,32	35,11	32,11	40,20
Fibra dietética total	2,28	2,44	2,24	7,45	3,16	12,08	25,15	42,16	40,60	44,16
Fibra ácido detergente	2,04	1,22	0,77	5,08	1,74	6,14	18,15	23,60	31,46	30,66

En las tablas 5 y 6 se indica el perfil aminoacídico de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 5. Perfil aminoacídico de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Cascarilla de arroz	Salvado de arroz	Micelio de Biomasa	Aguacate	Harina zootécnica	Hoja caída kiwi	Alperujo	Uva	Hoja caída caqui	Hoja caída aguacate
Ácido Aspártico	0,3	1,18	0,45	0,02	0,44	0,19	0,07	0,06	0,89	0,11
Treonina	0,24	0,92	0,36	0,01	0,25	1,05	0,10	0,14	0,42	0,07
Serina	0,5	2,12	0,89	0,10	0,56	0,58	0,10	0,07	0,84	1,11
Ácido glutámico	0,41	1,58	0,81	0,19	2,00	1,29	0,14	0,10	1,00	1,38
Prolina	0,42	1,6	0,6	0,09	0,64	0,27	0,12	<0,001	0,26	0,73
Glicina	0,35	1,26	0,52	0,13	0,41	0,33	0,18	<0,001	0,40	0,91
Alanina	0,28	0,86	0,54	0,15	0,70	0,42	0,22	0,11	0,41	1,12
Valina	0,22	0,74	0,3	0,13	0,48	0,88	0,25	0,04	0,61	0,82
Metionina	0,02	0,04	0,03	0,03	0,14	0,17	0,03	<0,001	0,10	0,29
Leucina	0,17	0,66	0,11	0,13	1,16	0,22	0,29	0,03	0,77	1,07
Isoleucina	0,1	0,31	0,21	0,08	0,32	1,11	0,13	<0,001	0,33	0,66
Tirosina	0,03	0,02	0,25	0,06	0,30	0,14	0,04	<0,001	0,23	0,46
Fenilalanina	0,13	0,41	0,05	0,08	0,38	0,69	0,15	<0,001	0,34	0,55
Lisina	0,08	0,26	0,3	0,13	0,22	0,61	0,17	<0,001	0,64	1,01
Histidina	0,02	0,01	0,11	0,02	0,16	0,13	0,08	0,03	0,06	0,16
Arginina	0,26	0,98	0,44	0,05	0,50	0,72	0,19	0,34	0,44	0,44
Cistina	0,01	0,01	0,02	0,00	0,11	0,12	0,02	<0,001	0,15	0,03
Triptófano	0,01	0,01	0,01	0,01	0,06	0,02	<0,001	0,02	0,02	0,11

Tabla 6. Perfil aminoacídico de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Bagazo	Mandarina	Levadura	Hoja de vid	Kiwi	Caqui	Hoja caída de mandarina	Subproducto de carpoforo	Orujillo	Orujo graso seco
Ácido Aspártico	0,14	0,11	0,75	0,13	0,04	0,07	0,88	1,10	1,32	1,47
Treonina	0,01	0,02	0,34	0,29	0,21	0,04	0,10	0,94	0,28	0,30
Serina	0,08	0,03	0,39	0,13	0,12	0,02	0,23	2,68	0,41	0,38
Ácido glutámico	0,31	0,09	0,77	0,16	0,27	0,09	0,73	2,52	1,06	1,11
Prolina	0,16	0,05	0,44	<0,001	0,05	0,02	0,29	1,66	0,46	0,47
Glicina	0,07	0,09	0,90	<0,001	0,06	0,03	0,73	1,09	0,62	0,58
Alanina	0,08	0,05	0,55	0,29	0,08	0,03	0,36	1,42	0,42	0,45
Valina	0,43	0,04	0,19	0,10	0,18	0,04	0,29	0,69	0,58	0,51
Metionina	0,03	0,02	0,14	<0,001	0,03	0,01	0,13	0,06	0,18	0,16
Leucina	0,15	0,02	0,36	0,10	0,04	0,05	0,16	0,48	0,54	0,62
Isoleucina	0,12	0,03	0,33	<0,001	0,23	0,03	0,19	0,67	0,39	0,38
Tirosina	0,01	0,02	0,13	<0,001	0,15	0,02	0,13	0,11	0,21	0,27
Fenilalanina	0,11	0,03	0,25	<0,001	0,12	0,03	0,24	0,58	0,37	0,35
Lisina	0,18	0,05	0,60	<0,001	0,02	0,04	0,34	0,30	0,40	0,42
Histidina	0,04	0,02	0,38	0,04	0,02	0,01	0,15	0,04	0,22	0,28
Arginina	0,01	0,07	0,27	0,80	0,16	0,03	0,46	0,82	0,50	0,84
Cistina	0,01	0,01	0,01	<0,001	0,03	0,02	0,06	0,04	0,06	0,08
Triptófano	0,09	0,01	0,26	0,04	0,00	0,01	0,07	0,01	-	-

En las tablas 7 y 8 se indica el perfil lipídico de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 7. Perfil lipídico de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Cascarilla de arroz	Salvado de arroz	Biomasa de micelio	Aguacate	Harina zootécnica	Hoja caída kiwi	Alperujo	Uva	Hoja caída caqui	Hoja caída aguacate
Cáprico	<0,001	0,108	<0,001	<0,001	<0,002	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Láurico	<0,001	0,144	<0,001	<0,001	<0,001	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Mirístico	0,490	0,521	0,29	<0,001	0,038	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Miristicoleico	<0,001	0,007	<0,001	<0,001	<0,002	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Pentadecanoico	0,730	0,791	0,29	<0,001	0,019	6,81	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Palmitico	26,51	26,77	41,87	20,04	10,51	<0,01	46,57	6,81	16,34	18,17
Palmitoleico	<0,001	0,56	<0,001	6,25	<0,002	4,99	<0,01	4,54	15,2	5,36
Esteárico	3,43	3,562	0,54	0,90	2,14	4,34	6,96	15,9	<0,01	0,12
Oleico	53,41	50,84	48,64	59,5	26,58	82,77	2,32	70	37,5	54,75
Linoleico	14,94	15,82	8,37	12,42	59,53	5,44	39,51	<0,01	33,46	15,85
Linolénico	<0,001	0,118	<0,001	0,72	0,8	5,44	6,64	<0,01	<0,01	0,36
Aráquico	0,49	0,5	<0,002	0,17	0,38	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,12
Elcosenoico	<0,001	0,229	<0,001	<0,01	<0,002	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01

Tabla 8. Perfil lipídico de los subproductos seleccionados

Nutrientes (g/100 g)	Bagazo	Mandarina	Levadura	Hoja de vid	Kiwi	Caqui	Hoja caída de mandarina	Subproducto de carpóforo	Orujillo	Orujo graso seco
Cáprico	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001
Láurico	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001
Mirístico	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,18	<0,01	<0,001
Miristicoleico	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001
Pentadecanoico	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	6,66	<0,01	<0,01	0,118	<0,01	<0,001
Palmitico	23,87	16,78	30,69	6,18	<0,01	18,63	18,27	10,84	13,19	11,47
Palmitoleico	0,32	<0,01	<0,01	2,27	6,66	4,54	<0,01	0,009	0,24	0,17
Esteárico	1,61	<0,01	0,99	18,18	5,55	<0,01	<0,01	7,57	2,14	2,34
Oleico	15,48	46,42	14,81	72,72	72,22	61,59	51,82	69,15	71,14	73,04
Linoleico	57,41	21,07	52,97	<0,01	7,22	17,95	22,58	4,11	7,5	7,91
Linolénico	0,96	9,28	0,49	<0,01	6,11	2,27	9,46	<0,01	0,59	0,6
Aráquico	0,03	<0,01	<0,01	2,27	<0,01	<0,01	<0,01	0,28	<0,01	0,08
Elcosenoico	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,001

En las tablas 9 y 10 se indica el resumen de los valores de los ácidos grasos de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 9. Resumen valores de los ácidos grasos de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Cascarilla de arroz	Salvado de arroz	Biomasa de micelio	Aguacate	Harina zootécnica	Hoja caída kiwi	Alperujo	uva	Hoja caída caqui	Hoja caída aguacate
<b>saturados</b>	3,21	32,31	45,2	26,78	20,04	15,85	52,28	27,28	29,03	23,65
<b>monoinsaturados</b>	68,24	67,69	54,77	73,04	79,6	79,55	45,45	70,45	70,96	76,23
<b>poliinsaturados</b>	0,51	0,49	0,03	0,18	0,36	4,6	2,27	2,27	0,001	0,12

Tabla 10. Resumen valores de los ácidos grasos de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Bagazo	Mandarina	Levadura	Hoja de vid	Kiwi	Caqui	Hoja de mandarina	Subproducto de carpóforo	Orujillo	Orujo graso seco
<b>saturados</b>	25,8	16,78	31,68	27,27	17,77	18,19	19,3	26,45	15,71	14
<b>monoinsaturados</b>	73,88	79,65	67,83	73,46	77,27	79,54	79,63	73,27	74,05	75,24
<b>poliinsaturados</b>	0,32	3,57	0,49	2,27	4,96	2,27	1,07	0,28	8,43	8,58

En las tablas 11 y 12 se indica los ácidos orgánicos de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 11. Ácidos orgánicos de los subproductos seleccionados.

Ácidos orgánicos ppm de los cuales:	Cascarilla de arroz	Salvado de arroz	Micelio biomasa	Aguacate	Harina zootécnica	Hoja caída kiwi	Alperujo	uva	Hoja caída caqui	Hoja caída aguacate
Ácido Málico	<0,1	<0,1	<0,1	0,80	<0,1	0,40	<0,1	<0,1	<0,1	0,69
Ácido acético	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	31,00	<0,1
Ácido láctico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	6,00	<0,1	<0,1
Ácido benzoico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido fumárico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido ciberélico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido formico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	28,00	<0,1
Ácido giberélico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	46,00	<0,1
Ácido butirico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	8,00	<0,1
Ácido tartárico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,64	10,00	<0,1	<0,1
Pectina	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido Cítrico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,50	0,13	1,00	2,00	<0,1
Ácido Gálico	<0,1	<0,1	<0,1	1,10	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,00
Ácido propiónico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

Tabla 12. Ácidos orgánicos de los subproductos seleccionados.

Ácidos orgánicos (ppm)	Bagazo	Mandarina	Levadura	Hoja de vid	kiwi	caqui	Hoja caída de mandarina	Subproducto de carpóforo	Orujillo	Orujo graso seco
Ácido Málico	<0,1	0,10	<0,1	<0,1	0,80	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido acético	32,00	31,00	52,00	<0,1	<0,1	4,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido láctico	<0,1	<0,1	<0,1	0,02	<0,1	1,00	<0,1	<0,1	1,64	3,53
Ácido benzoico	16,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido fumárico	5,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido ciberélico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido formico	<0,1	<0,1	22,00	<0,1	<0,1	3,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido giberélico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido butírico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	2,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido tartárico	<0,1	<0,1	<0,1	0,15	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pectina	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	1,26	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido Cítrico	<0,1	0,64	<0,1	0,08	4,20	2,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido Gálico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Ácido propiónico	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	4,00	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

En las tablas 13 y 14 se indica las hormonas vegetales de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 13. Hormonas vegetales de los subproductos seleccionados.

Hormonas vegetales (ppm)	Cascarilla de arroz	Salvado de arroz	Micelio biomasa	Aguacate	Harina zootécnica	Hoja caída kiwi	Alperujo	uva	Hoja caída caqui	Hoja caída aguacate
Auxina	32	44	2	0,60	6,00	11,00	8,00	3,00	28,00	0,98
Ciberolinas	32,00	44,00	2,00	<0,1	22,00	10,00	1,00	9,00	<0,1	<0,1
citoquininas	8,00	15,00	44,00	<0,1	10,00	4,00	<0,1	2,00	<0,1	<0,1
Esparagina	<0,1	<0,1	<0,1	0,44	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	44,00	0,70

Tabla 14. Hormonas vegetales de los subproductos seleccionados.

Hormonas vegetales (ppm)	Bagazo	Mandarina	Levadura	Hoja de vid	kiwi	Caqui	Hoja caída de mandarina	Subproducto de carpóforo	Orujillo	Orujo graso seco
Auxina	2,00	0,80	17,00	12,00	189,00	36,00	0,10	5,00	2,00	<0,1
Ciberolinas	13,00	<0,1	42,00	18,00	84,00	46,00	<0,1	3,00	9,00	4,00
Citoquininas	<0,1	<0,1	<0,1	5	34,00	10,00	0,30	65,00	2,00	1,00
Esparagina	<0,1	0,50	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1	0,80	<0,1	<0,1	<0,1

En las tablas 15 y 16 se indica otros compuestos de interés de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 15. Otros compuestos de interés de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Cascarilla de arroz	Salvado de arroz	Micelio biomasa	Aguacate	Harina zootécnica	Hoja caída kiwi	Alperujo	uva	hHoja caída caqui	Hoja caída aguacate
Nitrógeno total	0,59	2,25	0,96	0,22	1,41	1,46	0,34	0,16	1,29	1,78
Nitrógeno ligado a fibra ácido detergente	0,41	0,88	0,64	0,15	1,02	1,14	0,20	0,10	1,18	1,50
Polifenoles	0,11	0,2	0,09	0,38	0,29	0,11	0,28	0,13	0,18	0,06
Antioxidantes no enzimáticos (ppm)	65	110	30	88,00	72,00	210,00	31,00	82,00	76,00	65,00

Tabla 16. Otros compuestos de interés de los subproductos seleccionados.

Nutrientes (g/100 g)	Bagazo	Mandarina	Levadura	Hoja de vid	kiwi	caqui	Hoja caída de mandarina	Subproducto de carpóforo	Orujillo	Orujo graso seco
Nitrógeno total	0,32	0,13	1,13	0,37	0,29	0,099	0,92	2,46	1,36	1,38
Nitrógeno ligado a fibra ácido detergente	0,29	0,10	0,77	0,28	0,16	0,480	0,69	1,80	0,92	0,95
Polifenoles	0,44	1,80	0,70	0,24	0,37	0,03	0,09	0,28	0,07	0,05
Antioxidantes no enzimáticos (ppm)	38,00	180,00	58,00	54,00	486,00	290,00	85,00	41,00	91,00	88,00

En la tabla 17 se indica los pH de los diferentes 20 subproductos en estudio.

Tabla 17. PH de los subproductos seleccionados.

Referencia	pH
Hojas de caqui	6,42
Hojas de Mandarina	6,30
Hojas de kiwi	6,38
Hojas de aguacate	6,21
Uva	3,81
Hoja Uva	4,92
mandarina	3,30
Caqui	5,84
Kiwi	3,75
Aguacate	6,18
Orujillo	5,2
Orujo graso seco	4,99
Cascarilla de arroz	6,3
Salvado de arroz	6,42
Harina zootecnica	5,25
Micelio en biomasa	3,83
Suproducto de carpofofo	5,04
Levadura	6,92
Bagazo	5,94
Alperujo	4,90

En base a los resultados obtenidos tras la caracterización de los diferentes subproductos, y en consenso con la empresa, se han seleccionado 4 subproductos potencialmente interesantes, sobre los que aplicarán en la siguiente tarea diferentes tecnologías y/o procesos para su revalorización y uso en bioestimulantes

Según la bibliografía consultada, para evaluar el potencial de subproductos vegetales como biofertilizantes o bioestimulantes, es importante entender qué compuestos son beneficiosos en altas concentraciones, ya que pueden aportar nutrientes, estimular el crecimiento vegetal o mejorar la salud del suelo. Concretamente los compuestos deseables en altas concentraciones son:

- **Nitrógeno total (N total) (Florez-Jalixto et al., 2021):** Es fundamental para el crecimiento vegetal y fuente clave de nutrientes en biofertilizantes.

- **Aminoácidos (Florez-Jalixto et al., 2021; Hosseinifard, M. et al., 2022):** Pueden actuar como bioestimulantes, mejorando la absorción de nutrientes, la resistencia al estrés y el metabolismo vegetal. Lo aminoácidos clave, en este sentido son:
  - Prolina: mejora la tolerancia al estrés hídrico y salino.
  - Glicina: favorecen la síntesis de clorofila y el crecimiento vegetal.
  - Ácido glutámico: estimula la absorción de nutrientes y la síntesis de proteínas.
  - Arginina: participa en la síntesis de poliaminas, que regulan el crecimiento celular.
  - Alanina: mejora la resistencia al estrés térmico.
  - Serina y Treonina: implicadas en la fotosíntesis y el metabolismo energético.
  - Lisina y Metionina: esenciales para la síntesis de proteínas y enzimas.
  - Histidina: puede actuar como quelante de metales, útil en suelos contaminados.
  
- **Ácidos grasos Li, J., Zhao, X. et al., 2021):** Los ácidos grasos pueden mejorar la estructura del suelo, estimular microorganismos beneficiosos y actuar como precursores de señales bioquímicas. Los ácidos grasos clave, en este sentido, son:
  - Ácido linoleico (omega-6): precursor de señales de defensa vegetal.
  - Ácido linolénico (omega-3): participa en la síntesis de jasmonatos, que regulan la respuesta al estrés.
  - Ácido oleico (omega-9): mejora la permeabilidad celular y la resistencia al estrés.
  - Ácido palmítico y esteárico: aunque saturados, pueden tener funciones estructurales en membranas.
  
- **Polifenoles (Schmidt, M. A. et al., 2013):** Pueden mejorar la resistencia de las plantas al estrés abiótico.
  
- **Antioxidantes no enzimáticos (Sayed, A. A. et al., 2024):** Protegen a las plantas del estrés oxidativo.
  
- **Ácidos orgánicos (Macias-Benitez, S. et al., 2020):** Mejoran la disponibilidad de nutrientes en el suelo y estimulan la microbiota beneficiosa y pueden tener efectos quelantes. En este sentido, los ácidos clave, son:
  - Ácido cítrico: es un quelante natural de micronutrientes y estimula la actividad microbiana.
  - Ácido málico: Participa en la respiración celular y mejora la absorción de fósforo.
  - Ácido láctico y acético: Presentes en fermentaciones; mejoran la salud del suelo y controlan patógenos.

- **Hormonas vegetales (Zaheer, M. S. et al., 2022):** Regular el crecimiento, desarrollo y respuesta al estrés de las plantas. En este sentido las hormonas clave, son:
  - Auxinas (IAA, AIA): Estimulan el crecimiento radicular y la elongación celular y favorecen la formación de raíces adventicias (muy til en trasplantes).
  - Giberelinas (GA): Promueven la germinación, el alargamiento del tallo y la floración y son útiles para romper la dormancia de semillas.
  - Citoquininas: Estimulan la división celular y retrasan la senescencia y favorecen el desarrollo de brotes y hojas.
- **Fibra soluble e insoluble (FAO: Organic Matter: Importance of Organic Matter in Soil Health):** Favorecen la actividad microbiana en el suelo, mejorando su estructura y fertilidad.

A continuación, se presenta una tabla de priorización para seleccionar los 4 mejores subproductos vegetales entre 20, basada en su potencial como biofertilizantes o bioestimulantes. Esta tabla clasifica los compuestos clave por nivel de prioridad, en función de su impacto directo en el crecimiento vegetal, la salud del suelo y la resistencia al estrés

Tabla 17. Nivel de prioridad de Compuestos Bioactivos

Nivel de Prioridad	Compuesto	Justificación
Muy Alta	Nitrógeno total	Nutriente esencial para el crecimiento vegetal.
	Aminoácidos clave	Bioestimulantes directos: mejoran absorción de nutrientes y tolerancia al estrés.
	Hormonas vegetales (auxinas, GA, citoquininas)	Regulan el desarrollo y estimulan el crecimiento radicular y foliar.
Alta	Ácidos orgánicos (cítrico, málico, láctico)	Mejoran la disponibilidad de nutrientes y estimulan la microbiota.
	Ácidos grasos insaturados (omega-3, omega-6)	Estimulan microorganismos y participan en señalización celular.
Media	Polifenoles y antioxidantes	Mejoran la resistencia al estrés abiótico y oxidativo.
	Fibra soluble e insoluble	Favorecen la actividad microbiana y la estructura del suelo.
	Ácidos grasos insaturados (omega-3, omega-6)	Estimulan microorganismos y participan en señalización celular.

Los cuatro subproductos mejor valorados en función de todos los parámetros analizados. Los seleccionados han sido:

1. Subproducto de carpóforo
2. Salvado de arroz
3. Kiwi
4. Levadura

Estos cuatro subproductos han destacado por su alto contenido en nitrógeno, aminoácidos clave, ácidos grasos insaturados, hormonas vegetales, polifenoles y antioxidantes, lo que los convierte en excelentes candidatos para el desarrollo de biofertilizantes o bioestimulantes.

A pesar de que el subproducto de carpóforo presenta una de las caracterizaciones más completas y prometedoras desde el punto de vista técnico y funcional, su precio de partida es considerablemente elevado. Este factor hace que no resulte rentable aplicar tecnologías y/o procesos para su revalorización y uso en bioestimulantes.

Desde una perspectiva de viabilidad económica, su revalorización no es justificable en el contexto actual del proyecto, por lo que se ha descartado su selección final a pesar de su alto potencial bioactivo.

Por otro lado, aunque el caqui no haya quedado en el top 5 por puntuación técnica, nos interesa incluirlo desde una perspectiva estratégica y de valor añadido para la empresa, debido a:

-Disponibilidad y proximidad: Alta disponibilidad local del subproducto de caqui, lo que reduce costes logísticos y de almacenamiento y aprovechamiento de residuos propios o de socios cercanos, alineado con la economía circular.

-Valor estratégico para la marca: Refuerza el compromiso ambiental de la empresa al valorizar un residuo agrícola local y puede ser un elemento diferenciador en la comunicación del producto: "bioestimulante a base de caqui local".

- Potencial bioactivo específico: Buena cantidad de fibra dietética total (12,08 g/100 g), contenido relevante en polifenoles (0,37 g/100 g), presencia de ácido cítrico y butírico, que pueden mejorar la salud del suelo y la microbiota, y antioxidantes no enzimáticos elevados (290 ppm), lo que puede mejorar la resistencia al estrés vegetal.

-Potencial de innovación: El caqui es un subproducto menos explorado en bioestimulantes, lo que abre oportunidades para I+D y diferenciación en el mercado.

## Conclusiones

1. Tras el análisis de 20 subproductos vegetales, se han identificado los cuatro con mayor potencial técnico para su uso como biofertilizantes o bioestimulantes:

- Salvado de arroz
- Kiwi
- Levadura
- Caqui

Estos destacan por su alto contenido en nitrógeno total, aminoácidos clave, ácidos grasos insaturados, hormonas vegetales, polifenoles y antioxidantes, lo que los convierte en excelentes candidatos para su revalorización.

2. En el caso del subproducto de carpóforo, a pesar de su excelente perfil técnico, presenta un precio de partida elevado y un bajo rendimiento de obtención, lo que limita su viabilidad económica. Por tanto, se ha descartado su uso en esta fase del proyecto.

3. Aunque el caqui no figura entre los mejor valorados técnicamente, se propone su inclusión por razones estratégicas:

- Alta disponibilidad local, lo que reduce costes logísticos.
- Valor añadido para la marca, al valorizar un residuo agrícola local.
- Contenido bioactivo relevante: fibra dietética, polifenoles, ácido cítrico y antioxidantes.
- Potencial de innovación: es un subproducto poco explorado, con oportunidades para I+D y diferenciación.

4. Se han aplicado criterios de priorización basada en el impacto de los compuestos en el crecimiento vegetal, la salud del suelo y la resistencia al estrés. Los compuestos con prioridad muy alta incluyen:

- Nitrógeno total
- Aminoácidos clave
- Hormonas vegetales
- Ácidos orgánicos
- Ácidos grasos insaturados
- Polifenoles y antioxidantes
- Fibra soluble e insoluble

## Bibliografía

- FAO: Organic Matter: Importance of Organic Matter in Soil Health ([https://www.fao.org/4/a0100e/a0100e0d.htm?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.fao.org/4/a0100e/a0100e0d.htm?utm_source=chatgpt.com))
- Florez-Jalixto et al. (2021). *Biofertilizantes y bioestimulantes para uso agrícola y acuícola: Bioprocesos aplicados a subproductos orgánicos de la industria pesquera*
- Hosseinifard, M., Stefaniak, S., Ghorbani Javid, M., Soltani, E., Wojtyla, Ł., & Garnczarska, M. (2022). Contribution of exogenous proline to abiotic stresses tolerance in plants: a review. *International Journal of Molecular Sciences*, 23(9), 5186.
- Li, J., Zhao, X., Bailey, L. S., Kamat, M. N., & Basso, K. B. (2021). Identification and characterization of proteins, lipids, and metabolites in two organic fertilizer products derived from different nutrient sources. *Applied Biological Chemistry*, 64(1), 72.
- Macias-Benitez, S., Garcia-Martinez, A. M., Caballero Jimenez, P., Gonzalez, J. M., Tejada Moral, M., & Parrado Rubio, J. (2020). Rhizospheric organic acids as biostimulants: monitoring feedbacks on soil microorganisms and biochemical properties. *Frontiers in plant science*, 11, 633.
- Sayed, A. A., Seoudi, Z., Osman, A. S., Semida, W. M., Rady, M. M., Elkelish, A., & Mahmoud, A. E. (2024). Soil-plant Integrative Supplementation with Humic Acid and Antioxidants Improves Growth, Fruit Quality, and Antioxidant Capacity of Cd-stressed Solanum Melongena. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 24(4), 7581-7604.
- Schmidt, M. A., Kreinberg, A. J., Gonzalez, J. M., Halvorson, J. J., French, E., Bollmann, A., & Hagerman, A. E. (2013). Soil microbial communities respond differently to three chemically defined polyphenols. *Plant physiology and biochemistry*, 72, 190-197.
- Zaheer, M. S., Ali, H. H., Iqbal, M. A., Erinle, K. O., Javed, T., Iqbal, J., ... & Dessoky, E. S. (2022). Cytokinin production by *Azospirillum brasilense* contributes to increase in growth, yield, antioxidant, and physiological systems of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Frontiers in Microbiology*, 13, 886041.



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



## **PERTE AGROALIMENTARIO ACCELEREAT.**

*Línea I+D+i — Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.*

**PP12: Investigación de nuevos productos destinados a sectores alternativos a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.**

**ENT\_002**

**INFORME DE APLICACIÓN DE LOS COMPUESTOS DE VALOR IDENTIFICADOS PROCEDENTES DE SUBPRODUCTOS/RESIDUOS E INSECTOS EN FÓRMULAS DE PIENSOS.**

**Entidad responsable: VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA, S.L.**

Programa: PERTE Agroalimentario ACCELEREAT — Línea I+D+i

Financiado por: Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia — NextGenerationEU.

Fecha: Abril 2026.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS. ....	2
ÍNDICE DE TABLAS. ....	3
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME. ....	4
1.2 Contexto sectorial: “La <i>Industria de Piensos en España y la UE</i> ” .....	4
1.3 Cadena de Valor PP12: de SDR al pienso funcional. ....	4
2. COMPUESTOS DE VALOR APLICABLES EN FÓRMULAS DE PIENSOS: ANÁLISIS POR FUENTE SDR. ....	6
2.1 Ingredientes derivados de insecto. ....	6
2.1.1 Harina Proteica de <i>Tenebrio molitor</i> (TmM — Mealworm Meal). ....	6
2.1.2 Harina Proteica de <i>Hermetia illucens</i> (HiM — Black Soldier Fly Meal). ....	7
2.1.3 Aceite de insecto. ....	7
2.1.4 Quitina y quitosano de insecto. ....	8
2.1.5 Péptidos bioactivos de insecto. ....	8
2.2 Compuestos bioactivos de SDRs aplicables directamente en piensos. ....	9
2.2.1 $\beta$ -Glucanos y Quitina Fúngica del Micelio Biomasa (HIFAS da Terra). ....	9
2.2.2 Polifenoles del Olivar — oleuropeína, hidroxitirosol y ácidos fenólicos (ACESUR). ....	10
2.2.3 $\gamma$ -Orizanol, tocotrienoles y fitosteroles del salvado de arroz. ....	11
2.2.4 Pectinas y flavonoides cítricos — bagazo de naranja y mandarina. ....	12
2.2.5 Compuestos fenólicos de la biomasa foliar. ....	12
3. MÉTODOS DE INCORPORACIÓN, ESTABILIDAD Y COMPATIBILIDAD TECNOLÓGICA. ....	14
3.1 Procesamiento de los ingredientes de insecto para su uso en piensos. ....	14
3.2 Tecnologías de extracción de compuestos bioactivos de SDRs para piensos. ....	15
3.3 Estabilidad de compuestos bioactivos durante el procesamiento de piensos. ....	15
3.4 Compatibilidad con aditivos y matrices de pienso. ....	16
4. VIABILIDAD Y PRUEBAS DE CONCEPTO: FORMULACIONES DE PIENSO CON INGREDIENTES PP12. .	17
4.1 Formulaciones propuestas para acuicultura. ....	17
4.2 Formulaciones propuestas para avicultura. ....	17
4.3 Formulaciones propuestas para porcino. ....	18
4.4 Formulaciones propuestas para mascotas (Petfood). ....	19
5. SEGURIDAD ALIMENTARIA Y MARCO REGULATORIO PARA LA APLICACIÓN EN PIENSOS. ....	21
5.1 Contaminantes y límites legales. ....	21
5.2 Marco regulatorio de los ingredientes de insecto en piensos. ....	21
6. ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y COMPETITIVIDAD. ....	23
6.1 Comparativa de costes de ingredientes. ....	23
6.2 Segmentos de mercado y estrategia de entrada. ....	23



7. PERSPECTIVAS DE FUTURO Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL PT_2.....	25
7.1 Investigación a corto plazo (PT_2/ENT_3 a ENT_8).....	25
• ENT_3: Selección y optimización de procesos de extracción de los compuestos de valor prioritarios de los SDRs PP12 para su incorporación en piensos ( $\beta$ -glucanos de micelio HIFAS, polifenoles de ACESUR, pectinas de INNOLACT), con evaluación técnico-económica comparativa de los métodos descritos en la Sección 3.2. ....	25
• ENT_4: Investigación bibliográfica y experimental sobre la aplicación específica de las especies de hongos de HIFAS da Terra (G. frondosa, H. <i>erinaceus</i> , L. <i>edodes</i> , P. <i>ostreatus</i> ) en nutrición y salud animal por especie destino (aves, porcino, acuicultura, mascotas). ....	25
• ENT_5: Formulación de núcleos funcionales (premixes) para cada especie destinataria, combinando los compuestos bioactivos PP12 ( $\beta$ -glucanos, polifenoles, pectinas, tocotrienoles) con ingredientes convencionales de soporte. ....	25
• ENT_6: Estudios de dosis-respuesta para los núcleos funcionales formulados, con análisis de coste-beneficio por especie y aplicación. ....	25
• ENT_7: Pruebas de concepto a escala laboratorio con las formulaciones propuestas en el presente ENT_2.....	25
• ENT_8: Caracterización de los procesos de obtención de ingredientes derivados de insecto (harina, aceite, quitosano, péptidos) a escala piloto con los SDRs del consorcio PP12. ....	25
7.2 Concepto de " <i>Insecto de Diseño</i> " (Designer Insect) como tendencia de IDi. ....	25
8. CONCLUSIONES.....	26
9. BIBLIOGRAFÍA.....	27
Referencias bibliográficas principales.....	27
Normativa y Regulación Aplicable. ....	27

## ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 - Composición proximal de harina de <i>T. molitor</i> según sustrato (% materia seca).....	6
Tabla 2 - Composición de ácidos grasos de harina BSF según sustrato (% AG totales).....	7
Tabla 3 - Efecto de suplementación con polifenoles del olivar en piensos de monogástricos (revisión). ....	11
Tabla 4 - Etapas del procesamiento de larvas de insecto para producción de harina y aceite.....	14
Tabla 5 - Estabilidad de compuestos bioactivos frente al procesamiento estándar de piensos. ....	16
Tabla 6 - Formulación orientativa de pienso para salmónidos con ingredientes PP12.....	17
Tabla 7 - Formulación orientativa de pienso broiler STARTER con ingredientes PP12. ....	18
Tabla 8 - Formulación orientativa de pienso de destete con ingredientes PP12. ....	18
Tabla 9 - Formulación orientativa de pienso seco (kibble) para perros adultos con ingredientes PP12. ....	19
Tabla 10 - Límites máximos de contaminantes relevantes para ingredientes PP12 (Directiva 2002/32/CE). ....	21
Tabla 11 - Comparativa de costes de ingredientes proteicos y funcionales convencionales vs. PP12.23	



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.

El ENT\_1 estableció que los 15 SDRs del consorcio PP12 contienen compuestos bioactivos de alto valor y poseen aptitud variable como sustratos para la cría industrial de *T. molitor* y *H. illucens*.

El presente ENT\_2, adscrito al Paquete de Trabajo PT\_2, da respuesta a la siguiente pregunta central: *¿cómo y en qué condiciones pueden aplicarse los compuestos de valor procedentes de estos SDRs — bien directamente como ingredientes extraídos, bien transformados mediante bioconversión por insectos— en la formulación de piensos compuestos para las principales especies de producción animal y mascotas?*

La formulación de piensos compuestos es un proceso altamente regulado y técnicamente complejo, que exige conocer con precisión no solo la composición proximal de cada ingrediente, sino también su digestibilidad, estabilidad durante el procesamiento y almacenamiento, compatibilidad con los demás ingredientes de la fórmula, y sus propiedades funcionales específicas (palatabilidad, antioxidante, prebiótico, inmunomodulador). El alcance del PT\_2 —que a su vez articula los entregables ENT\_2 a ENT\_8— pretende cubrir todo este espectro, desde la identificación de compuestos aplicables hasta el diseño de núcleos funcionales y su validación a escala de laboratorio.

### 1.2 Contexto sectorial: “La Industria de Piensos en España y la UE”.

España es el primer productor de piensos compuestos de la Unión Europea, con 38,8 millones de toneladas producidas en 2024 (20% del total comunitario), con un crecimiento del 1,5% respecto a 2023. El sector porcino (30,8 M de animales, facturación >25.000 M€), el sector avícola (1.er productor UE de carne de ave), el sector acuícola (5.º productor UE) y el creciente mercado de mascotas (+31,3% en 2024) representan los destinos mayoritarios de los piensos producidos en España.

La industria de piensos enfrenta una doble presión estructural:

- a) la volatilidad y alto coste de las materias primas proteicas convencionales —harina de soja 350–550 €/t, harina de pescado premium 1.200–2.000 €/t—, y
- b) las exigencias crecientes del mercado en materia de sostenibilidad, trazabilidad y funcionalidad nutricional.

En este contexto, los ingredientes de insecto y los bioactivos extraídos de SDRs agroalimentarios emergen como soluciones complementarias que aportan proteína de alta calidad, perfil funcional diferenciado y huella ambiental reducida (–78% CO<sub>2</sub> vs. harina de pollo en el caso de ProteinX de Protix).

### 1.3 Cadena de Valor PP12: de SDR al pienso funcional.

El modelo integrado del PP12 para la generación de ingredientes para piensos opera en dos niveles paralelos y complementarios:[2][1]

**Nivel 1 — Bioconversión:** los SDRs son utilizados como sustrato de cría para *T. molitor* y *H. illucens*. Las larvas producidas se procesan para obtener: harina proteica desengrasada (45–66% proteína MS), aceite de insecto (25–45% de la biomasa seca), quitina/quitosano y péptidos bioactivos. Este flujo genera ingredientes técnicamente aprobados para su uso en piensos de acuicultura, porcino, avicultura y mascotas conforme a los Reglamentos UE 2017/893 y 2021/1372.

**Nivel 2 — Extracción directa:** determinados SDRs del panel contienen compuestos funcionales que no justifican la ruta insecticultura (bien porque son inhibidores larvales en concentración alta, bien porque su valor en extracción directa supera el generado por bioconversión) y que pueden incorporarse directamente —o como extractos estandarizados— en formulaciones de piensos: β-



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



glucanos y quitina fúngica (micelio HIFAS), polifenoles del olivar (ACESUR), pectinas y hesperidina cítrica (AGRICONSA),  $\gamma$ -orizanol y tocotrienoles del salvado de arroz (DACSA), taninos hidrolizables y ácido elágico (hojas de caqui VGA), resveratrol (hoja de vid VGA).[2][1]



## 2. COMPUESTOS DE VALOR APLICABLES EN FÓRMULAS DE PIENSOS: ANÁLISIS POR FUENTE SDR.

### 2.1 Ingredientes derivados de insecto.

El método de sacrificio tiene un impacto directo sobre la calidad nutricional y funcional de las proteínas y lípidos extraídos. Los principales métodos evaluados en la literatura científica son la congelación (lenta y con nitrógeno líquido), el blanqueo (escaldado) y el tratamiento por microondas.

#### 2.1.1 Harina Proteica de *Tenebrio molitor* (TmM – Mealworm Meal).

La harina de larvas de *T. molitor* es el ingrediente de insecto más estudiado para piensos de animales de compañía, aves de corral y acuicultura. Su perfil nutricional sobre materia seca varía con el sustrato de cría, pero mantiene una consistencia notable en el perfil de aminoácidos esenciales:

Tabla 1 - Composición proximal de harina de *T. molitor* según sustrato (% materia seca).

Sustrato base	Proteína bruta	Grasa bruta	Quitina	Cenizas	Referencia
Salvado de trigo (control).	45–55	30–40	3–7	3–5	Schiavone et al., 2022.
Salvado de arroz (DACSA).	46,74	32–38	4–6	3–5	Iyapo et al., 2024.
Alperujo 25% (ACESUR).	47,58	32–36	4–6	3–5	Osimani et al., 2020.
Micelio POS 20% (HIFAS).	48–52	30–38	4–7	3–5	Morales et al., 2025.
Dieta alta proteína (BSG).	52,46	27–33	5–8	3–5	Schiavone et al., 2022.

El perfil de aminoácidos esenciales (AAE) de la harina de *T. molitor* es notablemente estable independientemente del sustrato de cría. Schiavone et al. (2022) demostraron que los AAE como proporción de la proteína bruta no difirieron significativamente ( $p > 0,05$ ) entre tres dietas con composición muy diferente (alta almidón, media, alta proteína).

Los aminoácidos limitantes consistentes son metionina + cisteína (SAA), lo que exige suplementación cuando se sustituye completamente la harina de pescado en piensos para salmónidos.

El Índice de Aminoácidos Indispensables Digestibles (DIAAS), evaluado mediante digestibilidad in vitro (Moretti et al., 2023), alcanza valores  $\geq 100$  (Excelente) para adultos en forma escaldada, con digestibilidad total de proteína del 91–99%. Este valor posiciona la harina de *T. molitor* a la altura de la harina de pollo (DIAAS: 113) y por encima de la harina de soja (DIAAS: 90) como fuente proteica de alta calidad.

#### Aplicaciones prioritarias en piensos (TmM):

- **Acuicultura:** sustitución parcial (10–30%) o total de harina de pescado en truchas, salmónidos, peces planos y dorada, sin efectos negativos en parámetros zootécnicos ni en microbiota intestinal.



- **Avicultura:** inclusión 2,5–5% en fase starter de broilers (mejora GMD y FCR) y 10–24% sustituyendo parcialmente harina de soja.
- **Petfood (canino/felino):** ingrediente hipoalergénico premium con palatabilidad aceptable hasta 20% de inclusión en perros. Excelente digestibilidad aparente del nitrógeno (83–87%).

### 2.1.2 Harina Proteica de *Hermetia illucens* (HiM — Black Soldier Fly Meal).

La revisión sistemática de Silva et al. (2024), basada en 47 artículos, establece el perfil composicional medio de la harina de BSF desgrasada: 49,8% proteína bruta, 22,1% extracto etéreo, 11,2% fibra bruta, 9,60% cenizas, 2,61% Ca, 0,98% P y 5.646 kcal/kg de energía bruta.

Este perfil varía con el sustrato: el bagazo de naranja produjo harinas con 38,90–44,68% de proteína MS y el mayor contenido en hierro y manganeso entre los sustratos comparados.

**Característica diferencial de la harina de BSF:** elevado contenido en ácido láurico (C12:0, 28–51,5% de los ácidos grasos totales) cuando la alimentación incluye fuentes de carbono fermentables.

El ácido láurico es un ácido graso saturado de cadena media con reconocida actividad antimicrobiana frente a bacterias Gram-positivas (*Clostridium perfringens*, *Staphylococcus aureus*, *Listeria monocytogenes*), de especial interés como sustituto de promotores de crecimiento antibióticos en avicultura y porcino.

Tabla 2 - Composición de ácidos grasos de harina BSF según sustrato (% AG totales).

Sustrato	C12:0 (Láurico)	C14:0	C16:0	C18:1 (Oleico)	C18:2 (Linoleico)
Dieta convencional	28–40	8–15	12–18	12–20	5–15
Bagazo naranja	35–45	10–14	12–16	10–18	8–12
Orujillo (ACESUR)	30–38	8–12	14–18	15–22	7–13
Lactosuero (INNOLACT)	20–30	12–18	14–20	8–15	5–10

#### Aplicaciones prioritarias en piensos (HiM):

- **Porcino:** sustitución 10–25% de proteína plasmática en lechones destetados (mejora IgG y peso corporal). Inclusión 20% sustituyendo concentrado proteico de soja sin efectos adversos en crecimiento ni morfología intestinal.
- **Avicultura:** inclusión 8–10% en fase starter; 24% sustituyendo parcialmente soja en growers (mejora significativa de GMD, FCR y estabilidad oxidativa).
- **Mascotas:** el aceite de BSF muestra menor aceptabilidad que otros aceites en gatos, pero la harina BSF desgrasada tiene buena palatabilidad hasta 20% inclusión. Estudios en Golden Retrievers no mostraron efectos negativos en peso, digestibilidad ni IgE.

### 2.1.3 Aceite de insecto.

El aceite de insecto (fracción lipídica extraída por prensado en frío o hexano) es un co-producto de creciente interés para piensos energéticos y como sustituto del aceite de palma en la cadena alimentaria. Su perfil de ácidos grasos es altamente modulable por el sustrato (concepto de "insectos de diseño").



**Aceite de *T. molitor* con sustratos PP12:** los estudios de Morales et al. (2025) demuestran que la incorporación de alperujo (ACESUR) al 20–100% del sustrato eleva el ácido oleico desde 31,0% (control) hasta 61,0% (ALP100), con un incremento de MUFA totales de 33,6% a 64,6%. Este perfil enriquecido en oleico es de especial valor para formulaciones de pienso para acuicultura (protección frente a oxidación lipídica) y para la industria oleoquímica verde.

**Aceite de *H. illucens*:** Lawal et al. (2021) demostraron que la suplementación de sustratos BSF con harinas de semillas oleaginosas (lino, chía, cáñamo, colza) aumenta significativamente los ácidos grasos omega-3. Con 20% de cáñamo en el sustrato, la ratio  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 de las prepupas se redujo de 9,9:1 (basal) a 3,5:1. Para piensos de salmónidos, que requieren perfiles ricos en EPA y DHA, la estrategia de enriquecimiento con omega-3 mediante el sustrato es una vía prometedora validada experimentalmente.

#### 2.1.4 Quitina y quitosano de insecto.

El contenido de quitina en larvas de *T. molitor* varía entre 3 y 8% sobre materia seca según la dieta, la etapa larval y el método de extracción; en *H. illucens* oscila entre 3,6 y 18,5% MS, con los valores máximos en el puparium.

La quitina actúa como antinutricional a nivel de pienso por reducción de la digestibilidad aparente de proteínas, por lo que la dequitinización es un paso necesario para formulaciones de alta inclusión en especies monogástricas.

El quitosano derivado de la desacetilación parcial de la quitina del insecto presenta actividades documentadas de relevancia para piensos:

- **Prebiótico:** estimulación selectiva de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium* en microbiota intestinal de aves y porcino, con reducción de patógenos entéricos.
- **Antimicrobiano:** actividad directa frente a *E. coli*, *Salmonella* y hongos toxicogénicos en la matriz de pienso.
- **Inmunomodulador:** activación de respuesta innata (macrófagos, células NK) y adquirida (linfocitos T) en aves y peces, con efectos similares a los  $\beta$ -glucanos.
- **Antioxidante:** quelación de iones metálicos que catalizan la oxidación lipídica en el pienso, con valor tecnológico como conservante natural.

La dosificación recomendada de quitosano en piensos es de 0,5–3,0 g/kg de pienso terminado, según la especie y el efecto buscado. A estas concentraciones, los estudios reportan mejoras del 5–15% en FCR y reducciones del 20–40% en la incidencia de patologías entéricas en aves.

#### 2.1.5 Péptidos bioactivos de insecto.

La hidrólisis enzimática de la proteína de insecto (alcalasa, flavourzima, proteasa, pepsina/pancreatina secuencial) produce fracciones peptídicas con actividades funcionales de alto valor para piensos funcionales y nutraceúticos:

- **Péptidos inhibidores de ACE (antihipertensivos):** secuencias di/tripeptídicas (VPP, IPP, IHRF) con  $IC_{50} < 1$  mM en ensayos in vitro. Relevantes para formulaciones de piensos para mascotas con patologías cardiovasculares y en piensos nutracéuticos para animales de producción de alto rendimiento.
- **Péptidos antimicrobianos (AMPs):** defensinas, tenecinas, apidecinas y cecropinas del insecto con actividad bactericida directa frente a patógenos grampositivos y gramnegativos. La tenecina-3 de *T. molitor* ha mostrado eficacia frente a *Staphylococcus epidermidis* y *Bacillus*



*subtilis*. Candian y Tedeschi (2023) demostraron que la expresión de tenecina-3 en *T. molitor* aumenta significativamente con dietas ricas en azúcares simples.

- **Péptidos antioxidantes:** secuencias ricas en His y Trp con capacidad de secuestro de radicales libres (DPPH, ABTS) superiores a los estándares BHT/BHA comerciales usados en piensos.
- **Péptidos con actividad DPP-IV inhibidora (antidiabética):** de interés para piensos para mascotas con diabetes mellitus tipo 2 (especialmente gatos).

La incorporación de hidrolizados de proteína de insecto como ingrediente de piensos (1–5% de inclusión) es tecnológicamente factible mediante técnicas de spray drying para estabilización y encapsulación de péptidos lábiles.

## 2.2 Compuestos bioactivos de SDRs aplicables directamente en piensos.

### 2.2.1 $\beta$ -Glucanos y Quitina Fúngica del Micelio Biomasa (HIFAS da Terra).

Los  $\beta$ -(1,3) (1,6)-D-glucanos procedentes del micelio de *Ganoderma lucidum*, *Lentinus edodes*, *Pleurotus ostreatus* y otras especies cultivadas por HIFAS da Terra son los inmunomoduladores naturales más estudiados en nutrición animal.

Su mecanismo de acción implica la unión a receptores Dectin-1 y CR3 en la superficie de macrófagos, células dendríticas y neutrófilos, activando cascadas de señalización que resultan en la producción de citocinas proinflamatorias (TNF- $\alpha$ , IL-6, IL-12) y anticuerpos específicos.

- Evidencia científica en piensos:
  - **Avicultura:** meta-análisis (Belhadj Slimen et al., 2023) confirmaron que la suplementación con  $\beta$ -glucanos de hongos a dosis de 50–200 mg/kg de pienso mejora el índice de conversión alimentaria (FCR) entre un 4–8%, reduce la mortalidad por patologías entéricas un 15–25%, y aumenta la respuesta inmune humoral (anticuerpos frente a Newcastle, bronquitis infecciosa). Los efectos son comparables a la suplementación con probióticos convencionales y superiores a la mayoría de prebióticos no fúngicos.
  - **Acuicultura:** en trucha arcoíris y salmón Atlántico, la suplementación con  $\beta$ -glucanos fúngicos (50–100 mg/kg pienso) durante 8 semanas mejoró la actividad fagocítica de macrófagos en un 35–60%, la actividad de lisozima sérica en un 25–40%, y redujo la mortalidad por *Aeromonas salmonicida* en un 30–50% vs. control.
  - **Porcino:** inclusión de 100–300 mg  $\beta$ -glucanos/kg pienso en lechones destetados reduce la diarrea post-destete en un 20–35% y mejora la ganancia media diaria en un 5–10%.
  - **Mascotas:** los  $\beta$ -glucanos fúngicos forman parte de fórmulas premium para mascotas geriátricas e inmunocomprometidas, con aval clínico creciente como coadyuvantes en terapia oncológica veterinaria (MGN-3/Biobran).
- Dosis recomendadas de  $\beta$ -glucanos fúngicos en piensos:
  - **Aves:** 50–200 mg/kg pienso terminado.
  - **Peces:** 50–150 mg/kg pienso terminado.
  - **Porcino:** 100–300 mg/kg pienso terminado.
  - **Mascotas:** 150–500 mg/kg pienso terminado (formulaciones premium).

La estabilidad de los  $\beta$ -glucanos frente a los procesos de granulación/peletización de piensos (temperatura 70–90°C, presión 30–50 bar) ha sido confirmada en múltiples estudios: la estructura (1,3) (1,6)-glucano es altamente termoestable y mantiene su actividad biológica tras el procesamiento térmico estándar.

Método de incorporación: Se recomienda la adición directa del extracto seco de  $\beta$ -glucanos (pureza  $\geq 70\%$  sobre materia seca, determinada por método de colorimetría con rojo Congo o método oficial AOAC 2009.01) como premix junto con vitaminas y minerales en la fase de mezclado, previa a la granulación.

### 2.2.2 Polifenoles del Olivar — oleuropeína, hidroxitirosol y ácidos fenólicos (ACESUR).

Los subproductos del olivar de ACESUR (alperujo, orujillo, orujo graso seco) constituyen la fuente de polifenoles fenólicos más concentrada del panel PP12.

Su aplicación como aditivos funcionales en piensos ha sido extensamente investigada en los últimos cinco años, especialmente para piensos de monogástricos (aves, porcino) como sustitutos naturales de antioxidantes sintéticos (BHT, BHA, etoxiquina).

**Oleuropeína y sus metabolitos (hidroxitirosol, tirosol):** presentan capacidad antioxidante medida como FRAP de 3,5 mM equivalentes trolox/g (oleuropeína) y hasta 9,8 mM eq. trolox/g (hidroxitirosol), superiores a la vitamina E (tocoferol: 1,9 mM eq. trolox/g). En piensos, actúan sobre varios frentes complementarios:

- **Antioxidante lipídico:** protegen los ácidos grasos insaturados de la oxidación durante el almacenamiento del pienso (reducción del índice de peróxidos y TBARS) y durante la digestión (reducción del estrés oxidativo intestinal).
- **Antimicrobiano:** actividad inhibidora frente a *Campylobacter jejuni*, *Salmonella* spp., *E. coli* O157:H7 y *C. perfringens* en el intestino animal, con potencial como moduladores de la microbiota intestinal hacia un perfil más saludable.
- **Antiinflamatorio:** inhibición de NF- $\kappa$ B y reducción de la producción de citocinas proinflamatorias (IL-1 $\beta$ , IL-6, TNF- $\alpha$ ) en tejido intestinal, con beneficios en integridad de la barrera epitelial.
- **Rendimiento productivo:** Ferlisi et al. (2023) evaluaron la suplementación con 500 mg/kg de extracto de orujo rico en polifenoles en pollos broilers y encontraron mejoras significativas en FCR ( $p < 0,05$ ), peso final (+3,2%), reducción del contenido de MDA en carne (+antioxidante), y aumento de PUFA en músculo pectoral. Para cerdos, inclusiones de 200–400 mg/kg de extracto polifenólico redujeron la oxidación lipídica en la carne y mejoraron el perfil de ácidos grasos en jamón ibérico.
- **Calidad de la canal:** en pollos y cerdos, la protección antioxidante de los polifenoles del olivar reduce la oxidación post-mortem, extendiendo la vida útil de la carne y mejorando el color y la textura.



Tabla 3 - Efecto de suplementación con polifenoles del olivar en piensos de monogástricos (revisión).

Especie	Dosis (mg/kg pienso)	Parámetro mejorado	Efecto (%)	Referencia
Broiler	200–500	FCR.	–3 a –8%	Ferlisi et al., 2023.
Broiler	200–500	TBARS en músculo.	–20 a –40%	Ferlisi et al., 2023.
Broiler	200–500	PUFA en músculo.	+5 a +15%	Ferlisi et al., 2023.
Cerdo	200–400	MDA en plasma.	–25 a –35%	Varios.
Trucha	100–300	Oxidación lipídica pienso.	–30 a –50%	Varios.
Peces marinos	200–500	Supervivencia +inmunidad.	+8 a +15%	Varios.

**Método de incorporación:** extracto seco (spray-dried) de polifenoles del olivar, estandarizado en oleuropeína  $\geq 10\%$  o hidroxitirosol  $\geq 2\%$ , añadido como antioxidante funcional en la fase de premix.

El extracto líquido del alperujo puede también recubrirse en lípidos microencapsulados para mejorar la estabilidad durante granulación y almacenamiento.

La dosis funcional efectiva oscila entre 100 y 500 mg/kg de pienso terminado, siendo la dosis de 200–300 mg/kg la más utilizada en estudios de eficacia productiva.

### 2.2.3 $\gamma$ -Orizanol, tocotrienoles y fitosteroles del salvado de arroz.

El salvado de arroz contiene un conjunto único de compuestos liposolubles de interés para la formulación de piensos funcionales:<sup>[8][9]</sup>

- **$\gamma$ -Orizanol:** la mezcla de ésteres de ácido ferúlico con fitoesteroles es el compuesto más característico del aceite de salvado de arroz ( $\approx 3.000$  mg/kg). Actúa como antioxidante lipídico, hipocolesterolemiante y modulador de la función hormonal. En piensos para mascotas, la suplementación con  $\gamma$ -orizanol puede apoyar la función hepática y reducir la hiperlipidemia en razas caninas con predisposición genética.
- **Tocotrienoles:** el  $\alpha$ -tocotrienol,  $\gamma$ -tocotrienol y  $\delta$ -tocotrienol del salvado de arroz exhiben propiedades antioxidantes superiores a los tocoferoles. En piensos para acuicultura, la suplementación con tocotrienoles mejora la estabilidad oxidativa del aceite de pescado y reduce los biomarcadores de estrés oxidativo en el hígado.
- **Fitosteroles ( $\beta$ -sitosterol, campesterol, estigmasterol):** presentes en concentraciones de 1.500–3.000 mg/kg en el salvado de arroz. Su inclusión en piensos de producción animal puede reducir la absorción intestinal de colesterol en monogástricos (efecto hipocolesterolemiante), con potencial para mejorar el perfil lipídico de huevos y carne.
- **Arabinosilanos:** polisacáridos prebióticos que estimulan selectivamente *Lactobacillus*, *Bifidobacterium* y *Ruminococcus* en el intestino animal. El arabinosilano modificado (MGN-3/Biobran), obtenido por hidrólisis con hemicelulasa de *L. edodes*, es un potente inmunomodulador con efectos anticancerígenos documentados, ampliamente usado en piensos nutraceúticos para mascotas oncológicas.
- **Ácido fítico:** factor antinutricional que reduce la biodisponibilidad de zinc, hierro y calcio. Su eliminación mediante adición de fitasa (3-Phytase, 500–1.000 FTU/kg pienso) es necesaria cuando el salvado de arroz se utiliza en altas proporciones ( $>15\%$ ) en piensos de aves y porcino.

**Aplicación directa en piensos:** el aceite de salvado de arroz crudo (rico en  $\gamma$ -orizanol y tocotrienoles) puede incluirse como fuente energética y antioxidante natural en piensos de alta energía para aves y porcino en gestación a dosis de 2–5% sobre materia seca, reemplazando parcialmente el aceite de palma y aportando beneficios funcionales documentados.

#### 2.2.4 Pectinas y flavonoides cítricos — bagazo de naranja y mandarina.

**Pectinas cítricas:** las pectinas de alto metoxilo (HM) del bagazo de naranja y mandarina son los polisacáridos prebióticos con mayor impacto documentado sobre la microbiota intestinal de aves y porcino.

A dosis de 0,5–2,5 g/kg de pienso, las pectinas cítricas mejoran la morfología de las vellosidades intestinales, aumentan la producción de mucina protectora y favorecen el establecimiento de comunidades de *Lactobacillus* y *Bifidobacterium*.

Las pectinas modificadas (MCP, de bajo peso molecular, <100 kDa), obtenidas por despolimerización ácida o enzimática, tienen adicionalmente propiedades inmunomoduladoras directas: se unen específicamente a la galectina-3, una lectina sobreexpresada en células tumorales y en procesos inflamatorios, con efectos antimetastásicos documentados en medicina veterinaria oncológica.

**Hesperidina:** la flavanona glicosilada mayoritaria del bagazo cítrico (hesperitina-7-rutinosido), a dosis de 0,5–2,0 g/kg de pienso, ha demostrado en aves de corral:

- Reducción de la peroxidación lipídica (TBARS) en carne de pechuga en un 15–30%.
- Mejora de la respuesta inmune humoral (+25% títulos de hemaglutinación vs. Newcastle).
- Actividad antimicrobiana frente a *Campylobacter* y *Salmonella* en el intestino.
- Efecto antiinflamatorio por inhibición de NF- $\kappa$ B y producción de eicosanoides proinflamatorios.

**D-Limoneno:** el monoterpeno principal del aceite esencial cítrico, a bajas dosis en piensos (100–500 mg/kg), actúa como aroma natural (mejora de palatabilidad), antimicrobiano ambiental en granjas (reducción de amoniaco) y potencial modulador de la microbiota intestinal.

**Método de incorporación:** las pectinas cítricas (grado alimentario, pureza  $\geq$ 70%) se adicionan como premix en la fase de mezclado. La hesperidina estabilizada (micronizada y encapsulada en matriz lipídica) puede incluirse como antioxidante funcional a dosis de 200–500 mg/kg.

El bagazo de cítricos deshidratado (humedad <10%) puede incorporarse directamente como ingrediente en formulaciones hasta un 5–8% en piensos de rumiantes y un 2–4% en piensos de monogástricos.

#### 2.2.5 Compuestos fenólicos de la biomasa foliar.

Las hojas caídas de los cultivos frutales de VGA aportan compuestos fenólicos específicos de interés para aplicaciones en piensos funcionales, aunque su uso requiere procesamiento previo (deshidratación, extracción o fermentación) para superar las limitaciones de humedad y antinutricionales:

- **Taninos hidrolizables y ácido elágico (hoja de caqui):** los taninos condensados e hidrolizables del caqui (*Diospyros kaki*) tienen actividad antioxidante potente y propiedades astringentes. A bajas dosis (0,3–1,5 g/kg pienso), los extractos tánicos reducen la incidencia de diarrea en lechones y modulan favorablemente la microbiota intestinal hacia perfiles más saludables. El ácido elágico derivado de la hidrólisis de elagitaninos actúa como potente antioxidante y antiinflamatorio con IC<sub>50</sub> frente a DPPH de 0,5–1,2  $\mu$ g/mL.

- **Resveratrol (hoja de vid):** el estilbenoide más estudiado del reino vegetal se ha investigado como aditivo en piensos de broilers a dosis de 100–400 mg/kg, mostrando mejoras en la calidad de la canal (mayor contenido en PUFA muscular), reducción de la oxidación lipídica post-mortem (–25–40% TBARS), y efectos inmunomoduladores. La bioavilabilidad del resveratrol en monogástricos es moderada (~30%) pero puede aumentar mediante microencapsulación en ciclodextrinas.
- **Luteína y zeaxantina (hoja de aguacate):** carotenoides xantofílicos de alto valor para piensos de aves ponedoras, donde su inclusión a dosis de 5–15 mg/kg de pienso mejora la pigmentación de la yema (índice Roche  $\geq 13$ ), incrementa el valor de mercado del huevo y aporta protección antioxidante tisular. La hoja de aguacate es una fuente potencial de luteína con concentraciones superiores a las del fruto, aunque requiere cuantificación específica en los lotes de VGA.
- **Hesperidina foliar y aceites esenciales (hoja de mandarina):** el perfil de flavonoides de las hojas de mandarina incluye hesperidina, naringenina y nobiletina, con propiedades similares a las del bagazo cítrico pero en concentraciones diferentes. Los aceites esenciales foliares (limoneno,  $\beta$ -mirceno, linalool) pueden mejorar la palatabilidad y actuar como antimicrobianos naturales en piensos.



### 3. MÉTODOS DE INCORPORACIÓN, ESTABILIDAD Y COMPATIBILIDAD TECNOLÓGICA.

#### 3.1 Procesamiento de los ingredientes de insecto para su uso en piensos.

El procesamiento de las larvas de insecto para obtener ingredientes aptos para piensos sigue una cadena tecnológica definida por el Reglamento UE 1422011 (Método 7 aplicable a insectos) y las buenas prácticas de la industria:

Tabla 4 - Etapas del procesamiento de larvas de insecto para producción de harina y aceite.

Etapa	Descripción	Parámetros críticos	Objetivo
<b>Ayuno pre-cosecha</b>	Privación de sustrato 24–72 h.	Duración: 24–72 h.	Vaciado del tracto digestivo; reducción de residuos de plaguicidas y carga microbiana.
<b>Blanching/escaldado</b>	Inmersión en agua hirviendo o vapor.	100°C, 1–5 min.	Inactivación enzimática; reducción de carga microbiana; mejora de extractabilidad de grasa.
<b>Tratamiento térmico</b>	Inactivación de patógenos.	≥70°C, ≥1 h (Reg. UE 2021/1925 para frass; análogo para harina).	Eliminación de Salmonella; reducción de Enterobacteriaceae.
<b>Separación sólido-líquido</b>	Prensado o centrifugación.	Presión 30–80 bar (prensa de tornillo).	Separación de aceite (fracción lipídica) y torta (fracción proteica).
<b>Secado</b>	Lecho fluidizado, spray drying.	Temperatura producto <80°C.	Reducción de humedad a <10%; estabilización microbiológica.
<b>Desgrasado (opcional)</b>	Extracción con hexano o CO <sub>2</sub> sc.	Hexano: GRAS; CO <sub>2</sub> sc: más limpio.	Obtención de harina desengrasada (≥50% proteína) e isolipídico.
<b>Tamizado y granulometría</b>	Tamiz vibratorio.	Malla 500–2.000 µm.	Homogeneización del tamaño de partícula para mezclado en pienso.

La harina de insecto resultante se caracteriza sistemáticamente por: proteína bruta (Kjeldahl), grasa (Soxhlet), quitina (método colorimétrico o gravimétrico tras hidrólisis ácida), perfil de aminoácidos (cromatografía HPLC-UV post-derivatización o UPLC), perfil de ácidos grasos (GC-FID), contenido mineral (ICP-MS para metales pesados y macro-minerales), y actividad microbiológica (Salmonella, Enterobacteriaceae, TVC).



### 3.2 Tecnologías de extracción de compuestos bioactivos de SDRs para piensos.

Para la incorporación de compuestos bioactivos de los SDRs como ingredientes funcionales en piensos, las tecnologías de extracción relevantes son:[7][2]

#### Extracción con agua y solventes (hidroalcohólica):

- Aplicable a:  $\beta$ -glucanos (micelio), polifenoles del olivar, flavonoides cítricos, compuestos fenólicos foliares.
- Condiciones estándar: etanol 50–70%, temperatura 40–60°C, tiempo 2–4 horas.
- Ventajas: bajo coste, alto rendimiento para compuestos polares.
- Inconveniente: necesidad de eliminación del solvente orgánico para uso en piensos (destilación a vacío o spray-drying del extracto acuoso).

#### Extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico (SFE-CO<sub>2</sub>):

- Aplicable a:  $\gamma$ -orizanol y tocotrienoles (salvado de arroz), aceite de insecto, carotenoides (hoja de aguacate).
- Condiciones: 40–60°C, 200–400 bar; CO-solvente etanol al 3–5% para compuestos polares.
- Ventajas: producto sin residuos de solvente, calidad premium, adecuado para alimentación animal/humana.
- Inconveniente: CAPEX elevado; justificado solo para compuestos de alto valor (tocotrienoles,  $\gamma$ -orizanol).

#### Extracción asistida por ultrasonidos (UAE):

- Aplicable a: todos los compuestos fenólicos; especialmente eficiente para pectinas,  $\beta$ -glucanos y hesperidina.
- Condiciones: frecuencia 20–40 kHz, temperatura 40–60°C, tiempo 20–40 min.
- Ventajas: reducción de tiempos y temperaturas de extracción; mayor rendimiento con menor degradación de compuestos termolábiles.
- Extracción con campos eléctricos pulsados (PEF):
- Aplicable a: electropenetración de paredes celulares de micelio y tejidos vegetales; mejora de rendimientos de extracción de  $\beta$ -glucanos y polifenoles.
- En escala piloto/industrial: complementaria a UAE para la apertura de matrices lignocelulósicas densas (micelio biomasa HIFAS).

### 3.3 Estabilidad de compuestos bioactivos durante el procesamiento de piensos.

Un factor crítico para la aplicabilidad de los bioactivos de SDRs en piensos es su resistencia al proceso de granulación/peletización, que implica temperaturas de 70–90°C y presiones de 30–50 bar durante 15–30 segundos:



Tabla 5 - Estabilidad de compuestos bioactivos frente al procesamiento estándar de piensos.

Compuesto	Temperatura crítica	Estabilidad a 80°C/30s	Estrategia de protección
<b>β-Glucanos (1,3) (1,6)</b>	>150°C	Alta (>90% retención).	No requiere protección especial.
<b>Oleuropeína / Hidroxitirosol</b>	>100°C	Moderada (70–85% retención).	Microencapsulación lipídica recomendada.
<b>γ-Orizanol</b>	>160°C	Alta (>95% retención).	No requiere protección especial.
<b>Tocotrienoles</b>	>120°C	Alta (>90% retención).	Proteger de oxidación (N <sub>2</sub> ).
<b>Pectinas HM</b>	>120°C	Alta (>85% retención).	Adición post-granulación si se busca estructura gelificante.
<b>Hesperidina</b>	>100°C	Alta (>85% retención).	Microencapsulación si alta inclusión.
<b>Resveratrol</b>	>70°C	Moderada (60–75% retención).	Microencapsulación en ciclodextrinas; adición post-granulación.
<b>Péptidos bioactivos</b>	>80°C (lábil)	Variable (40–80% retención).	Spray-drying; adición post-granulación.
<b>Quitosano</b>	>200°C	Muy alta.	No requiere protección especial.
<b>Luteína/zeaxantina</b>	>90°C	Moderada (65–80% retención).	Emulsificación/encapsulación en aceite.

### 3.4 Compatibilidad con aditivos y matrices de pienso.

La incorporación de bioactivos de SDRs debe evaluarse en cuanto a su compatibilidad con los aditivos convencionales del pienso (vitaminas, minerales, enzimas, colorantes, conservantes):

- **Interacciones con minerales:** los taninos (hojas de caqui, vid) y el ácido fítico (salvado de arroz) pueden quelatar cationes divalentes (Zn<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>), reduciendo su biodisponibilidad. Se recomienda uso de fitasa (3-Phytase) y separación física en el tiempo de mezclado cuando se usen altas proporciones de SDRs tánicos.
- **Interacciones con enzimas:** las proteasas y carbohidrasas del pienso pueden hidrolizar parcialmente las pectinas HM durante el almacenamiento, afectando su funcionalidad prebiótica. La adición de pectinas debe realizarse cercana al momento de uso del pienso, o emplearse formas microencapsuladas resistentes a la actividad enzimática.
- **Sinergias documentadas:** la combinación de β-glucanos + quitosano produce efectos inmunomoduladores sinérgicos en aves y peces (≥30% mayor respuesta inmune que cada uno por separado). La combinación de polifenoles del olivar + tocoferoles produce sinergias antioxidantes. La combinación de pectinas prebióticas + harina de insecto (con ácido láurico) genera un efecto combinado probiótico-antimicrobiano-prebiótico que optimiza la composición de la microbiota intestinal.

## 4. VIABILIDAD Y PRUEBAS DE CONCEPTO: FORMULACIONES DE PIENSO CON INGREDIENTES PP12.

### 4.1 Formulaciones propuestas para acuicultura.

El sector acuícola fue el primero en recibir autorización para PAT de insectos y cuenta con la mayor base de evidencia científica. Los ingredientes PP12 más relevantes para este sector son la harina de BSF (como sustituto de harina de pescado) y los antioxidantes lipídicos naturales ( $\gamma$ -orizanol, tocotrienoles, polifenoles del olivar) para proteger los ácidos grasos omega-3 del pienso.

Tabla 6 - Formulación orientativa de pienso para salmónidos con ingredientes PP12.

Ingrediente	Inclusión (%)	Aportación funcional
Harina de pescado 65%.	15–20 (reducción vs. conv. 30–40%)	Proteína referencia; AA limitantes.
Harina BSF desgrasada (HiM, SDR-PP12).	10–15	Proteína 49,8% MS; AA complementarios; ácido láurico antimicrobiano.
Aceite de pescado.	10–15	EPA + DHA; energía.
Aceite de <i>T. molitor</i> (MUFA enriquecido con alperujo).	3–5	Oleico alto (MUFA); antioxidante natural.
Salvado de arroz desgrasado (DACSA).	5–8	Energía; arabinoxilanos prebióticos; tocotrienoles.
Extracto $\beta$ -glucanos (micelio HIFAS).	0,01–0,02 (100–200 mg/kg)	Inmunomodulador; estímulo resistencia a enfermedades.
Extracto polifenólico oliva (ACESUR).	0,02–0,05 (200–500 mg/kg)	Antioxidante lipídico; antimicrobiano; antiinflamatorio.
Pectina cítrica (bagazo naranja).	0,05–0,15 (500–1.500 mg/kg)	Prebiótico; mejora morfología intestinal.
Cereales y complementos convencionales.	Resto	Energía; fibra estructural.

Los estudios de validación en truchas arcoíris (Universidad de Turín, 2025) con sustitución total y parcial de harina de pescado por harinas de *H. illucens* y *T. molitor* no encontraron diferencias significativas en rendimiento de crecimiento, digestibilidad, microbiota ni histopatología.

### 4.2 Formulaciones propuestas para avicultura.

Para broilers, la estrategia de inclusión de ingredientes PP12 se centra en la sustitución parcial de soja con harina de TmM/HiM, la suplementación con  $\beta$ -glucanos del micelio para reducir el uso de antibióticos, y la incorporación de antioxidantes naturales (polifenoles del olivar, hesperidina) para mejorar la calidad de la canal:



Tabla 7 - Formulación orientativa de pienso broiler STARTER con ingredientes PP12.

Ingrediente	Inclusión (%)	Aportación funcional
Maíz.	50–55	Energía, almidón.
Harina de soja 48%.	25–30 (reducción vs. conv. 35–40%)	Proteína base.
Harina <i>T. molitor</i> (TmM, sustrato salvado arroz DACSA).	2,5–5	Proteína alta calidad; DIAAS $\geq$ 100; efecto growth-promoter.
Harina BSF (HiM, sustrato bagazo naranja).	5–8	Proteína; ácido láurico antimicrobiano.
Aceite vegetal.	2–4	Energía.
Sal, DL-Metionina, L-Lisina.	Ajuste	Corrección AA limitantes.
Extracto $\beta$ -glucanos (micelio HIFAS).	0,01–0,02	Inmunomodulador; reduce mortalidad entérica.
Polifenoles oliva (ACESUR).	0,02–0,05	Antioxidante; antimicrobiano.
Fitasa.	0,05	Digestibilidad P; reducción ácido fítico salvado.
Vitaminas, minerales, premix.	Ajuste	Nutrición completa.

El meta-análisis de Belhadj Slimen et al. (2023) confirmó que la combinación de harina de *T. molitor* (2,5% inclusión starter) +  $\beta$ -glucanos fúngicos (100 mg/kg) en broilers mejora la GMD (+4,8%), reduce el FCR (–5,2%) y disminuye la mortalidad por patologías entéricas (–22%) frente a controles sin ninguno de los dos ingredientes.

#### 4.3 Formulaciones propuestas para porcino.

En porcino, la línea de aplicación principal es la sustitución de proteína plasmática en lechones destetados —el ingrediente más caro de los piensos de destete— por harina de BSF, complementada con quitosano como antimicrobiano natural y  $\beta$ -glucanos como inmunoestimulante.

Tabla 8 - Formulación orientativa de pienso de destete con ingredientes PP12.

Ingrediente	Inclusión (%)	Aportación funcional
Cereales (maíz + cebada).	55–60	Energía, almidón.
Harina soja 48%.	18–22	Proteína base.
Harina BSF desgrasada (HiM).	3–6	Proteína alta digestibilidad; sustitución parcial proteína plasmática.
Leche en polvo desnatada.	3–5	Palatabilidad; lactosa prebiótica.
Aceite vegetal.	2–3	Energía.



<b>Quitosano de insecto (PROTE)</b>	0,05–0,10	Antimicrobiano; reducción diarrea post-destete.
<b>β-Glucanos (micelio HIFAS).</b>	0,01–0,02	Inmunomodulador; reducción mortalidad.
<b>Polifenoles oliva (ACESUR).</b>	0,02–0,03	Antioxidante; antiinflamatorio intestinal.
<b>Ácido fórmico/láctico.</b>	0,3–0,5	Acidificante; sinérgico con antimicrobianos naturales.
<b>Fitasa, NSP-asa.</b>	0,05	Digestibilidad P, FDT.

Noh et al. (Animal Bioscience, 2025) demostraron que la sustitución de hasta el 25% de proteína plasmática por larvas BSF es óptima en lechones destetados, mejorando el peso corporal y la respuesta inmune (IgG) en fase inicial.

#### 4.4 Formulaciones propuestas para mascotas (Petfood).

El segmento de mascotas es el de mayor valor añadido para los ingredientes de insecto producidos con SDRs del PP12. Los consumidores de petfood premium valoran explícitamente la historia de economía circular, la sostenibilidad y los ingredientes funcionales diferenciados:

Tabla 9 - Formulación orientativa de pienso seco (kibble) para perros adultos con ingredientes PP12.

Ingrediente	Inclusión (%)	Aportación funcional
<b>Harina <i>T. molitor</i> desengrasada (TmM).</b>	15–25	Proteína hipoalergénica DIAAS ≥100; palatabilidad.
<b>Salvado de arroz desengrasado.</b>	5–10	Fibra dietética; arabinoxilanos prebióticos; γ-orizanol.
<b>Aceite de insecto (<i>T. molitor</i>, enriquecido MUFA).</b>	3–5	Energía; ácidos grasos equilibrados.
<b>Harina de cereales integrales.</b>	30–40	Energía; fibra; almidón.
<b>Extracto β-glucanos (micelio HIFAS).</b>	0,02–0,05	Inmunomodulador; soporte oncológico (Biobran-like).
<b>Pectina MCP (bagazo naranja).</b>	0,1–0,3	Prebiótico; actividad antigalectina-3.
<b>Resveratrol micro-encapsulado (hoja vid VGA).</b>	0,01–0,02	Antioxidante; antiinflamatorio; cardioprotector.
<b>Luteína (hoja aguacate VGA, si disponible).</b>	0,005–0,01	Protección visual; antioxidante.
<b>Vitamina E (tocotrienoles salvado arroz).</b>	Ajuste	Antioxidante liposoluble premium.
<b>Sales minerales, vitaminas.</b>	Ajuste	Nutrición completa NRC.



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



Estudios en perros Golden Retriever con 15% de BSF en pienso extrusionado no mostraron efectos negativos en peso, digestibilidad, puntuación fecal ni IgE, con mejora de microbiota (aumento de *Ligilactobacillus*).

## 5. SEGURIDAD ALIMENTARIA Y MARCO REGULATORIO PARA LA APLICACIÓN EN PIENSOS.

### 5.1 Contaminantes y límites legales.

La aplicación de ingredientes de insecto y bioactivos de SDRs en piensos exige el cumplimiento de los límites establecidos en la Directiva 2002/32/CE sobre sustancias indeseables en alimentación animal, actualizada por el Reglamento UE 2015/2283 y la legislación complementaria:

Tabla 10 - Límites máximos de contaminantes relevantes para ingredientes PP12 (Directiva 2002/32/CE).

Contaminante	Límite máximo (mg/kg MS)	Observación para SDRs PP12
<b>Cadmio (Cd)</b>	2 (pienso completo aves/porcino); 5 (acuicultura).	BSF bioacumula Cd (BAF hasta 8,52x); monitorizar en SDRs con residuos de industria.
<b>Plomo (Pb)</b>	10 (mayoría piensos).	<i>T. molitor</i> excreta Pb; bajo riesgo con SDRs vegetales autorizados.
<b>Arsénico (As)</b>	2 (pienso completo).	<i>T. molitor</i> bioacumula As; monitorizar en SDRs cerealistas.
<b>Mercurio (Hg)</b>	0,1 (pienso completo).	No detectable con SDRs vegetales del PP12.
<b>Dioxinas + PCBs</b>	<0,75 ng TEQ/kg (pienso aves/porcino).	Bajo riesgo con SDRs vegetales del PP12.
<b>DON (Deoxinivalenol)</b>	5.000 µg/kg (cereales para pienso).	Monitorizar en salvado de arroz y harina zootécnica DACSA.
<b>ZEA (Zearalenona)</b>	2.000 µg/kg (cereales y subproductos).	Monitorizar en SDRs cerealistas DACSA.

La estrategia de mitigación incluye: análisis sistemático de micotoxinas en lotes de SDRs cerealistas antes de su uso, ayuno pre-cosecha de 24–72 horas para insectos como estrategia de reducción de contaminantes (Berggreen et al., 2026), y monitorización de metales pesados en el producto final.

### 5.2 Marco regulatorio de los ingredientes de insecto en piensos.

Los ingredientes de insecto (PAT = Proteínas Animales Transformadas) están plenamente autorizados para piensos de acuicultura (Reg. UE 2017/893), porcino y aves de corral (Reg. UE 2021/1372), rumiantes (PROHIBIDO por Reg. CE 999/2001), mascotas (sin restricción) y peces ornamentales.

El Real Decreto 496/2024, del 21 de mayo, transpone la normativa europea al ordenamiento español, estableciendo los requisitos de separación física para evitar contaminación cruzada con piensos para rumiantes y regulando los centros de limpieza y desinfección de establecimientos productores de PAT de insectos.

Los bioactivos extraídos de SDRs (β-glucanos, polifenoles, pectinas, tocotrienoles, resveratrol, quitosano) tienen marcos regulatorios diferenciados según su forma de aplicación:



- Como aditivos en piensos (Reg. UE 1831/2003): deben estar incluidos en la lista positiva de aditivos autorizados para cada categoría (zootécnico, sensorial, nutricional) o contar con evaluación favorable de la EFSA.
- Como materias primas para piensos (Reg. UE 68/2013): los extractos vegetales derivados de SDRs alimentarios pueden incluirse en la categoría de "plantas, algas, hongos y levaduras" o como "otros azúcares y sus derivados" sin autorización previa específica, siempre que procedan de fuentes identificadas y no contengan niveles de contaminantes por encima de los límites.
- El quitosano derivado de insectos está registrado como sustancia básica conforme al Reg. CE 1107/2009 (en formulaciones fitosanitarias), pero su uso en piensos requiere evaluación caso a caso como aditivo zootécnico o aditivo tecnológico (conservante/antimicrobiano).



## 6. ANÁLISIS DE VIABILIDAD ECONÓMICA Y COMPETITIVIDAD.

### 6.1 Comparativa de costes de ingredientes.

Tabla 11 - Comparativa de costes de ingredientes proteicos y funcionales convencionales vs. PP12.

Ingrediente PP12	Coste estimado (€/t)	Ingrediente convencional sustituido	Coste convencional (€/t)	Ratio coste PP12/conv.
Harina insecto con SDR (estimado).	800–1.500	Harina soja 48%.	350–550	2–3x
Harina insecto con SDR (estimado).	800–1.500	Harina pescado 65%.	1.200–2.000	0,7–1,2x
Aceite insecto enriquecido.	1.500–2.500	Aceite palma.	700–1.000	2–3x (justificado por funcionalidad).
Extracto $\beta$ -glucanos micelio.	200–600/kg.	Probióticos convencionales.	500–2.000/kg.	Competitivo.
Extracto polifenólico olivar.	10–50/kg.	BHT/BHA antioxidantes sintéticos.	3–10/kg.	3–5x (con ventajas limpias).
Pectinas cítricas.	10–25/kg.	Celulosa microcristalina.	2–5/kg.	4–8x (con funcionalidad prebiótica superior).
Quitosano insecto.	50–200/kg.	Antibióticos promotores crecimiento.	Variable (en proceso de prohibición).	Competitivo en contexto de prohibición.

La reducción del coste de la harina de insecto con SDRs del PP12 —especialmente cuando los SDRs se reciben con gate fee negativo (el proveedor paga por la gestión)— es el elemento central de la ventaja competitiva. Con SDRs de coste cero o negativo, el coste estimado de la harina de insecto puede reducirse de los 3.500–5.500 €/t del mercado actual a 800–1.500 €/t, situándose en la zona de competitividad con la harina de pescado premium y a solo 2–3 veces el precio de la harina de soja.

### 6.2 Segmentos de mercado y estrategia de entrada.

La estrategia de entrada al mercado de piensos con ingredientes PP12 debe seguir una lógica de segmentación por valor:

1. Petfood premium: primer segmento diana por sus márgenes superiores, la menor sensibilidad al precio y la alta valoración de ingredientes sostenibles y funcionales. El mercado español de petfood creció un 31,3% en 2024. Formulaciones de pienso seco y húmedo con harina de *T. molitor* como proteína única hipoalérgica, combinada con  $\beta$ -glucanos del micelio HIFAS y pectinas prebióticas del bagazo de naranja INNOLACT, representan el segmento de mayor valor por tonelada (>3.000 €/t). [1]



2. Acuicultura: segundo segmento por volumen y madurez regulatoria. La sustitución del 15–25% de harina de pescado en piensos para trucha y dorada genera ahorros de 200–500 €/t de pienso a los fabricantes de pienso, con harina de insecto a precio competitivo con la harina de pescado premium.
3. Avicultura y porcino: segmentos de mayor volumen pero menor margen. La entrada a este segmento se justifica por la escala, con foco en los ingredientes funcionales ( $\beta$ -glucanos antimicrobianos, quitosano antimicrobiano, polifenoles antioxidantes) como líneas de negocio de mayor valor dentro del mercado de piensos de producción.

## 7. PERSPECTIVAS DE FUTURO Y LÍNEAS DE INVESTIGACIÓN PARA EL PT\_2.

### 7.1 Investigación a corto plazo (PT\_2/ENT\_3 a ENT\_8).

Como continuación natural de los resultados del ENT\_2, las siguientes actividades del PT\_2 deberán abordar:

- **ENT\_3:** Selección y optimización de procesos de extracción de los compuestos de valor prioritarios de los SDRs PP12 para su incorporación en piensos ( $\beta$ -glucanos de micelio HIFAS, polifenoles de ACESUR, pectinas de INNOLACT), con evaluación técnico-económica comparativa de los métodos descritos en la Sección 3.2.
- **ENT\_4:** Investigación bibliográfica y experimental sobre la aplicación específica de las especies de hongos de HIFAS da Terra (*G. frondosa*, *H. erinaceus*, *L. edodes*, *P. ostreatus*) en nutrición y salud animal por especie destino (aves, porcino, acuicultura, mascotas).
- **ENT\_5:** Formulación de núcleos funcionales (premixes) para cada especie destinataria, combinando los compuestos bioactivos PP12 ( $\beta$ -glucanos, polifenoles, pectinas, tocotrienoles) con ingredientes convencionales de soporte.
- **ENT\_6:** Estudios de dosis-respuesta para los núcleos funcionales formulados, con análisis de coste-beneficio por especie y aplicación.
- **ENT\_7:** Pruebas de concepto a escala laboratorio con las formulaciones propuestas en el presente ENT\_2.
- **ENT\_8:** Caracterización de los procesos de obtención de ingredientes derivados de insecto (harina, aceite, quitosano, péptidos) a escala piloto con los SDRs del consorcio PP12.

### 7.2 Concepto de "Insecto de Diseño" (Designer Insect) como tendencia de IDi.

El concepto de designer insect —formulación deliberada del sustrato para obtener un ingrediente de insecto con perfil nutricional predeterminado— es la línea de IDi de mayor potencial diferenciador.

El ENT\_2 ha establecido la base científica para las siguientes estrategias de diseño:

- **Insecto MUFA alto (alta oleico):** sustrato con 20–40% de alperujo ACESUR → harina y aceite enriquecidos en ácido oleico (hasta 61%) → aplicación en acuicultura y piensos premium de mascotas que evitan aceite de palma.
- **Insecto omega-3 enriquecido:** suplementación con 5–10% de harina de lino o microalgas en sustrato base → harina BSF con ratio  $\omega$ -6/ $\omega$ -3 reducida → aplicación en piensos para salmónidos.
- **Insecto inmunomodulador:** sustrato con 20% de micelio biomasa HIFAS → larvas enriquecidas en  $\beta$ -glucanos y quitina fúngica transferida → harina funcional con propiedades inmunomoduladoras documentadas.
- **Insecto rico en minerales:** sustrato con bagazo de naranja → harina BSF enriquecida en Fe y Mn → piensos para animales con deficiencias minerales específicas.



## 8. CONCLUSIONES.

- **PRIMERA.** Los ingredientes derivados de insecto (*T. molitor* y *H. illucens*) producidos sobre los SDRs del consorcio PP12 proporcionan proteína de alta calidad (DIAAS  $\geq 100$  para TmM escaldado, 45–66% proteína MS) con perfil de aminoácidos estable e independiente del sustrato, digestibilidad del 85–99%, y perfil lipídico altamente modulable por la composición del sustrato.

Estos ingredientes son plenamente conformes con el marco regulatorio europeo vigente (Reg. UE 2017/893, 2021/1372, RD 496/2024) para su uso en piensos de acuicultura, porcino, aves y mascotas.[2][1]

- **SEGUNDA.** El salvado de arroz constituye el sustrato base óptimo para *T. molitor* (FILW: 120,2 mg, FCR: 2,6, supervivencia: 83,0%), generando harina con 46,74% de proteína MS y aceite con perfil graso equilibrado.
- Su combinación con alperujo (ACESUR) al 20–25% produce insectos de diseño con aceite enriquecido en ácido oleico (hasta 61%), y la adición de micelio biomasa (HIFAS) al 20% modifica favorablemente el perfil MUFA y aporta  $\beta$ -glucanos transferidos a la biomasa.
- **TERCERA.** El bagazo de naranja es el mejor sustrato cítrico para *H. illucens*, produciendo harina con 38,90–44,68% de proteína MS y el mayor contenido en hierro y manganeso entre los sustratos comparados. Este SDR combina además elevado contenido en pectinas prebióticas (15–50% MS) y hesperidina (2–8 g/100 g MS) extractibles para su uso funcional directo en piensos.[11][1]
- **CUARTA.** Los  $\beta$ -glucanos (1,3) (1,6) del micelio biomasa de HIFAS DA TERRA son los bioactivos funcionales de mayor valor del panel PP12 para aplicaciones en piensos: mejoran el FCR en aves (4–8%), reducen la mortalidad entérica (15–25%), incrementan la actividad fagocítica en peces (35–60%) y potencian la respuesta inmune humoral en porcino, a dosis de 50–300 mg/kg de pienso. La estabilidad de los  $\beta$ -glucanos frente al proceso de granulación (>90% retención a 80°C) facilita su incorporación directa como premix.[5][1]
- **QUINTA.** Los polifenoles del olivar (ACESUR) —oleuropeína, hidroxitirosol, ácidos fenólicos— a dosis de 200–500 mg/kg en piensos de aves y porcino reducen la oxidación lipídica (–20–40% TBARS), mejoran el FCR (–3–8%), protegen la calidad de la canal post-mortem y ejercen actividad antimicrobiana frente a patógenos entéricos, posicionándolos como sustitutos funcionales de los antioxidantes sintéticos BHT/BHA y como alternativa a los antibióticos promotores de crecimiento.[7][6]
- **SEXTA.** La cadena de valorización en cascada propuesta —extracción de bioactivos prioritarios → insecticultura sobre residuos de extracción → harina/aceite de insecto para piensos → frass biofertilizante— maximiza el valor generado por unidad de SDR, alinea el PP12 con los principios de la Estrategia Farm to Fork, y genera una ventaja competitiva documentada en datos propios del consorcio que distingue a PROTEINSECTA y VGA/AVA-ASAJA de los competidores del sector.
- **SÉPTIMA.** El segmento de petfood premium, con crecimiento del 31,3% en España en 2024 y márgenes superiores al 60%, es el destino de mayor valor inmediato para los ingredientes PP12: la narrativa de economía circular (SDRs agroalimentarios valencianos → insecto → pienso para mascotas) es un diferencial de mercado de alta demanda entre los consumidores de productos premium sostenibles, coherente con la posición estratégica de VGA como referente del sector agrario valenciano.



## 9. BIBLIOGRAFÍA.

### Referencias bibliográficas principales.

1. Anastasiadis, A. et al. (2024). Valorization of local agricultural by-products as substrates for *T. molitor* larvae. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, 31, 43090–43103.
2. Belhadj Slimen, I. et al. (2023). Insects as alternative protein source for poultry – a review. *Front. Vet. Sci.*, 10, 1200031.
3. Berggreen, I.E. et al. (2026). Pesticide transfer from substrate to *H. illucens* and *T. molitor*. *J. Insects Food Feed*, aop.
4. Candian, V. y Tedeschi, R. (2023). Impact of diet on tenecin-3 expression in *T. molitor*. *Insects*, 14(4), 359.
5. Ferlisi, F. et al. (2023). Dietary supplementation with olive oil co-products rich in polyphenols: a novel nutraceutical approach in monogastric animal nutrition. *Front. Vet. Sci.*, 10, 1272274.
6. Fondevila, G. et al. (2024). Growth performance of *T. molitor* on different starch:NDF ratios. *Italian J. Animal Science*, 23(1), 741–750.
7. Iyapo, K.A. et al. (2024). Nutritional composition of *T. molitor* on different substrates. *Nigerian J. Exp. Applied Biology*, 25(2).
8. Lawal, K. et al. (2021). Enrichment in fatty acids of *T. molitor* and *H. illucens*. *Future Foods*, 4, 100016.
9. Meyer, A.M. et al. (2021). Chemical food safety hazards of insects. *J. Insects Food Feed*, 7(5), 823.
10. Morales, M.L. et al. (2025). Fat profile of *T. molitor* on agri-food by-products. *Food Res. Int.*, 203, 116223.
11. Moretti, D. et al. (2023). In vitro DIAAS of mealworm and crickets. *Front. Nutrition*, 10, 1150581.
12. Noh, H. et al. (2025). BSF larvae as sustainable protein in weaning pigs. *Animal Bioscience*, aop.
13. Osimani, A. et al. (2020). Olive pomace in *T. molitor* growth and nutritional value. *Foods*, 9(3), 317.
14. Parsons, C. et al. (2021). Amino acid digestibility of insect meals. *Poultry Science*, 100(7), 101146.
15. Resconi, A. et al. (2024). Brewery by-products for BSF. *Animal*, 18(9), 101288.
16. Saadoun, J. et al. (2020). Lipid profile and growth of BSF on by-products. *J. Sci. Food Agric.*, 100(8), 3453–3461.
17. Schiavone, A. et al. (2022). Agro-industrial byproduct-based diets for *T. molitor*. *Insects*, 13(4), 323.
18. Silva, B. et al. (2024). BSF as protein ingredient in poultry feed. *Acta Agric. Scand. A*, 73(2), 70–85.
19. Tsoupras, A. et al. (2024). Olive pomace bioactives for functional foods and cosmetics. *AIMS Agriculture and Food*, 9(3), 743–766.
20. Vargas-Arana, G. et al. (2024). Nutritional analysis of BSF on Peruvian substrates. *Folia Amazónica*, 33(1).
21. Yakti, W. et al. (2025). Bean and strawberry wastes in *T. molitor* substrates. *Scientific Reports*, 15, 7622.

### Normativa y Regulación Aplicable.

- **Reglamento (UE) 2017/893** de la Comisión, de 24 de mayo de 2017: autorización PAT de 7 especies de insecto en piensos de acuicultura.
- **Reglamento (UE) 2021/1372** de la Comisión, de 17 de agosto de 2021: ampliación PAT insectos a piensos de porcino y aves de corral.
- **Reglamento (UE) 68/2013** de la Comisión, de 16 de enero de 2013: catálogo de materias primas para piensos.



- **Reglamento (UE) 1831/2003** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 22 de septiembre de 2003: aditivos en alimentación animal.
- **Directiva 2002/32/CE** del Parlamento Europeo y del Consejo, de 7 de mayo de 2002: sustancias indeseables en alimentación animal.
- **Real Decreto 496/2024**, de 21 de mayo, sobre aplicación normativa UE en alimentación animal con PAT de insectos.

## INFORME DE RESULTADOS

### **Actividad 2. Investigación de procesos aplicables en la revalorización de subproductos agroalimentarios**

Cliente

**VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA SL**  
24-P00610

Persona contacto AINIA  
Maite navarro Fayos

Fecha  
22-07-25



**01 Introducción**

**02 Objetivo**

**03 Metodología**

**04 Resultados**

**05 Conclusiones**

**06 Referencias**

## 1. Introducción

La industria agroalimentaria genera una gran cantidad de subproductos como resultado de sus procesos de producción, muchos de los cuales acaban convirtiéndose en residuos que generan impactos negativos tanto desde el punto de vista económico como ambiental. Cada subsector produce diferentes tipos y volúmenes de residuos, y su inadecuada gestión puede agravar estos problemas.

Ante esta situación, es fundamental adoptar enfoques que promuevan la valorización de los subproductos, en línea con los principios de una economía circular y sostenible. Una de las estrategias más prometedoras consiste en transformar estos residuos en fertilizantes orgánicos, lo que constituye una alternativa técnica y económicamente viable frente a los fertilizantes químicos. Esta práctica podría mejorar la calidad del suelo y reducir el uso de insumos sintéticos, a través del desarrollo de productos como biofertilizantes, biopesticidas y bioestimulantes (Puglia et al., 2021).

Estos productos representan una valiosa oportunidad para generar valor añadido, reducir la huella ambiental del sector y fomentar una agricultura más respetuosa con el entorno.

En este contexto, resulta de especial interés identificar y desarrollar procesos tecnológicos viables para la obtención de ingredientes de valor para bioestimulantes a partir de subproductos agroalimentarios facilitados por Valenciana de Gestión Agraria y otros socios, permitiendo una revalorización efectiva de los residuos, desperdicios y subproductos generados por la industria alimentaria.

## 2. Objetivo

El objetivo principal planteado en esta fase documental del proyecto es llevar a cabo una revisión bibliográfica relativa a procesos tecnológicos para la obtención de ingredientes de valor para biofertilizantes a partir de diferentes subproductos de la industria agroalimentaria.

El análisis de dicha información permitirá obtener las principales estrategias de proceso a aplicar para la obtención de dichos ingredientes de valor para biofertilizantes.

En este presente informe se describen las metodologías y resultados alcanzados en la revisión científico-técnica llevada a cabo.

### 3. Metodología

Con el fin de identificar información científica relativa a procesos tecnológicos para la obtención de ingredientes de valor para bioestimulantes, se ha llevado a cabo una actualización y ampliación de la información científico-técnica, consultado para ello en bases de datos científicas de amplia cobertura (Scopus, Science Direct), así como suscripciones a revistas especializadas del sector.

Esta revisión se ha centrado principalmente en recopilar información técnica relacionada con:

- La identificación de compuestos de interés presentes en diversos subproductos con potencial para la elaboración de bioestimulantes.
- La identificación de procesos físicos, químicos o enzimáticos empleados en la obtención de bioestimulantes, con especial atención a las distintas etapas involucradas y a las variables de proceso aplicadas en cada una de ellas.

### 4. Resultados

En la siguiente tabla, se muestra una selección de los principales artículos científicos consultados en relación a las posibles estrategias de obtención de ingredientes de valor para bioestimulantes a partir de subproductos agroalimentarios.

# ainia

Tabla 1. Principales artículos científicos consultados en relación a las posibles estrategias de obtención de ingredientes de valor para bioestimulantes a partir de subproductos agroalimentarios.

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
Onyia, C., Okoh, M. A., & Okoh, I. (2020). Production of plant growth-promoting bacteria biofertilizer from organic waste material and evaluation of its performance on the growth of corn ( <i>Zea mays</i> ). <i>American Journal of Plant Sciences</i> , 189-200.	Mezcla de naranja, plátano y uva, paja de trigo y arroz, hojas de Moringa oleifera, suelo y azúcar moreno	<p><u>Cultivo de microorganismo:</u> El microorganismo se cultivó utilizando 500 g de muestra de suelo fresco de la rizosfera, recolectada a 5 cm de profundidad, 500 g de paja de trigo y de arroz, mezclados con agua hasta obtener una mezcla homogénea. La mezcla se transfirió a un recipiente tapado con una depresión en el centro para permitir la circulación del aire y la ventilación. El recipiente se mantuvo a la sombra y se dejó reposar durante siete días.</p> <p><u>Producción del biofertilizante:</u> Se cortaron nueve kilogramos (9 kg) de frutas mixtas (naranjas, pepinos, plátanos, uvas y hojas de moringa) en trozos pequeños y se colocaron en un recipiente. Se añadió al recipiente 1 kg de azúcar moreno y 1 kg del cultivo del microorganismo en una proporción de 1:1. Los materiales se mezclaron bien hasta obtener una mezcla consistente. Se añadió agua estéril al recipiente y se removió en una dirección durante unos minutos. El recipiente se cerró herméticamente y se mantuvo en un lugar oscuro durante dos semanas sin ninguna alteración. La mezcla se tamizó y se recuperó la fracción líquida (biofertilizante). Se mantuvo en oscuridad y en ambiente fresco hasta su uso.</p> <p>Se compararon los efectos de un fertilizante químico con el biofertilizante obtenido, en cultivo de maíz. El fertilizante químico se aplicó dos semanas después de la siembra, mientras que el biofertilizante se aplicó diariamente desde la germinación, diluyendo 10 ml en 1 litro de agua destilada.</p>	El biofertilizante tiene una mayor eficiencia en el rendimiento del cultivo que el fertilizante químico. Las bacterias promotoras del crecimiento vegetal aisladas y utilizadas como biofertilizante también demostraron su capacidad para proteger a las plantas de maíz del ataque de patógenos e insectos y, por lo tanto, pueden servir como biofertilizante, biopesticida o agente de biocontrol.

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
Tahir, N. A. R., Rasul, K. S., Lateef, D. D., & Grundler, F. M. (2022). Effects of oak leaf extract, biofertilizer, and soil containing oak leaf powder on tomato growth and biochemical characteristics under water stress conditions. <i>Agriculture</i> , 12(12), 2082.	Hoja de roble	<p>Hojas de roble completamente desarrolladas y sanas se recolectaron en la etapa vegetativa, se secaron y se molieron en polvo, y se aplicaron para cultivos de tomate. La relación fue de 10 kg de tierra y 80 g de polvo de hoja de roble.</p> <p>Adicionalmente, se hizo otro ensayo, en el que además de añadir el polvo de hoja de roble, se elaboró el extracto de hoja de roble disolviendo 60 g de hojas de roble en polvo en 1L de agua destilada, se agitó durante 3h y luego se incubó durante la noche a 5 °C. Después se centrifugó durante 30 min a 4000 rpm, se recogió el sobrenadante y se diluyó (1:29 v/v) con agua destilada. Este extracto se aplicó 4 veces por pulverización foliar antes de la floración y fructificación con intervalos de 3 días. Se estudió además el uso de biofertilizantes.</p> <p><u>Preparación del extracto</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Secado de 500 g de hojas</li> <li>2. Molienda hasta polvo fino</li> <li>3. Mezcla con 1L de etanol</li> <li>4. Reposo de 72 h con agitación ocasional</li> <li>5. Filtrado de la solución con papel de filtro Whatman n<sup>o</sup>1 y algodón no absorbente</li> <li>6. Evaporación con rota vapor a vacío</li> <li>7. Disolución del extracto en 2L de agua destilada</li> <li>8. Conservación a 4 °C hasta su uso</li> </ol> <p><u>Aplicación en semillas y cultivo</u></p> <p>Las semillas de Phaseolus vulgaris L. cv. Bronco se remojaron en el extracto de hoja durante 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 h y luego se secaron al aire. Estas semillas tratadas se sembraron en placas de Petri y luego se determinó el porcentaje de germinación y crecimiento.</p> <p>Tras seleccionar el periodo de remojo más efectivo (8h) se sembraron las semillas y en algunas de ellas se les dio tratamiento salino (600 mL de NaCl 100 mM) en invernadero con condiciones controladas. A los 30 días se midió la longitud de raíz y brote, masa seca y distintos compuestos.</p>	<p>El uso de polvo de hoja de roble, extracto de hoja de roble y biofertilizante redujo el efecto del estrés hídrico en las plantas de tomate. Sin embargo, el uso de polvo de hoja de roble y extracto de hoja de roble puede describirse como prácticas agrícolas novedosas por su bajo costo, facilidad de uso y bajo consumo de tiempo, y por su capacidad para satisfacer la creciente demanda del sector agrícola al proporcionar técnicas ambientalmente sostenibles para mejorar la resistencia de las plantas al estrés abiótico.</p>
Rady, M. M., Varma, B., & Howladar, S. M. (2013). Common bean (Phaseolus vulgaris L.) seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in Moringa oleifera leaf extract. <i>Scientia Horticulturae</i> , 162, 63-70.	Hojas de Moringa oleifera	<p><u>Preparación del extracto</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Secado de 500 g de hojas</li> <li>2. Molienda hasta polvo fino</li> <li>3. Mezcla con 1L de etanol</li> <li>4. Reposo de 72 h con agitación ocasional</li> <li>5. Filtrado de la solución con papel de filtro Whatman n<sup>o</sup>1 y algodón no absorbente</li> <li>6. Evaporación con rota vapor a vacío</li> <li>7. Disolución del extracto en 2L de agua destilada</li> <li>8. Conservación a 4 °C hasta su uso</li> </ol> <p><u>Aplicación en semillas y cultivo</u></p> <p>Las semillas de Phaseolus vulgaris L. cv. Bronco se remojaron en el extracto de hoja durante 4, 6, 8, 10, 12, 14 y 16 h y luego se secaron al aire. Estas semillas tratadas se sembraron en placas de Petri y luego se determinó el porcentaje de germinación y crecimiento.</p> <p>Tras seleccionar el periodo de remojo más efectivo (8h) se sembraron las semillas y en algunas de ellas se les dio tratamiento salino (600 mL de NaCl 100 mM) en invernadero con condiciones controladas. A los 30 días se midió la longitud de raíz y brote, masa seca y distintos compuestos.</p>	<p>El remojo de las semillas con el extracto de hojas de Moringa oleifera mejora la respuesta de las plantas al estrés salino, mediante aumento del contenido de K<sup>+</sup> en las hojas y la disminución de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>. Además, se activa el sistema antioxidante tanto en condiciones normales como de estrés salino. Por lo que el extracto de la hoja ayuda a las plantas a superar los efectos nocivos del estrés salino.</p>

Referencia	Muestra	Principales resultados
<p>Avishek, D., Hayat, U., &amp; Ferdous, Z. (2017). Utilization of by-products from food processing as biofertilizers and biopesticides. <i>Food Processing By-Products and their Utilization</i>, 175-193.</p>	<p>Subproductos agroalimentarios</p>	<p>Los residuos alimentarios, las cáscaras de cereales y legumbres, las cáscaras de frutas y verduras, las partes no utilizadas de animales, como huesos, huevos, cáscaras y muchos otros que suelen considerarse desechos, también contienen una cantidad considerable de materiales y energía reutilizables, si bien plantean graves desafíos ambientales y económicos. La mayoría de los materiales de procesamiento de alimentos contienen componentes que podrían utilizarse en diversos procesos biotecnológicos y químicos, así como en biofertilizantes para aumentar la productividad del suelo.</p> <p>Formas de revalorizarlo:</p> <p><u>Compostaje y esparcimiento en la tierra</u> La conversión de subproductos de la industria alimentaria en aditivos útiles para el suelo. Puede utilizarse como agente mejorador del suelo o biofertilizante. El compostaje es un proceso biológico aeróbico en el que los residuos orgánicos se convierten por las actividades de microorganismos en compuestos más simples, estables y similares al suelo y reducen el volumen de los residuos. Tiene un efecto positivo en el suelo y el medio ambiente y se utiliza como fertilizante orgánico. El compost tiene una alta capacidad de retención de agua, una gran cantidad de nutrientes y mejora la estructura y la aireación del suelo, lo que conduce a un aumento en la producción agrícola.</p> <p><u>Vermicompost</u> Consiste en que las lombrices de tierra convierten la materia orgánica en un material similar al humus. Se liberan los nutrientes vegetales presentes en ellos, como N, P, K y Ca. Estos nutrientes se convierten en formas más solubles, disponibles para la absorción de las plantas. Puede utilizarse como fertilizante orgánico para aportar nutrientes al suelo.</p> <p>Las industrias alimentarias de origen vegetal generan una gran cantidad de residuos sólidos, muchos de los cuales pueden aprovecharse como biofertilizantes o sustratos para el cultivo de hongos comestibles, gracias a su riqueza en lignocelulosa. Residuos como los del té o los cítricos han demostrado ser especialmente eficaces para fomentar el crecimiento de hongos como Basidiomycetes, <i>Morchella crassipes</i> o <i>Agaricus bisporus</i>. La parte importante de la planta del té es la hoja, que al procesarse se transforma en uno u otro producto.</p> <p>Los residuos de té verde contienen más del 90 % de materia orgánica y entre un 5 % y un 7 % de N, lo que podría utilizarse como una buena fuente de materiales para compostaje. Al mezclar estos residuos de té verde con salvado de arroz en una proporción de 30:70 (v/v, en base seca), se observó que producía un compost de buena calidad con un excelente potencial para el control de malezas y capacidad para estimular el crecimiento de espinacas. Por otro lado, las hojas de té se podrían utilizar como material para mejorar el estado nutricional del suelo, ya que la restauración e incluso el aumento de estos nutrientes es necesario para la agricultura.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
<p>De Montijo-Prieto, S., Razola-Díaz, M. D. C., Barbieri, F., Tabanelli, G., Gardini, F., Jiménez-Valera, M., ... &amp; Gómez-Caravaca, A. M. (2023). Impact of lactic acid bacteria fermentation on phenolic compounds and antioxidant activity of avocado leaf extracts. <i>Antioxidants</i>, 12(2), 298.</p>	<p>Hojas de aguacate</p>	<p><b>Fermentación con bacterias ácido-lácticas</b> <i>Pediococcus acidilactici</i> 5765T, <i>Pediococcus acidilactici</i> 98, <i>Pediococcus pentosaceus</i> 4695T, <i>Pediococcus pentosaceus</i> 923, <i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> 219T, <i>Leuconostoc mesenteroides</i> subsp. <i>mesenteroides</i> 215, <i>Levilactobacillus brevis</i> 4121T, <i>Levilactobacillus brevis</i> 5354, <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> subsp. <i>plantarum</i> 748T y <i>Lactiplantibacillus plantarum</i> 9567</p> <p><u>Preparación de los inóculos</u> Las cepas se cultivaron en caldo MRS a 26 °C durante 24 horas. Luego, las células se recolectaron por centrifugación, se lavaron con solución salina estéril y se ajustó su concentración por turbidimetría. Estas suspensiones se usaron como inóculos para las fermentaciones</p> <p><u>Fermentación</u> 1g de hojas secas de aguacate en 8 mL de agua estéril a 90 °C, complementadas con glucosa y extracto de levadura (0,4% p/v cada uno). Se añadieron inóculos para alcanzar entre 10<sup>6</sup> y 10<sup>7</sup> células/mL. Se midieron las UFC/mL y el pH a las 0, 24, 48, 72 y 96 horas de incubación a 26 °C</p>	<p>Las fermentaciones con bacterias lácticas modificaron el perfil de compuestos fenólicos de las hojas de aguacate de una manera dependiente de la cepa específica. Así, se impulsó la hidrólisis de compuestos mediante actividad enzimática de las glicosidasas o la descarboxilasa, así como la liberación de compuestos fenólicos unidos a la pared celular vegetal, mejorando su biodisponibilidad. De esta manera, este estudio demuestra que la fermentación con bacterias lácticas puede utilizarse en el aprovechamiento y la valorización de los residuos agrícolas del aguacate para la producción de extractos fenólicos enriquecidos.</p>

Referencia	Muestra	Principales resultados
<p>Sun, W., Shahrajabian, M. H., Kuang, Y., &amp; Wang, N. (2024). Amino acids biostimulants and protein hydrolysates in agricultural sciences. <i>Plants</i>, 13(2), 210.</p>	<p>Subproductos agroalimentarios</p>	<p>Los bioestimulantes proteicos obtenidos a través de hidrolizados proteicos y aminoácidos, son productos de fácil disponibilidad debido a la abundancia de materias primas y su bajo costo. Estos bioestimulantes suelen obtenerse mediante la hidrólisis de desechos agrícolas ricos en proteínas, utilizando procesos químicos, térmicos, enzimáticos o combinaciones de estos. Su origen natural y su compatibilidad con el medio ambiente los convierten en una alternativa sostenible para la agricultura.</p> <p>Los bioestimulantes a base de proteínas promueven la resiliencia de las plantas, especialmente al mejorar su actividad antioxidante bajo condiciones ambientales adversas. Su aplicación puede disminuir la necesidad de fertilizantes inorgánicos, ya que los aminoácidos que contienen pueden ser absorbidos tanto por las hojas como por las raíces, ya sea mediante pulverizaciones foliares o sistemas de riego por goteo. Además, afectan positivamente el metabolismo del nitrógeno, incrementan la productividad y pueden utilizarse como pretratamiento de semillas para potenciar el desarrollo inicial.</p> <p>La aplicación exógena de hidrolizados de proteínas, especialmente aquellos con péptidos antioxidantes, no solo protege a las plantas del estrés ambiental, sino que también participa en la señalización metabólica al regular la adquisición de nitrógeno por las raíces. Los aminoácidos actúan además como quelantes de metales, reduciendo la toxicidad por metales pesados. Su uso puede influir positivamente en el área foliar y el rendimiento de cultivos hortícolas y frutales. En conjunto, estos compuestos fortalecen la maquinaria antioxidante enzimática y no enzimática de las células vegetales, mejorando así su rendimiento fisiológico y su capacidad de defensa.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
<p>Xie, Z., Huang, J., Xu, X., &amp; Jin, Z. (2008). Antioxidant activity of peptides isolated from alfalfa leaf protein hydrolysate. <i>Food chemistry</i>, 111(2), 370-376.</p>	<p>Hoja de alfalfa</p>	<p><u>Extracción de proteína soluble:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. 100 g de hojas trituradas mezcladas con agua en una proporción 1:7 (p/p)</li> <li>2. Ajuste a pH 9,0 con 0,1 mol/L de NaOH</li> <li>3. Incubación de la muestra durante 5h a 45 °C</li> <li>4. Centrifugación de la mezcla (3500 rpm, 30 min)</li> <li>5. Recuperación de sobrenadante y ajuste a pH 4.0 con HCl 0.1 mol/L</li> <li>6. Reposo durante 30 min</li> <li>7. Centrifugación (3500 rpm, 30 min) t liofilización del sedimento</li> </ol> <p><u>Hidrólisis enzimática de proteína:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. La suspensión de proteína de hoja de alfalfa al 5% (p/v) se ajustó a 8.0 con 0.1 mol/L NaOH</li> <li>2. Incubación a 50 °C, 30 min</li> <li>3. Incubación de enzima Alcalase FG 2,4 L (5%, p/p) a 60 °C durante 4 H</li> <li>4. Inactivación a 85 °C durante 10 min</li> <li>5. Centrifugación a 3500 rpm durante 15 min</li> <li>6. Desalinización del sobrenadante con resina macroporosa</li> <li>7. Concentración a vacío</li> <li>8. liofilización</li> </ol> <p><u>Purificación y desalinización de péptidos antioxidantes:</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fraccionamiento del hidrolizado proteico mediante sistema de ultrafiltración con membrana (0,30 MPa, 20 °C)</li> <li>2. Recuperación de filtrado, concentración a vacío y liofilización</li> <li>3. Inyección de 50 mg/mL de solución de péptidos crudos en columna de cromatografía a un caudal de 0.5 BV/h</li> <li>4. Elución a T° amb con agua desionizada a un caudal de 1 BV/h</li> <li>5. Recolección de eluyente y concentración a vacío para eliminar etanol</li> <li>6. Liofilización de péptidos de hoja de alfalfa</li> </ol>	<p>Los péptidos de hoja de alfalfa obtenidos exhibieron función antioxidante y contenían una gran proporción de péptidos de bajo peso molecular. Mostraron buena capacidad para donar electrones o hidrógeno y fueron capaces de eliminar radicales superóxido, hidroxilo y DPPH. La quelación con los iones metálicos de transición de los péptidos podría ser el mecanismo de eliminación de radicales libres.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
<p>Calderón-Chiu, C., Calderón-Santoyo, M., Herman-Lara, E., &amp; Ragazzo-Sánchez, J. A. (2021). Jackfruit (<i>Artocarpus heterophyllus</i> Lam) leaf as a new source to obtain protein hydrolysates: Physicochemical characterization, techno-functional properties and antioxidant capacity. <i>Food Hydrocolloids</i>, 112, 106319.</p>	Hoja de yaca	<p><u>Obtención de concentrado de proteína</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Lavado, secado a 60 °C durante 24h, molienda y tamizado de las hojas</li> <li>2. Mezcla de 30 g de hojas molidas con 563 mL de agua destilada</li> <li>3. Adición de 188 mL de NaOH 0.2 M</li> <li>4. Homogenización a temperatura ambiente durante 10 min</li> <li>5. Tratamiento HHP a 300 MPa durante 20 min a 25 °C</li> <li>6. Centrifugación a 15000 g, 20 min, 4 °C</li> <li>7. Recuperación de sobrenadante y ajuste a pH 4 con HCl 1N</li> <li>8. Reposo durante 24 h</li> <li>9. Centrifugación a 7000 g, 15 min, 4 °C</li> <li>10. Recuperación del precipitado y lavado con acetona, etanol y éter dietílico</li> <li>11. Diafiltración a través de una membrana 1 kDa</li> <li>12. Liofilización a -50 °C y 0.12 mbar</li> </ol> <p><u>Hidrólisis con enzimas pepsina y pancreatina</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Suspensión del concentrado en agua destilada para obtener solución 1% (p/v)</li> <li>2. Incubación en baño de agua con agitación a 37 °C y 115 rpm durante 30 min</li> <li>3. Ajuste de pH a 2.0 (para pepsina) y 7.0 (para pancreatina) con HCl 1 N y NaOH</li> <li>4. Adición de las enzimas con una proporción enzima-sustrato de 1:100 (p/p)</li> <li>5. Hidrolisis en intervalos de 30, 60, 120, 180 y 240 min</li> <li>6. Inactivación de la enzima a 95 °C durante 15 min y ajuste de pH a 7.0</li> <li>7. Centrifugación a 10.000 g, 15 min, 4 °C</li> <li>8. Liofilización</li> </ol>	<p>El concentrado de proteína de hojas de yaca presentó bajas propiedades antioxidantes y funcionales debido a su estructura altamente agregada. Sin embargo, la hidrólisis enzimática con pepsina y pancreatina permitió obtener hidrolizados proteicos con segmentos proteicos más flexibles con propiedades antioxidantes y funcionales diferenciadas.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
Famuwagun, A. A., Alashi, A. M., Gbadamosi, S. O., Taiwo, K. A., Oyedele, J. D., Adebooye, O. C., & Aluko, R. E. (2020). In vitro characterization of fluted pumpkin leaf protein hydrolysates and ultrafiltration of peptide fractions: Antioxidant and enzyme-inhibitory properties. <i>Polish Journal of Food and Nutrition Sciences</i> , 70(4), 429-443.	Hoja de calabaza	<p><u>Obtención del concentrado de proteína</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Acondicionamiento de hojas mediante lavado, secado a 55 °C durante 8h y molienda</li> <li>2. Extracción con acetona en una proporción 1:10 (polvo de hoja:acetona, p/v) para eliminar cualquier compuesto interferente durante el aislamiento de la proteína</li> <li>3. Agitación de la mezcla durante 2h</li> <li>4. Filtrado con una muselina</li> <li>5. Extracción de nuevo del residuo obtenido con acetona</li> <li>6. Secado en campana extractora a Tamb durante 48h</li> <li>7. Preparación de suspensión de polvo de hoja en agua desionizada al 5% (p/v)</li> <li>8. Ajuste a pH 10.0 con NaOH 2M</li> <li>9. Agitación durante 1h a 37 °C</li> <li>10. Centrifugación a 3500 g, durante 30 min a 4°C</li> <li>11. Recuperación del sobrenadante</li> <li>12. Ajuste a pH 4.5 con HCl 2M con agitación durante 20 min</li> <li>13. Lavado del precipitado dos veces con agua destilada para eliminar sal</li> <li>14. Redispersión en agua desionizada</li> <li>15. Liofilización</li> </ol> <p><u>Hidrolisis con proteasas</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Dispersión en una relación enzima:sustrato de 1:100</li> <li>2. Hidrolisis durante 4h empleando diferentes condiciones: alcalasa (pH 8,0, 50 °C); tripsina (pH 8, 37 °C); pepsina (pH 2,0, 37 °C) y quimotripsina (pH 8,0, 37 °C)</li> <li>3. Inactivación de enzimas mediante calentamiento y mantenimiento a 85 °C durante 15 min</li> <li>4. Centrifugación 9000 g, 4 °C, 30 min</li> <li>5. Liofilización del sobrenadante</li> </ol>	El hidrolizado contenía dipéptidos, tripéptidos y tetrapéptidos, y la presencia de estos péptidos cortos podría contribuir a la bioactividad de los hidrolizados. Se fraccionó en péptidos de diferentes pesos moleculares mostrando mejores propiedades antioxidantes. Esto demuestra mayores propiedades bioactivas de los péptidos de tamaño pequeño en comparación con los péptidos de mayor tamaño.

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
<p>Xu, Y., Wang, W., Wang, H., Tian, Y., Yue, Z., Li, C., ... &amp; Zhang, R. (2024). Hydrolysis products of agricultural waste can serve as microbial fertilizer enhancers to promote the growth of maize crops. <i>Frontiers in Plant Science</i>, 15, 1405527.</p>	<p>Salvado de champiñón y residuos del tabaco</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Secado al aire de los materiales de salvado de hongo o desecho de tabaco.</li> <li>2. Tamizado de los materiales secos con un tamiz de 2 mm.</li> <li>3. Esterilización de los materiales tamizados en autoclave.</li> <li>4. Adición de 34,5 g de desechos en una botella marrón de 500 mL.</li> <li>5. Adición de 500 mL de medio líquido a la botella.</li> <li>6. Sellado de la botella con un tapón de cuero.</li> <li>7. Realización de la hidrólisis en condiciones hipóxicas: pH (5,0; 6,0; 7,0; 8,0), temperatura (30 °C; 35 °C; 40 °C; 45 °C), concentraciones de inóculo ((p/p): 5 %; 10 %; 15 %; 20 %), humedad (80 %; 85 %; 90 %; 95 %)</li> <li>8. Mantenimiento del proceso de hidrólisis durante 7 días.</li> <li>9. Toma de muestras cada 12 horas.</li> <li>10. Los hidrolizados diluidos se analizaron para determinar sus efectos sobre la colonización de la rizosfera de la cepa de PGPR <i>Bacillus amyloliquefaciens</i> SQR9</li> </ol>	<p>La reacción de hidrólisis es la etapa temprana del proceso de fermentación anaeróbica, que puede hidrolizar sustancias orgánicas macromoleculares como desechos orgánicos agrícolas en ácidos orgánicos de bajo peso molecular sin condiciones anaeróbicas estrictas. El salvado de hongos y los desechos de tabaco contienen sustancias orgánicas ricas, incluidos carbohidratos, proteínas y celulosa que pueden convertirse en ácidos orgánicos de bajo peso molecular durante el proceso de hidrólisis. El salvado de champiñón requirió un pH de 8,0, 40 °C, 15 % de inóculo, 85 % de humedad y 168 horas, mientras que los residuos de tabaco requirieron un pH de 6,0, 40 °C, 15 % de inóculo, 85 % de humedad y 144 horas. La dilución de los hidrolizados (5000 veces para el salvado de champiñón y 2000 veces para los residuos de tabaco) potenció los efectos promotores del crecimiento de la cepa SQR9 de PGPR en el maíz. Esto sugiere que la fermentación hipóxica puede convertir los residuos agrícolas en fertilizantes microbianos eficaces, reduciendo la dependencia de alternativas químicas y promoviendo la agricultura sostenible.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
Schottroff, M., Jaeger, K. M., Malvis Romero, A., Schneeberger, M., & Liese, A. (2025). From Waste to Value: Extraction of Protease Enzymes from Brewer's Spent Yeast. <i>Foods</i> , 14(3), 503.	Levadura de cerveza en base húmeda	<p>Métodos de disrupción celular para la obtención de extracto de levadura de cerveza agotada</p> <ol style="list-style-type: none"> <li><b>Autólisis térmica</b> 20 mL de suspensión de levadura se colocaron en una incubadora previamente calentada a 45, 50 o 55 °C, con agitación a 200 rpm. Se incubó durante 4 h para permitir la autólisis. En cada punto de muestreo, se retiraba un matraz y su contenido se centrifugaba, separando el extracto de levadura de los restos celulares.</li> <li><b>Molienda con microesferas</b> Se mezclaron 20 mL de una suspensión tamponada de levadura con microesferas de vidrio de 0,5 mm de diámetro, en una proporción de 1:1 peso a peso. Se agitó con un vórtex a máxima potencia durante el tiempo necesario para lograr la disrupción celular. Cada 5 minutos, la suspensión se enfriaba en un baño de agua helada durante otros 5 minutos para evitar un aumento de temperatura. Una vez finalizado el proceso, el extracto se separó de los restos de pared celular mediante centrifugación.</li> <li><b>Ultrasonidos (US)</b> Se aplicó US a 20 mL de suspensión tamponada de levadura, manteniendo en agua helada para controlar la temperatura. Se verificaba que la temperatura no superara los 15 °C; si lo hacía, el tratamiento se detenía y la muestra se colocaba en hielo. Finalmente, el extracto se separó mediante centrifugación.</li> <li><b>Homogeneización a alta presión (HPH)</b> Se llevó a cabo utilizando un homogeneizador GEA PandaPlus NS 1001L. 300 mL de suspensión tamponada de levadura se sometieron hasta a 10 pasadas por la válvula de alta presión del equipo. Tras cada pasada, la muestra era devuelta al alimentador para repetir el proceso. Para evitar el sobrecalentamiento, se utilizó un intercambiador de calor tubular con agua como medio refrigerante. Una vez finalizado el tratamiento, el extracto se separó de los restos celulares mediante centrifugación.</li> </ol>	<p>Dada la dependencia de los métodos de disrupción celular aplicados sobre el perfil nutricional y la bioactividad del extracto de levadura resultante, este estudio pretende identificar métodos y condiciones operativas adecuados para la producción de extractos de levadura con la máxima actividad proteasa. La atención se centra en los métodos industrialmente relevantes de disrupción de la pared celular: autólisis térmica, molienda celular, ultrasonidos y homogeneización a alta presión, que permiten una rápida aplicación a gran escala. Debido a la facilidad de escalabilidad, la amplia aplicación en la industria y el potencial demostrado para el funcionamiento continuo con sólo aplicar una pasada a 1100 bar de presión a través del homogeneizador, esta técnica de disrupción celular muestra un gran potencial de aplicación en la producción de extractos de levadura de cerveza. HPH también dio lugar al mayor rendimiento proteico global, con un 60% tras cinco pasadas a una presión de homogeneización de 400 bares.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
Bărbieru, O. G., Trică, B., Tritean, N., Negrilă, R. N., Constantinescu-Aruxandei, D., & Oancea, F. (2021). Maximizing total protein extraction from spent brewer's yeast using high-pressure homogenization. <i>Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies</i> , 25(2).	Levadura de cerveza en base seca	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Resuspensión de levadura seca en agua desionizada a diferentes concentraciones</li> <li>2. Pretratamiento enzimático con <math>\beta</math>-glucanasa (preparado comercial).</li> <li>3. Reacción enzimática 50 °C, 1 hora, con agitación</li> <li>4. Homogeneización tras el pretatamiento enzimático con un homogeneizador de laboratorio Panda PLUS 2000</li> </ol>	<p>En este estudio se optimiza la extracción de proteína total a partir de levadura de cerveza mediante homogeneización a alta presión.</p> <p>En el ajuste de homogeneización a alta presión, combinado con un pretratamiento enzimático, la presión y la concentración de enzimas parecen funcionar sinérgicamente, para liberar una mayor cantidad de proteínas de las células de levadura. Sin embargo, un proceso más intenso no parece tener un efecto favorable sobre la extracción de proteínas de levadura, posiblemente debido a la interacción entre las enzimas líticas intracelulares y el contenido proteico de estas células.</p>
Ciobanu, L. T., Constantinescu-Aruxandei, D., Tritean, N., Lupu, C., Negrilă, R. N., Farcasanu, I. C., & Oancea, F. (2023). Valorization of Spent Brewer's Yeast Bioactive Components via an Optimized Ultrasonication Process. <i>Fermentation</i> , 9(11), 952.	Levadura de cerveza en base húmeda	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparación de muestras mezclando diferentes volúmenes de suspensión homogeneizada de levadura en agua destilada para obtener diferentes concentraciones.</li> <li>2. Tratamiento ultrasónico durante 30 min a 750 W de potencia y 20 kHz de frecuencia a 40 °C y con un ciclo de trabajo del 33,33%, con una amplitud sonora de 80%.</li> <li>3. Tras la lisis celular, las muestras se centrifugaron (7350 g, 10 min) para separar el extracto soluble de levadura y las paredes celulares.</li> <li>4. Las paredes celulares se liofilizaron a -52 °C y se rehidrataron a la concentración deseada</li> </ol>	<p>El presente estudio presenta un método optimizado de lisis celular de levadura de cerveza por ultrasonidos, con el objetivo principal de valorizar los compuestos bioactivos.</p> <p>Los compuestos resultantes de la lisis celular ultrasónica fueron extractos y paredes celulares. La lisis más eficaz, en términos de liberación de proteínas y pérdida de biomasa seca, se consiguió utilizando la muestra más diluida probada a 40 C y 33,33% de ciclo de trabajo. Los compuestos obtenidos con la mayor actividad antioxidante se obtuvieron a temperaturas inferiores a 60 C. Bajo estos parámetros, las paredes celulares presentaron el mayor contenido en polifenoles y un contenido relativamente alto en beta-glucano.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
<p>Oliveira, A. S., Odila Pereira, J., Ferreira, C., Faustino, M., Durão, J., Pereira, A. M., ... &amp; Carvalho, A. P. (2022). Spent yeast valorization for food applications: Effect of different extraction methodologies. <i>Foods</i>, 11(24), 4002.</p>	<p>Levadura de cerveza en base húmeda</p>	<p><u>HPH</u> Se preparó una suspensión celular de 200 mL al 39% (p/v) en agua desionizada. Se realizaron cinco pases continuos en el homogeneizador de laboratorio GEA PandaPLUS 2000, con una presión que variaba de 600 a 1000 bar durante el proceso, ya que la viscosidad de la suspensión de células de levadura aumentaba. Las muestras se recogieron en un baño de hielo para evitar el sobrecalentamiento. Al final del HPH, la suspensión celular se centrifugó (15.777 g, 10 min, 4 C).</p> <p><u>Ultrasonidos</u> Utilizando un homogeneizador ultrasónico (500 W, 20 kHz) acoplado a una punta de sonda cilíndrica de aleación de titanio (Ø 10 mm). Se irradió un volumen total de 200 mL de suspensión celular al 1% (p/v) en agua desionizada a una amplitud del 60% durante 30 min en un baño de hielo (duraciones de pulso de 60 s encendido y 15 s apagado). Al final de la sonicación, se centrifugó la suspensión celular (15.777 g, 10 min, 4 C).</p> <p><u>Autolisis</u> El pellet de levadura lavado se disolvió en agua desionizada (proporción de 1:1(p/v)) y se realizó la autolisis durante 16 h a 50 C con agitación continua (120 rpm). Después de 16 h, las enzimas intrínsecas se inactivaron a 95 C durante 5 min. Al final, la suspensión celular se centrifugó (4696 g, 10 min, 4 C).</p> <p><u>Hidrólisis enzimática</u> Se preparó una suspensión celular al 20% (p/v) en tampón fosfato 100 mM pH 6,5 con el fin de mantener el pH óptimo para la actividad enzimática. Se añadieron a la muestra cócteles enzimáticos: 2,0% de Flavourzyme®, proteasa de <i>Aspergillus oryzae</i> 500 LAPU/g, y 0,6% de Protamex®, proteasa de <i>Bacillus sp.</i> 1,5 AU-N/g. Las cantidades se calcularon en función del contenido proteínico de la levadura gastada. La hidrólisis se llevó a cabo a 50 C durante 12 h con agitación continua (120 rpm). Después de 12 h, las enzimas se inactivaron a 95 C durante 5 min. Al final, la suspensión celular se centrifugó (4696 g, 10 min, 4 C).</p>	<p>Es estudio evalúa diferentes técnicas para la extracción de proteínas y extractos ricos en péptidos. La autolisis fue la metodología más interesante en términos de consumo de biomasa y agua, y al alto contenido en proteínas obtenido, así como a los péptidos de bajo peso molecular. Sin embargo, es fundamental realizar una evaluación energética de este proceso y un balance económico respectivo a nivel industrial.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
<p>Ciobanu, L. T., Constantinescu-Aruxandei, D., Tritean, N., Lupu, C., Negrilă, R. N., Farcasanu, I. C., &amp; Oancea, F. (2023). Valorization of Spent Brewer's Yeast Bioactive Components via an Optimized Ultrasonication Process. <i>Fermentation</i>, 9(11), 952.</p>	<p>Levadura de cerveza en base húmeda</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparación de muestras mezclando diferentes volúmenes de suspensión homogeneizada de levadura en agua destilada para obtener diferentes concentraciones.</li> <li>2. Tratamiento ultrasónico durante 30 min a 750 W de potencia y 20 kHz de frecuencia a 40 °C y con un ciclo de trabajo del 33,33%, con una amplitud sonora de 80%.</li> <li>3. Tras la lisis celular, las muestras se centrifugaron (7350 g, 10 min) para separar el extracto soluble de levadura y las paredes celulares.</li> <li>4. Las paredes celulares se liofilizaron a -52 °C y se rehidrataron a la concentración deseada</li> </ol> <p><u>Extracción de polifenoles:</u> La levadura de cerveza residual se suministró en forma de lodo de levadura, por lo que posteriormente se sometió a un proceso de filtración y centrifugación para separar la fase líquida (residuo de cerveza líquida). El residuo sólido resultante (levadura de cerveza residual) se secó utilizando dos metodologías: secado al aire y liofilización. Se añadió una cantidad de 0,5 g de levadura de cerveza residual seca a 100 mL de agua Milli-Q o a una mezcla de etanol-agua (20:80 v/v) a 25 °C o 95 °C para el análisis espectrofotométrico. En el caso del análisis cromatográfico, se aplicaron las mismas condiciones a una cantidad de 0,2 g de la muestra y 10 mL del extracto. La mezcla se extrajo durante 5 min con agitación magnética, y después se enfrió a 25 °C. La mezcla resultante se centrifugó a 2963g durante 20 min a 25 °C.</p> <p><u>Extracción de antioxidantes:</u> Se homogeneizaron en mortero cantidades de 0,1 o 0,2 g de levadura de cerveza residual con 25 mL o 10 mL de etanol-agua (80:20 v/v). La mezcla se mantuvo en un baño de agua a 60 °C durante 30 min.</p>	<p>El presente estudio presenta un método optimizado de lisis celular de levadura de cerveza por ultrasonidos, con el objetivo principal de valorizar los compuestos bioactivos. Los compuestos resultantes de la lisis celular ultrasónica fueron extractos y paredes celulares. La lisis más eficaz, en términos de liberación de proteínas y pérdida de biomasa seca, se consiguió utilizando la muestra más diluida probada a 40 C y 33,33% de ciclo de trabajo. Los compuestos obtenidos con la mayor actividad antioxidante se obtuvieron a temperaturas inferiores a 60 C. Bajo estos parámetros, las paredes celulares presentaron el mayor contenido en polifenoles y un contenido relativamente alto en beta-glucano.</p> <p>En la levadura de cerveza se encontraron y cuantificaron flavonoles como la rutina y el kaempferol, flavonoides como la naringina, ácidos fenólicos como el ácido gálico y antioxidantes como los ácidos trans-ferúlico y p-cumárico.</p>
<p>León-González, M. E., Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., &amp; Madrid-Albarrán, Y. (2018). Residual brewing yeast as a source of polyphenols: Extraction, identification and quantification by chromatographic and chemometric tools. <i>Food Chemistry</i>, 267, 246-254.</p>	<p>Las levaduras cerveceras residuales (Mahou-San Miguel y Cerveza Henares) en base húmeda.</p>	<p><u>Extracción de polifenoles:</u> La levadura de cerveza residual se suministró en forma de lodo de levadura, por lo que posteriormente se sometió a un proceso de filtración y centrifugación para separar la fase líquida (residuo de cerveza líquida). El residuo sólido resultante (levadura de cerveza residual) se secó utilizando dos metodologías: secado al aire y liofilización. Se añadió una cantidad de 0,5 g de levadura de cerveza residual seca a 100 mL de agua Milli-Q o a una mezcla de etanol-agua (20:80 v/v) a 25 °C o 95 °C para el análisis espectrofotométrico. En el caso del análisis cromatográfico, se aplicaron las mismas condiciones a una cantidad de 0,2 g de la muestra y 10 mL del extracto. La mezcla se extrajo durante 5 min con agitación magnética, y después se enfrió a 25 °C. La mezcla resultante se centrifugó a 2963g durante 20 min a 25 °C.</p> <p><u>Extracción de antioxidantes:</u> Se homogeneizaron en mortero cantidades de 0,1 o 0,2 g de levadura de cerveza residual con 25 mL o 10 mL de etanol-agua (80:20 v/v). La mezcla se mantuvo en un baño de agua a 60 °C durante 30 min.</p>	<p>En la levadura de cerveza se encontraron y cuantificaron flavonoles como la rutina y el kaempferol, flavonoides como la naringina, ácidos fenólicos como el ácido gálico y antioxidantes como los ácidos trans-ferúlico y p-cumárico.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
Sifuentes-Estrada, L., & Carrión-Carrera, G. (2024). Producción de fertilizante orgánico líquido utilizando levadura ( <i>Saccharomyces cerevisiae</i> ) residual del proceso de elaboración de cerveza. <i>Manglar</i> , 21(2), 169-176.	Levadura de cerveza en base húmeda	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Recogida de la levadura</li> <li>2. Acondicionado de la materia</li> <li>3. Adición de insumos (melaza - microorganismos - levadura) a diferentes concentraciones</li> <li>4. Homogenización</li> <li>5. Fermentación</li> <li>6. Medidas de pH, conductividad eléctrica, porcentaje de acidez</li> </ol>	<p>El objetivo del estudio fue revalorizar la levadura (<i>Saccharomyces cerevisiae</i>), del proceso de elaboración de cerveza, para obtener fertilizante orgánico líquido. El tratamiento con 20 melaza, 20 microorganismos y 60 de levadura obtuvo los mejores resultados con pH 4,65 y 4,89. Sus características cualitativas fueron óptimas y no requirieron pasteurización. La fermentación láctica realizada por las bacterias ácido-lácticas del consorcio microbiano, es una opción para la producción de fertilizante orgánico líquido utilizando levadura residual del proceso de elaboración de cerveza. Mediante la caracterización de levadura, se demostró que la concentración de materia orgánica, el contenido de macronutrientes y micronutrientes de la levadura residual es alto en determinados elementos, tales como; nitrógeno (9681 mg/L), fósforo (2203,70 mg/L) y potasio (3850 mg/L); resultando ser un producto de calidad agronómica.</p>
Fernandes, P., Pinto, R., Correia, C., Mourão, I., Moura, L., & Brito, L. M. (2024). Impact of Kiwifruit Waste Compost on Soil Bacteriome and Lettuce Growth. <i>Agriculture</i> , 14(8), 1409.	Residuos del kiwi	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Preparación del compost con residuos de kiwi mezclados con un 5%, 10% y 20% de paja de trigo como agente de carga para aumentar la aireación.</li> <li>2. Mantenimiento del compost durante 208 días en pilas de 1.6 x 1.3 x 8 m con capas alternas de kiwi y paja</li> <li>3. Mezclado de los materiales con una retroexcavadora y se cubrieron para evitar lluvia y permitir paso de gases</li> <li>4. Volteado de las pilas a los 28, 56, 90 y 130 días</li> <li>5. Aplicación del compost en lechugas</li> </ol>	<p>El compost que combina residuos de kiwi y paja de trigo presenta potencial para mejorar el rendimiento de la lechuga. Sin embargo, un exceso de paja en el compost dificulta el crecimiento de la lechuga y la absorción de nutrientes a corto plazo. El compost de residuos de kiwi, como alternativa al fertilizante nitrogenado mineral, mejora las condiciones del suelo, contribuyendo a un mayor rendimiento de la lechuga y promoviendo la economía circular.</p>

Referencia	Muestra	Principales resultados
Akram, N. A., Saleem, M. H., Shafiq, S., Naz, H., Farid-ul-Haq, M., Ali, B., ... & Qureshi, K. A. (2022). Phytoextracts as crop biostimulants and natural protective agents – a critical review. <i>Sustainability</i> , 14(21), 14498.	Subproductos agroalimentarios	<p>El ácido ascórbico, o vitamina C, es un antioxidante clave en las plantas que ayuda a aliviar el estrés oxidativo provocado por factores bióticos y abióticos. Actúa como defensa primaria al eliminar radicales libres y funciona como cofactor en enzimas esenciales para la protección celular y la fotoprotección. La aplicación externa de ácido ascórbico mejora la tolerancia al estrés (como la salinidad), estimula enzimas antioxidantes (SOD, POD, CAT, APX) y reduce el daño oxidativo, favoreciendo el crecimiento y la supervivencia de las plantas.</p> <p>Además, el ácido ascórbico regula procesos de señalización celular, crecimiento, floración y respuestas al estrés. En estudios con cultivos como papa, habas y trébol egipcio, el ácido ascórbico aumentó la germinación, la biomasa y los niveles de clorofila y carotenoides bajo condiciones salinas.</p> <p>Las naranjas dulces (<i>Citrus sinensis</i>), una fuente rica en vitamina C, se destacan como potenciales bioestimulantes naturales. Su uso podría representar un enfoque ecológico para inducir tolerancia al estrés en plantas, lo que justifica futuras investigaciones sobre su eficacia en la agricultura sostenible.</p> <p>Los bioestimulantes mejoran la productividad y calidad de los cultivos actuando sobre procesos metabólicos y enzimáticos. Aumentan el rendimiento y la resistencia de las plantas, apoyando prácticas sostenibles y la bioeconomía circular.</p> <p>El <b>vermicompost</b>, producido por lombrices a partir de residuos orgánicos, reduce patógenos y actúa como bioestimulante gracias a fitohormonas y ácidos húmicos. Mejora el crecimiento vegetal, la fertilidad del suelo y es una herramienta sostenible para el reciclaje agrícola.</p>
Xu, L., & Geelen, D. (2018). Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. <i>Frontiers in plant science</i> , 9, 1567.	Subproductos agroalimentarios	<p>El <b>compost</b>, hecho de residuos orgánicos variados, contiene sustancias que mejoran el crecimiento y la salud de las plantas, como los ácidos húmicos. Es una opción sostenible para reciclar residuos, aunque requiere cuidado para evitar contaminantes.</p> <p>Los <b>hidrolizados proteicos</b> se producen al descomponer proteínas de subproductos vegetales o animales y actúan como bioestimulantes al aportar aminoácidos y hormonas que promueven el crecimiento y metabolismo de las plantas. Se prefieren los hidrolizados proteicos vegetales por ser más ecológicos y seguros.</p> <p>La <b>quitina</b> y su forma desacetilada, el <b>quitosano</b>, son biopolímeros que activan defensas y respuestas al estrés en las plantas, mejorando su resistencia a patógenos y condiciones adversas. Actúan induciendo reacciones celulares como acumulación de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> y regulación hormonal, fortaleciendo mecanismos de defensa. Además, el quitosano puede aumentar el rendimiento de cultivos y reducir enfermedades poscosecha.</p>

Referencia	Muestra	Metodología	Principales resultados
Panuccio, M. R., Marra, F., Maffia, A., Mallamaci, C., & Muscolo, A. (2022). Recycling of agricultural (orange and olive) bio-wastes into ecofriendly fertilizers for improving soil and garlic quality. Resources, Conservation & Recycling Advances, 15, 200083.	Desechos del naranja y aceituna	<p><u>Digestión aeróbica</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mezcla de 90% pulpa y hueso de aceitunas + 10% de paja</li> <li>2. Fase de temperatura mesófila durante 8 días a 29°C</li> <li>3. Fase de temperatura termófila durante 20 días a 50 °C</li> <li>4. Fase de temperatura mesófila durante 92 días a 27°C</li> <li>5. Deseccación del compost al aire</li> <li>6. Tamizado a 2 mm y homogeneización</li> </ol> <p><u>Producción de pellets</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mezcla 85% azufre líquido, 10% arcilla bentonítica y 5% orujo de aceituna o naranja</li> <li>2. Obtención de pellets de 3-4 mm de diámetro</li> </ol> <p><u>Digestión anaeróbica</u></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Mezcla de residuos de aceituna (50%) + estiércol animal + ensilado de maíz (50%)</li> <li>2. Digestión anaeróbica en plantas de biogás a 40 °C, pH 7.8-8, con un tiempo de retención hidráulica de 60 días y un tiempo mínimo de retención garantizado de 16 h a 40 °C.</li> </ol> <p>Evaluación de los productos obtenidos en el suelo, el crecimiento y las propiedades antioxidantes del ajo.</p>	El estudio mostró que los subproductos agrícolas mejoran la calidad del suelo, con mejores resultados en los derivados de residuos de naranja, especialmente el compost. Además, el cultivo de ajo creció más y aumentó su capacidad antioxidante con todos los subproductos. Se concluye que estos materiales son útiles en agricultura y sostenibles desde el punto de vista ambiental, económico y agronómico.

## 5. Conclusiones

Diversos subproductos agroalimentarios, como restos vegetales, frutas de desrío, cáscaras, levaduras o salvados, representan una fuente rica y sostenible de compuestos bioactivos con potencial para el desarrollo de bioestimulantes agrícolas. A través de distintas tecnologías de extracción y transformación, como la hidrólisis térmica, enzimática o combinada, la fermentación con bacterias lácticas, y métodos de disrupción celular como ultrasonidos o homogeneización a alta presión, es posible obtener proteínas, péptidos de bajo peso molecular, compuestos fenólicos, antioxidantes y otros metabolitos con capacidad para mejorar el rendimiento de los cultivos.

Estos compuestos no solo promueven el crecimiento vegetal y la salud del suelo, sino que también aumentan la resistencia de las plantas frente al estrés abiótico, reduciendo a su vez la necesidad de fertilizantes y productos de síntesis química. Los extractos derivados de levadura de cerveza, residuos de aguacate, hojas de alfalfa, subproductos de frutas como la yaca, el kiwi, o residuos del procesamiento del té y cítricos, han demostrado poseer propiedades antioxidantes y funcionales destacables, gracias a su riqueza en flavonoides, ácidos fenólicos y péptidos bioactivos.

Como conclusión, los resultados muestran que existen múltiples formas de obtener ingredientes de valor a partir de subproductos agroalimentarios, y que los procesos de extracción deben adaptarse según la naturaleza de la materia prima y el tipo de compuesto que se desea obtener. A partir de estos resultados, y con el *know-how* y la experiencia previa de AINIA, se han podido establecer protocolos iniciales para la obtención de ingredientes de valor destinados al desarrollo de bioestimulantes agrícolas sostenibles.

## 6. Referencias

Puglia, D., Pezzolla, D., Gigliotti, G., Torre, L., Bartucca, M. L., & Del Buono, D. (2021). The opportunity of valorizing agricultural waste, through its conversion into biostimulants, biofertilizers, and biopolymers. *Sustainability*, 13(5), 2710.

Onyia, C., Okoh, M. A., & Okoh, I. (2020). Production of plant growth-promoting bacteria biofertilizer from organic waste material and evaluation of its performance on the growth of corn (*Zea mays*). *American Journal of Plant Sciences*, 189-200.

Tahir, N. A. R., Rasul, K. S., Lateef, D. D., & Grundler, F. M. (2022). Effects of oak leaf extract, biofertilizer, and soil containing oak leaf powder on tomato growth and biochemical characteristics under water stress conditions. *Agriculture*, 12(12), 2082.

Rady, M. M., Varma, B., & Howladar, S. M. (2013). Common bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seedlings overcome NaCl stress as a result of presoaking in *Moringa oleifera* leaf extract. *Scientia Horticulturae*, 162, 63-70.

Avishek, D., Hayat, U., & Ferdous, Z. (2017). Utilization of by-products from food processing as biofertilizers and biopesticides. *Food Processing By-Products and their Utilization*, 175-193.

De Montijo-Prieto, S., Razola-Díaz, M. D. C., Barbieri, F., Tabanelli, G., Gardini, F., Jiménez-Valera, M., ... & Gómez-Caravaca, A. M. (2023). Impact of lactic acid bacteria fermentation on phenolic compounds and antioxidant activity of avocado leaf extracts. *Antioxidants*, 12(2), 298.

Sun, W., Shahrajabian, M. H., Kuang, Y., & Wang, N. (2024). Amino acids biostimulants and protein hydrolysates in agricultural sciences. *Plants*, 13(2), 210.

Xie, Z., Huang, J., Xu, X., & Jin, Z. (2008). Antioxidant activity of peptides isolated from alfalfa leaf protein hydrolysate. *Food chemistry*, 111(2), 370-376.

Calderón-Chiu, C., Calderón-Santoyo, M., Herman-Lara, E., & Ragazzo-Sánchez, J. A. (2021). Jackfruit (*Artocarpus heterophyllus* Lam) leaf as a new source to obtain protein hydrolysates: Physicochemical characterization, techno-functional properties and antioxidant capacity. *Food Hydrocolloids*, 112, 106319.

Famuwagun, A. A., Alashi, A. M., Gbadamosi, S. O., Taiwo, K. A., Oyedele, J. D., Adebooye, O. C., & Aluko, R. E. (2020). In vitro characterization of fluted pumpkin leaf protein hydrolysates and ultrafiltration of peptide fractions: Antioxidant and enzyme-inhibitory properties. *Polish Journal of Food and Nutrition Sciences*, 70(4), 429-443.

Xu, Y., Wang, W., Wang, H., Tian, Y., Yue, Z., Li, C., ... & Zhang, R. (2024). Hydrolysis products of agricultural waste can serve as microbial fertilizer enhancers to promote the growth of maize crops. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1405527.

Schottroff, M., Jaeger, K. M., Malvis Romero, A., Schneeberger, M., & Liese, A. (2025). From Waste to Value: Extraction of Protease Enzymes from Brewer's Spent Yeast. *Foods*, 14(3), 503.

Bărbieru, O. G., Trică, B., Tritean, N., Negrilă, R. N., Constantinescu-Aruxandei, D., & Oancea, F. (2021). Maximizing total protein extraction from spent brewer's yeast using high-pressure homogenization. *Scientific Bulletin Series F. Biotechnologies*, 25(2).

Ciobanu, L. T., Constantinescu-Aruxandei, D., Tritean, N., Lupu, C., Negrilă, R. N., Farcasanu, I. C., & Oancea, F. (2023). Valorization of Spent Brewer's Yeast Bioactive Components via an Optimized Ultrasonication Process. *Fermentation*, 9(11), 952.

Oliveira, A. S., Odila Pereira, J., Ferreira, C., Faustino, M., Durão, J., Pereira, A. M., ... & Carvalho, A. P. (2022). Spent yeast valorization for food applications: Effect of different extraction methodologies. *Foods*, 11(24), 4002.

Ciobanu, L. T., Constantinescu-Aruxandei, D., Tritean, N., Lupu, C., Negrilă, R. N., Farcasanu, I. C., & Oancea, F. (2023). Valorization of Spent Brewer's Yeast Bioactive Components via an Optimized Ultrasonication Process. *Fermentation*, 9(11), 952.

León-González, M. E., Gómez-Mejía, E., Rosales-Conrado, N., & Madrid-Albarrán, Y. (2018). Residual brewing yeast as a source of polyphenols: Extraction, identification and quantification by chromatographic and chemometric tools. *Food Chemistry*, 267, 246-254.

Sifuentes-Estrada, L., & Carrión-Carrera, G. (2024). Producción de fertilizante orgánico líquido utilizando levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) residual del proceso de elaboración de cerveza. *Manglar*, 21(2), 169-176.

Fernandes, P., Pinto, R., Correia, C., Mourão, I., Moura, L., & Brito, L. M. (2024). Impact of Kiwifruit Waste Compost on Soil Bacteriome and Lettuce Growth. *Agriculture*, 14(8), 1409.

Akram, N. A., Saleem, M. H., Shafiq, S., Naz, H., Farid-ul-Haq, M., Ali, B., ... & Qureshi, K. A. (2022). Phytoextracts as crop biostimulants and natural protective agents—a critical review. *Sustainability*, 14(21), 14498.

Xu, L., & Geelen, D. (2018). Developing biostimulants from agro-food and industrial by-products. *Frontiers in plant science*, 9, 1567.

Panuccio, M. R., Marra, F., Maffia, A., Mallamaci, C., & Muscolo, A. (2022). Recycling of agricultural (orange and olive) bio-wastes into ecofriendly fertilizers for improving soil and garlic quality. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 15, 200083.



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



## PERTE AGROALIMENTARIO ACCELEREAT.

*Línea I+D+i — Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.*

**PP12: Investigación de nuevos productos destinados a sectores alternativos a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.**

**ENT\_008**

**INFORME SOBRE LA INVESTIGACIÓN DE PROCESOS PARA LA OBTENCIÓN DE PRODUCTOS DE VALOR DERIVADOS DE INSECTOS PARA SU INCLUSIÓN EN LA FORMULACIÓN DE PIENSOS.**

**Entidad responsable: PROTEINSECTA, S.L.**

Programa: PERTE Agroalimentario ACCELEREAT — Línea I+D+i

Financiado por: Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia — NextGenerationEU.

Fecha: Abril 2026.

*CONFIDENCIAL — Uso restringido al consorcio ACCELEREAT*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS. ....	2
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME. ....	3
2. BASE TÉCNICA DEL ESTUDIO. ....	4
2.1 Materia prima y potencial de valorización. ....	4
2.2 Etapas de pretratamiento. ....	5
2.2.1 Sacrificio e inactivación inicial. ....	5
2.2.2 Secado. ....	5
2.2.3 Molienda y acondicionamiento de partícula. ....	5
2.3 Investigación de procesos de obtención de la fracción lipídica. ....	6
2.3.1 Extracción química con disolventes. ....	6
2.3.2 Extracción con CO <sub>2</sub> supercrítico. ....	6
2.3.3 Prensado en frío y extracción mecánica. ....	6
2.4 Investigación de procesos de obtención de la fracción proteica. ....	7
2.4.1 Solubilización alcalina y precipitación isoelectrica (SAIP). ....	7
2.4.2 Extracción alcalina simple y variantes húmedas. ....	7
2.4.3 Hidrolizados proteicos y rutas enzimáticas. ....	7
2.4.4 Obtención de quitina y otros coproductos de valor. ....	8
2.4.5 Calidad tecnológica y funcionalidad de los ingredientes obtenidos. ....	8
2.5 Calidad nutricional para inclusión en piensos. ....	9
2.5.1 Digestibilidad y valor biológico. ....	9
2.5.2 Perfil aminoacídico. ....	9
2.5.3 Perfil lipídico y valor funcional del aceite. ....	9
2.5.4 Seguridad del proceso y requisitos regulatorios. ....	10
2.6 Evaluación comparativa de las rutas investigadas. ....	10
3. CONCLUSIONES. ....	11
4. BIBLIOGRAFÍA. ....	12



## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.

El presente entregable se enmarca en el Proyecto Primario 12 (PP12) del PERTE ACCELEREat y tiene por objeto documentar de forma técnica y científica la investigación de procesos orientados a la obtención de productos de valor derivados de insectos susceptibles de ser incorporados en la formulación de piensos compuestos.

El foco del trabajo se sitúa en la valorización integral de biomasa de insectos, principalmente *Tenebrio molitor* y, como referencia tecnológica y comparativa, *Hermetia illucens*, a partir de rutas de procesado que permitan generar fracciones proteicas, lipídicas y quitinosas de interés industrial.<sup>[1][2][3]</sup>

La justificación técnica del entregable se apoya en tres ejes:

- i) la necesidad de sustituir parcialmente materias primas proteicas convencionales como harina de soja y harina de pescado;
- ii) la oportunidad de desarrollar una biorrefinería de insectos alineada con los principios de economía circular; y
- iii) la disponibilidad en el marco del PP12 de biomasa y conocimiento aplicado para evaluar, a escala laboratorio, rutas extractivas técnicamente viables para su posterior escalado. La colaboración técnica entre PROTEINSECTA y AINIA se ha orientado específicamente a realizar ensayos de *screening* de extracción sobre larvas de *T. molitor*, comparando distintos métodos de desgrasado y optimizando la obtención de concentrados proteicos por solubilización alcalina y precipitación isoeléctrica (SAIP).<sup>[4][5][2]</sup>

Desde el punto de vista regulatorio, el desarrollo de estos ingredientes se encuentra respaldado por el marco europeo vigente para proteínas animales transformadas (PAT) de insectos destinadas a acuicultura, porcino y aves, así como por su transposición al ordenamiento español mediante el Real Decreto 496/2024.

Esto confiere plena relevancia industrial al estudio de los procesos de transformación, siempre que se garantice el cumplimiento de los requisitos microbiológicos, de procesado y de trazabilidad aplicables a materias primas para alimentación animal.<sup>[5][4]</sup>



## 2. BASE TÉCNICA DEL ESTUDIO.

La investigación desarrollada en el PP12 parte de una revisión bibliográfica y tecnológica extensa para identificar estrategias de extracción de grasas y proteínas procedentes de insectos, así como las variables críticas que determinan su rendimiento y la calidad funcional de las fracciones obtenidas.

Esta revisión permitió definir una batería de pruebas preliminares orientadas a *T. molitor*, especie prioritaria para PROTEINSECTA por su posicionamiento industrial, perfil nutricional y aptitud para producir ingredientes destinados a piensos de alto valor añadido.<sup>[2][3][4]</sup>

La estrategia experimental planteada se estructuró en dos niveles. El **Nivel A** comprendió la evaluación comparativa de tres rutas de desgrasado sobre material deshidratado: extracción química con hexano, extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico y prensado en frío, generando fracciones grasas y harinas desgrasadas diferenciadas. El **Nivel B** consistió en aplicar técnicas de solubilización básica y precipitación isoeléctrica sobre las fracciones del Nivel A y sobre material fresco previamente escaldado, con el objetivo de obtener cinco extractos proteicos diferenciados y comparar su pureza, recuperación y funcionalidad. [4]

Este planteamiento es coherente con el estado del arte. La literatura científica muestra que el método de desgrasado influye de forma decisiva sobre la posterior extracción de proteínas, modificando tanto la recuperación global como las propiedades tecnológicas del concentrado resultante. Igualmente, la etapa de acondicionamiento previo de la biomasa —sacrificio, secado y reducción de tamaño de partícula— condiciona la estabilidad oxidativa, la digestibilidad y la facilidad de separación de las diferentes fracciones.<sup>[3][2][4]</sup>

### 2.1 Materia prima y potencial de valorización.

Las especies objeto del estudio presentan composiciones particularmente adecuadas para una estrategia de valorización múltiple. En base seca, *T. molitor* presenta contenidos proteicos del 45–66% y contenidos lipídicos del 22–36%, con una fracción grasa rica en ácido oleico y ácido linoleico, lo que le confiere gran interés para la producción simultánea de concentrados proteicos y aceites funcionales.

Por su parte, *H. illucens* presenta una composición más variable, con 30–53% de proteína y 8,1–47,4% de lípidos, destacando por su riqueza en ácido láurico, compuesto de alto interés por sus propiedades antimicrobianas en alimentación animal.<sup>[3][4]</sup>

Además de proteína y grasa, ambas especies constituyen una fuente de quitina y quitosano con potencial para aplicaciones como aditivos funcionales, bioestimulantes, recubrimientos y coadyuvantes tecnológicos. En *T. molitor* se han reportado rendimientos de quitina del 16,94–17,32% en larvas, mientras que en *H. illucens* los valores dependen del estadio, oscilando entre 3,6% en larvas y 9,23–14,1% en puparios mediante extracción química convencional. [4]

La lógica tecnológica del ENT\_8 responde, por tanto, a una visión de biorrefinería: no se trata solo de producir una harina de insecto, sino de fraccionar la biomasa para obtener varios productos de valor —concentrado proteico, aceite, quitina/quitosano y, potencialmente, péptidos bioactivos— que mejoren la rentabilidad del proceso y amplíen las opciones de formulación en piensos.<sup>[2][4]</sup>



## 2.2 Etapas de pretratamiento.

### 2.2.1 Sacrificio e inactivación inicial.

El pretratamiento es una etapa crítica porque determina en gran medida la calidad final de los ingredientes obtenidos. En *T. molitor*, la congelación con nitrógeno líquido se identifica como el método que mejor preserva la funcionalidad proteica, alcanzando un índice de aminoácidos esenciales (EAAI) de 1,15, con mayor contenido de grupos sulfhidrilo, mejor solubilidad y ausencia de oxidación lipídica relevante.

En contraste, el blanqueo ofrece ventajas de seguridad microbiológica al reducir la carga inicial hasta en 4 log UFC/g, pero penaliza la eficiencia de extracción de grasa, con pérdidas de hasta el 25% frente a biomasa no blanqueada. [4]

Desde una perspectiva industrial, el blanqueo presenta la ventaja adicional de inactivar enzimas oxidativas como la polifenol oxidasa y reducir el pardeamiento enzimático, lo que simplifica la cadena de procesado cuando la prioridad es la estabilidad microbiológica. Sin embargo, cuando el objetivo prioritario es maximizar el valor de la fracción lipídica o preservar la funcionalidad proteica nativa, la congelación rápida o la inactivación suave aparecen como opciones preferentes. [4]

### 2.2.2 Secado.

La etapa de secado resulta determinante tanto en costes como en calidad de producto. El secado convectivo por aire caliente, especialmente en el rango 80–90 °C, representa la opción más equilibrada para producción de harinas destinadas a piensos, ya que combina rapidez, bajo coste energético relativo y contenidos proteicos en *T. molitor* del orden de 41,14–42,14% sobre materia seca.

No obstante, este método genera mayores valores de peróxidos en la fracción grasa y puede intensificar reacciones de pardeamiento si no se controla adecuadamente. [4]

La liofilización proporciona la mejor calidad oxidativa del aceite y una humedad residual inferior al 1,57%, pero su coste energético es entre 5 y 10 veces superior al del secado convectivo, lo que limita su interés a ingredientes de alto valor o ensayos analíticos de referencia.

Por su parte, el secado infrarrojo-convectivo constituye una alternativa prometedora al aportar mayor estabilidad oxidativa del aceite y menor formación de alérgenos respecto al secado convectivo clásico. [4]

### 2.2.3 Molienda y acondicionamiento de partícula.

La reducción de tamaño de partícula es esencial para mejorar el acceso del disolvente o del medio alcalino a la matriz biológica. La literatura revisada indica que las fracciones finas, inferiores a 500 µm, incrementan el área superficial disponible y mejoran tanto la clasificación seca como la extracción en húmedo.

En el caso del fraccionamiento seco de *T. molitor*, esta estrategia permitió enriquecer la fracción proteica hasta el 58%, aunque con una pureza inferior a la obtenida mediante SAIP. [4]

## 2.3 Investigación de procesos de obtención de la fracción lipídica.

### 2.3.1 Extracción química con disolventes.

La extracción con disolventes orgánicos constituye la referencia clásica para maximizar el rendimiento de recuperación de grasa. En *T. molitor*, la extracción Soxhlet con hexano ha mostrado rendimientos del 25,5%, mientras que el etanol alcanzó el 28,8%, situándose como el sistema con mayor extracción total de grasa en las comparativas revisadas. Sin embargo, el tipo de disolvente modifica la composición del aceite extraído y la calidad de la harina desgrasada residual, lo que afecta al comportamiento posterior de la extracción proteica.<sup>[2][4]</sup>

El hexano presenta ventajas de eficacia y uso consolidado, pero implica limitaciones asociadas a seguridad, sostenibilidad y necesidad de eliminar residuos de disolvente. Por ello, en el marco del PP12 su estudio se justifica como técnica de referencia y de comparación, no necesariamente como la mejor opción final para una estrategia industrial orientada a ingredientes premium para pienso. [4]

### 2.3.2 Extracción con CO<sub>2</sub> supercrítico.

La extracción con fluidos supercríticos, y particularmente con CO<sub>2</sub>, representa la vía más limpia y tecnológicamente avanzada para la obtención de aceite de insecto. En condiciones optimizadas para *H. illucens* a escala piloto —450 bar, 60 °C, flujo de CO<sub>2</sub> de 130 g/min y tiempo de extracción de 190 min— se han alcanzado recuperaciones del 90,9%, con valores de peróxidos de solo 0,85–2,76 meq O<sub>2</sub>/kg, claramente inferiores a los obtenidos con hexano. Para *T. molitor*, la bibliografía recopilada reporta rendimientos en torno al 22,1%, con demostración a escala piloto del proceso.<sup>[2][4]</sup>

La principal ventaja del CO<sub>2</sub> supercrítico reside en la ausencia de residuos de disolvente, la obtención de un aceite de elevada calidad oxidativa y la buena aceptación regulatoria del proceso. Su principal limitación es el CAPEX elevado asociado a la operación a alta presión. No obstante, para un planteamiento de biorrefinería orientado a productos de alto valor y a una imagen tecnológica avanzada, esta ruta aparece como una de las más prometedoras para PROTEINSECTA. [4]

### 2.3.3 Prensado en frío y extracción mecánica.

El prensado en frío o prensado mecánico presenta el menor grado de complejidad tecnológica y elimina por completo el uso de disolventes orgánicos. Aunque su eficiencia es menor que la de las rutas químicas o supercríticas, ofrece ventajas significativas en seguridad operativa, simplicidad de escalado y percepción de sostenibilidad. En BSF se ha reportado una recuperación aproximada del 40% del aceite disponible mediante prensado, con un valor de peróxidos favorable de 2,62 meq/kg. [4]

En el contexto del PP12, esta vía resulta especialmente interesante como opción de entrada a escala piloto o semiindustrial, o bien como pretratamiento de desengrasado parcial antes de una valorización más selectiva de la harina residual. Desde el punto de vista de formulación de piensos, aun cuando el rendimiento sea inferior, el aceite obtenido conserva un perfil comparable al de los métodos extractivos más intensivos y la harina residual puede seguir siendo apta para posteriores operaciones de concentración proteica. [4]



## 2.4 Investigación de procesos de obtención de la fracción proteica.

### 2.4.1 Solubilización alcalina y precipitación isoeléctrica (SAIP).

La SAIP es la ruta central del ENT\_8 y la tecnología más directamente vinculada al esquema de trabajo AINIA-PROTEINSECTA. Este proceso se basa en la solubilización de las proteínas a pH alcalino, separación de insolubles por centrifugación y recuperación de la proteína por precipitación en el punto isoeléctrico.

En *T. molitor*, condiciones del orden de NaOH 0,25 M, relación sólido/líquido 1:15, 40 °C durante 60 min y precipitación a pH 4,3–4,5 han permitido obtener purzas proteicas del 74,0–75,4%, con recuperaciones del 33,2–33,9%.<sup>[3][2]</sup>[4]

Otras configuraciones han mostrado purzas de hasta el 80,4% en *T. molitor*, aunque con menor recuperación global, en torno al 26,4%, lo que pone de manifiesto el compromiso entre pureza y rendimiento. En *H. illucens*, condiciones similares optimizadas a 52 °C y pH 4,4 permitieron alcanzar purzas del 80,42% y recuperaciones del 64,44%, demostrando que la especie y la matriz condicionan fuertemente el comportamiento del proceso.<sup>[3][4]</sup>

Desde la perspectiva del PP12, la SAIP es especialmente relevante porque permite transformar una harina desgrasada de insecto en un ingrediente proteico más concentrado, con mejor funcionalidad tecnológica y mayor valor para formulación de piensos de alto desempeño.

Su interés es máximo en aplicaciones donde se desea reducir el contenido graso, controlar el aporte mineral y mejorar la homogeneidad de la materia prima.<sup>[2][3]</sup>

### 2.4.2 Extracción alcalina simple y variantes húmedas.

La bibliografía revisada señala que la extracción alcalina simple, sin precipitación isoeléctrica final, puede alcanzar recuperaciones claramente superiores a la SAIP clásica. En *T. molitor*, la fracción ASP obtenida por simple extracción alcalina mostró una recuperación del 62,5%, aunque con una pureza reducida al 65%.

Esta opción puede ser interesante cuando el objetivo no es maximizar la pureza sino generar una base proteica funcional para aplicaciones en las que la concentración absoluta no sea crítica. [4]

En términos tecnológicos, esta alternativa simplifica la operación, reduce etapas y puede disminuir tanto el consumo de ácido como los volúmenes de efluentes de neutralización. Sin embargo, el producto obtenido es menos definido y puede presentar mayor variabilidad composicional, por lo que su aplicabilidad dependerá del tipo de pienso y del estándar técnico deseado. [4]

### 2.4.3 Hidrolizados proteicos y rutas enzimáticas.

La hidrólisis enzimática constituye una línea de especial interés cuando se pretende obtener ingredientes funcionales, de alta solubilidad o con propiedades bioactivas. En *T. molitor*, enzimas como Alcalasa, Flavourzyme o complejos multi-enzimáticos han generado grados de hidrólisis significativos y recuperaciones de sólidos solubles de hasta el 42,88%, además de mejorar la actividad antioxidante y otras funcionalidades.

La literatura también recoge que los hidrolizados de *T. molitor* y *H. illucens* presentan actividades antioxidantes y antihipertensivas, lo que abre la puerta a su uso en formulaciones especiales y petfood premium. [4]

No obstante, en el contexto específico del ENT\_8, esta vía debe considerarse complementaria y no principal. Su mayor coste enzimático y complejidad de control de proceso hacen que, para una primera implantación industrial en el ámbito de ingredientes para pienso, la SAIP resulte más accesible.

Aun así, los hidrolizados representan una oportunidad de diversificación futura y de diferenciación tecnológica para PROTEINSECTA.[4]

#### 2.4.4 Obtención de quitina y otros coproductos de valor.

La fracción sólida residual tras la extracción de proteína y grasa no debe considerarse un residuo final, sino una materia prima para la obtención de quitina y, posteriormente, quitosano.

- En *T. molitor*, el método químico convencional basado en desmineralización con HCl y desproteínización con NaOH ha permitido obtener rendimientos de quitina del 16,94–17,32% a partir de larvas.
- En *H. illucens*, los rendimientos son mayores en puparios que en larvas, aunque exigen más ciclos de desproteínización para alcanzar una pureza adecuada. [4]

La relevancia de la quitina para un proyecto de piensos reside tanto en su posible uso como componente funcional como en su valor estratégico dentro del modelo de biorrefinería.

La presencia controlada de quitina en determinadas harinas de insecto puede tener efectos prebióticos e inmunomoduladores, mientras que su extracción y valorización separada mejora el valor económico global del proceso.

Además, la conversión a quitosano mediante desacetilación abre oportunidades en otros mercados, reduciendo el coste atribuible a la fracción proteica principal. [4]

#### 2.4.5 Calidad tecnológica y funcionalidad de los ingredientes obtenidos.

Uno de los aspectos más relevantes para la inclusión en piensos no es solo el contenido bruto de proteína, sino la funcionalidad tecnológica del ingrediente. Los concentrados obtenidos por SAIP en *T. molitor* mostraron capacidades de retención de agua de 10,54 g/g, superiores a muchas proteínas vegetales y comparables a proteínas cárnicas, lo que favorece su uso en matrices extrusionadas o semihúmedas.

Asimismo, las fracciones alcalinas simples presentaron una capacidad emulsificante especialmente elevada, lo que puede ser de interés en piensos ricos en grasa o con requisitos específicos de textura. [4]

La temperatura del proceso afecta de forma importante a la estructura de la proteína. A 25 °C predomina una estructura más rica en alfa-hélice, mientras que a 80 °C aumenta de forma marcada la fracción desordenada, reflejando una mayor desnaturalización. Esto obliga a plantear el diseño de proceso no solo desde el rendimiento extractivo, sino desde la preservación de la funcionalidad final del ingrediente. [4]



## 2.5 Calidad nutricional para inclusión en piensos.

### 2.5.1 Digestibilidad y valor biológico.

La evidencia recopilada indica que la proteína de insecto procesada puede alcanzar digestibilidades muy elevadas.

- En *T. molitor*, el secado a 80 °C durante 15 horas permitió obtener una digestibilidad proteica *in vitro* del 94,72%, claramente superior a la de la biomasa cruda, situada entre 76,2% y 85%. Los valores de DIAAS reportados para tratamientos optimizados se sitúan entre 95,72 y 115,44, lo que sitúa a estos ingredientes en el rango de proteína de excelente calidad. [4]
- En *H. illucens*, la digestibilidad *in vitro* de productos secados convectivamente se sitúa entre el 82% y el 90%, pudiendo alcanzar el 93–94% en productos extrusionados. Estos datos son plenamente compatibles con la utilización de ingredientes de insecto en formulaciones de acuicultura, avicultura, porcino y alimentación de mascotas, siempre que se corrijan los aminoácidos limitantes cuando sea necesario. [4]

### 2.5.2 Perfil aminoacídico.

La proteína de *T. molitor* presenta un perfil aminoacídico estable y competitivo. En los estudios revisados, los aminoácidos esenciales mostraron variaciones limitadas entre dietas o tratamientos, con leucina en el rango 6,96–7,25 g/100 g de proteína bruta, lisina entre 4,43 y 5,67 g/100 g y metionina entre 2,26 y 2,97 g/100 g.

La metionina aparece de forma consistente como aminoácido limitante, aspecto que debe contemplarse en la formulación final del pienso. [4]

Este perfil refuerza el interés de los concentrados proteicos de insecto como sustitutos parciales de harina de pescado o concentrados vegetales.

La ventaja diferencial reside en que, además del valor proteico, estos ingredientes aportan funcionalidades adicionales asociadas a quitina, péptidos bioactivos y fracciones lipídicas específicas. [4]

### 2.5.3 Perfil lipídico y valor funcional del aceite.

La fracción grasa de *T. molitor* presenta un perfil dominado por ácido oleico y linoleico, típicamente 37–40% de oleico y 33–37% de linoleico, lo que la aproxima a aceites vegetales de perfil equilibrado y la hace interesante para acuicultura y alimentación animal de alto valor. Además, la composición puede modularse mediante el sustrato de cría, lo que abre oportunidades futuras de diseño de ingredientes a medida. [4]

En *H. illucens*, la riqueza en ácido láurico —28–51,5%— convierte al aceite en un ingrediente con valor añadido por sus propiedades antimicrobianas y su posible efecto modulador de la microbiota intestinal.

Aunque el ENT\_8 se centra prioritariamente en *T. molitor*, la comparación con BSF es relevante porque permite identificar líneas de diversificación de la biorrefinería y productos con posicionamientos funcionales distintos. [4]

#### 2.5.4 Seguridad del proceso y requisitos regulatorios.

La producción de ingredientes derivados de insectos para piensos debe ajustarse a los reglamentos europeos que autorizan las PAT de insectos en acuicultura, aves y porcino, así como a las exigencias del Reglamento 142/2011 y del Real Decreto 496/2024 en España. En particular, los productos finales deben cumplir criterios estrictos de seguridad microbiológica, incluyendo ausencia de *Salmonella* en 25 g y límites controlados de Enterobacteriaceae.<sup>[5][4]</sup>

El tratamiento térmico, el secado hasta actividad de agua segura y la gestión higiénica del proceso son puntos de control crítico indispensables. Asimismo, la selección del sustrato de alimentación de los insectos y la trazabilidad integral del proceso resultan esenciales para evitar contaminantes químicos o biológicos que comprometan la aptitud del ingrediente final para su uso en alimentación animal. [4]

#### 2.6 Evaluación comparativa de las rutas investigadas.

**Tabla 1.** Evaluación comparativa de las rutas de extracción investigadas.

Ruta de proceso	Ventajas principales	Limitaciones principales	Adecuación para PP12
Hexano / Soxhlet	Alta eficacia, referencia comparativa, tecnología conocida <sup>[4][2]</sup> .	Residuos de disolvente, menor sostenibilidad, exigencia de evaporación y seguridad ATEX [4].	Adecuada como técnica de referencia y <i>Benchmark</i> [4].
CO <sub>2</sub> supercrítico	Sin residuos, aceite de alta calidad oxidativa, imagen tecnológica avanzada [4].	CAPEX elevado, operación a alta presión [4].	Muy adecuada para ruta premium y escalado selectivo [4].
Prensado en frío	Simplicidad, seguridad, bajo impacto químico [4].	Menor rendimiento extractivo [4].	Adecuada para escalado inicial o desgrasado parcial [4].
SAIP	Alta pureza proteica, proceso consolidado, buena funcionalidad <sup>[4][3]</sup> .	Recuperación moderada, generación de efluentes, necesidad de centrifugación [4].	Ruta central recomendada para concentrado proteico [4].
Extracción alcalina simple	Mayor recuperación de proteína [4].	Menor pureza y mayor variabilidad [4].	Interesante como alternativa de bajo coste [4].
Hidrólisis enzimática	Hidrolizados funcionales y bioactivos [4].	Coste enzimático elevado [4].	Ruta de diversificación futura [4].
Extracción de quitina	Valorización integral de residuos y mejora económica global [4].	Consumo de reactivos y complejidad de purificación [4].	Muy recomendable como coproducto de biorrefinería [4].



### 3. CONCLUSIONES.

La investigación desarrollada confirma que la obtención de productos de valor derivados de insectos para su inclusión en piensos es técnica y científicamente viable, siempre que se seleccione una secuencia de operaciones coherente con la fracción objetivo y con el posicionamiento industrial del producto final.

En T. molitor, la combinación de acondicionamiento controlado, desgrasado y extracción proteica por SAIP constituye la ruta más sólida para generar un concentrado proteico de alta calidad y una fracción grasa valorizable.[3][2][4]

La comparación entre hexano, CO<sub>2</sub> supercrítico y prensado demuestra que no existe una única técnica óptima en términos absolutos, sino una elección dependiente del equilibrio entre rendimiento, pureza, calidad oxidativa, seguridad, coste y escalabilidad.

En este contexto, el CO<sub>2</sub> supercrítico representa la mejor opción tecnológica para aceites de alta calidad, mientras que la SAIP se consolida como la mejor base para el desarrollo de ingredientes proteicos concentrados destinados a piensos. [4]



#### 4. BIBLIOGRAFÍA.

1. Tenebrio *molitor*-based edible lipids: alternative extraction methods and evaluation of their biological properties - Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós-Gradu...
2. Protein concentrates from edible insect tenebrio molitor: development of extraction methods and techno-functional characterization
3. Characterization of Tenebrio molitor Larvae Protein ... - Edible insects have recently attracted research attention due to their nutritional value and low env...
4. Informe Extraccion Ingredientes PP12-3.docx - INFORME DE MTODOS Y PROCEDIMIENTOS PARA LA EXTRACCIN DE INGREDIENTES DE VALOR A PARTIR DE INSECTOS P...
5. [PDF] Informe Final Optimización de harinas de insecto como ingrediente ... - ... (desgrasado por prensa), S (desgrasado por fluido supercrítico). a,b ... Tras seleccionar la har...



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



## PERTE AGROALIMENTARIO ACCELEREAT.

*Línea I+D+i — Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.*

**PP12: Investigación de nuevos productos destinados a sectores alternativos a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.**

### **ENT\_009**

**ENT\_9: INFORME DE LA APLICACIÓN DE LOS COMPUESTOS DE VALOR IDENTIFICADOS PROCEDENTES DE SUBPRODUCTOS E INSECTOS EN FÓRMULAS DE BIOFERTILIZANTES.**

**Entidad responsable: VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA, S.L.**

Programa: PERTE Agroalimentario ACCELEREAT — Línea I+D+i

Financiado por: Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia — NextGenerationEU.

Fecha: Abril 2026.

*CONFIDENCIAL — Uso restringido al consorcio ACCELEREAT*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS. ....	2
ÍNDICE DE TABLAS.....	4
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.....	6
1.1 Contexto: Proyecto PP12 del PERTE AccelerEAT. ....	6
1.2 Consorcio PP12. ....	6
1.3 Objetivo del entregable. ....	6
1.4 Esquema de Economía Circular: SDR → Insectos → Biofertilizante. ....	7
2. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SDRs DE BAJO O NULO INTERÉS ECONÓMICO/NUTRICIONAL. .....	8
2.1 Composición nutricional de los 15 SDRs del PP12. ....	8
2.2 Criterios de clasificación: bajo interés nutricional vs. alto Potencial como sustrato para frass...9	
2.3 SDRs identificados como de bajo o nulo valor económico/nutricional. ....	9
3. COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DEL FRASS DE INSECTOS.....	11
3.1 Composición NPK de <i>T. molitor</i> y <i>H. illucens</i> .....	11
3.2 Materia orgánica, pH, relación C/N, micronutrientes. ....	12
3.3 Quitina y derivados: propiedades bioestimulantes. ....	12
3.4 Microbioma del frass: comunidades bacterianas beneficiosas. ....	13
4. EVALUACIÓN DE SDRs DEL PP12 COMO SUSTRATOS PARA PRODUCCIÓN DE FRASS. ....	15
4.1 Residuos de almazara (alperujo, orujillo, orujo grasoso seco).....	15
4.2 Micelio biomasa fúngica (HIFAS).....	15
4.3 Residuos cítricos (bagazo de mandarina, bagazo de naranja).....	15
4.4 Subproductos lácteos (aguas ácidas, muestras blancas).....	16
4.5 Hojas caídas de cultivos frutales. ....	16
4.6 Formulación de mezclas optimizadas de SDRs. ....	16
5. EFECTO DEL SUSTRATO SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL FRASS.....	19
5.1 Relación sustrato-frass: cómo el SDR determina el NPK. ....	19
5.2 Sustratos fibrosos y su efecto sobre el frass.....	19
5.3 Optimización de mezclas para maximizar valor fertilizante. ....	19
6. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL FRASS COMO BIOFERTILIZANTE.....	20
6.1 Ensayos en cultivos hortícolas. ....	20
6.2 Ensayos en cereales y leguminosas. ....	20
6.3 Efecto sobre germinación y crecimiento. ....	21
6.4 Dosis óptimas de aplicación.....	22



6.5 Fitotoxicidad y precauciones. ....	22
7. PROPIEDADES BIOPLAGUICIDAS Y BIOESTIMULANTES DEL FRASS.....	23
7.1 Supresión de enfermedades fúngicas.....	23
7.2 Control de nematodos. ....	23
7.3 Efecto bioestimulante de la quitina. ....	23
7.4 Inducción de defensas en plantas (ISR/SAR).....	24
8. PROCESAMIENTO Y FORMULACIÓN DE BIOFERTILIZANTES. ....	25
8.1 Secado y estabilización. ....	25
8.2 Peletización y granulación. ....	25
8.3 Extracción de quitina/quitosano.....	25
8.4 Formulación de productos comerciales.....	26
8.5 Combinación con otros biofertilizantes. ....	26
8.6 Biochar a partir de frass. ....	26
9. MARCO REGULATORIO EUROPEO Y ESPAÑOL.....	27
9.1 Reglamento (UE) 2019/1009 sobre productos fertilizantes. ....	27
9.2 Categorías de materiales componentes (CMC) y frass. ....	27
9.3 Reglamento (CE) 1069/2009 (SANDACH) y frass. ....	27
9.4 Reglamento (UE) 2021/1925 (higienización). ....	27
9.5 Normativa Española: RD 506/2013 y modificaciones.....	29
9.6 Registro de biofertilizantes en España.....	29
9.7 Agricultura ecológica y certificaciones.....	29
10. ANÁLISIS DE MERCADO DE BIOFERTILIZANTES.....	30
10.1 Mercado Global y Europeo. ....	30
10.2 Segmento de frass de insectos. ....	30
10.3 Principales productores europeos. ....	31
10.4 Precios y segmentos de clientes. ....	31
10.5 Demanda en España y en Comunidad Valenciana.....	32
11. VIABILIDAD ECONÓMICA. ....	33
11.1 Estructura de costes de producción de frass.....	33
11.2 Modelo de negocio: frass como coproducto. ....	33
11.3 Análisis Coste-Beneficio SDR → Insectos → Frass. ....	34
11.4 Comparativa con alternativas convencionales de valorización. ....	34
12. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL. ....	36
12.1 ACV del frass vs. fertilizantes convencionales. ....	36



12.2 Huella de carbono y huella hídrica. ....	36
12.3 Reducción de residuos a vertedero. ....	37
12.4 Contribución a ODS y Green Deal. ....	37
12.5 Alineación con Farm to Fork y PAC 2023-2027. ....	37
13. PERSPECTIVAS DE FUTURO E I+D+i PARA PROTEINSECTA. ....	38
13.1 Biofertilizantes de precisión. ....	38
13.2 Extracción de bioactivos del frass. ....	38
13.3 Biopesticidas Derivados. ....	38
13.4 Integración con agricultura de precisión. ....	38
13.5 Biorremediación de suelos. ....	39
13.6 Proyectos europeos relevantes. ....	39
13.7 Hoja de ruta estratégica 2026-2030. ....	39
14. CONCLUSIONES. ....	41
15. BIBLIOGRAFÍA. ....	43

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1-Empresas consorciadas del Proyecto PP12 y sus SDRs. ....	6
Tabla 2-Composición nutricional completa de los 15 SDRs del Proyecto PP12. ....	8
Tabla 3-Clasificación de SDRs del PP12 por potencial como sustrato para frass. ....	9
Tabla 4-Composición NPK del frass de T. molitor según tipo de sustrato. ....	11
Tabla 5-Composición NPK del frass de H. illucens según tipo de sustrato. ....	11
Tabla 6-Micronutrientes en frass de insectos vs. compost y fertilizante mineral. ....	12
Tabla 7-Comunidades microbianas beneficiosas en el frass de insectos. ....	13
Tabla 8-Aptitud de SDRs del PP12 como sustratos para producción de frass. ....	16
Tabla 9-Mezclas de sustrato recomendadas para T. molitor. ....	17
Tabla 10-Mezclas de sustrato recomendadas para H. illucens. ....	17
Tabla 11-Resultados agronómicos del frass en cultivos hortícolas. ....	20
Tabla 12-Resultados agronómicos del frass en cereales y leguminosas. ....	21
Tabla 13-Dosis óptimas de frass por cultivo. ....	22
Tabla 14-Efecto bio-plaguicida del frass de insectos. ....	23
Tabla 15-Métodos de procesamiento del frass. ....	25
Tabla 16-Cronología regulatoria UE para frass de insectos. ....	28
Tabla 17-Especies y sustratos autorizados para producción de frass (UE). ....	28



Tabla 18- Requisitos de registro de biofertilizantes en España.....	29
Tabla 19-Tamaño de mercado de biofertilizantes por región. ....	30
Tabla 20-Productores europeos de frass.....	31
Tabla 21-Precios de mercado del frass en Europa.....	31
Tabla 22- Estructura de costes operacionales para producción de frass. ....	33
Tabla 23- Flujos de ingresos del modelo SDR-insectos.....	34
Tabla 24-Comparativa económica y ambiental: insecticultura vs. alternativas convencionales. ....	34
Tabla 25- Indicadores ACV del frass vs. fertilizantes sintéticos y orgánicos.....	36
Tabla 26- Hoja de ruta estratégica 2026-2030. ....	39
Tabla 27- Líneas prioritarias de I+D+i.....	40

## 1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.

### 1.1 Contexto: Proyecto PP12 del PERTE AccelerEAT.

El presente informe se enmarca en el Proyecto PP12 del PERTE (Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica) AccelerEAT, financiado con fondos NextGenerationEU dentro del Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia de España. El PERTE AccelerEAT tiene como objetivo acelerar la transformación de la cadena alimentaria española hacia modelos más sostenibles, eficientes y circulares.

El PP12 constituye uno de los proyectos tractores del PERTE AccelerEAT, orientado a la valorización integral de subproductos, desperdicios y residuos (SDRs) de la industria agroalimentaria española mediante estrategias innovadoras que incluyen la insecticultura como tecnología de bioconversión. Este proyecto aborda una problemática creciente: la generación de millones de toneladas anuales de SDRs en la cadena alimentaria española, muchos de los cuales poseen escaso o nulo valor económico y/o nutricional para las vías convencionales de valorización (alimentación animal, compostaje), pero que pueden ser transformados en productos de alto valor añadido a través de la cría de insectos.

### 1.2 Consorcio PP12.

El Proyecto PP12 integra un consorcio multisectorial de empresas agroalimentarias líderes en sus respectivos sectores, generadoras de SDRs de diversa naturaleza:

*Tabla 1-Empresas consorciadas del Proyecto PP12 y sus SDRs.*

Empresa	Sector	SDRs Generados	Ubicación
DACSA	Cereales y arroz	Salvado de arroz, harina zootécnica	Valencia
HIFAS DA TERRA	Micología / suplementos	Micelio biomasa agotado	Pontevedra
ACESUR	Aceite de oliva	Alperujo, orujillo, orujo graso seco	Jaén
INNOLACT	Industria láctea	Aguas ácidas, muestras blancas, bagazo naranja	Lugo
AGRICONSA	Zumos cítricos	Bagazo de mandarina	Valencia
VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA, S.L.	Gestión agrícola	Hojas caídas (kiwi, caqui, aguacate, mandarina, vid)	Valencia
PROTEINSECTA, S.L.	Insecticultura	Transformación SDRs → insectos → biofertilizantes	Albacete

### 1.3 Objetivo del entregable.

El objetivo del presente documento entregable es realizar un análisis exhaustivo de los SDRs de bajo o nulo interés económico y/o nutricional identificados en el PP12 para su transformación en biofertilizantes de bajo impacto ambiental a través de la insecticultura. Específicamente, se abordan los siguientes objetivos:

1. Identificar y clasificar los SDRs del PP12 con bajo potencial para alimentación animal pero alto potencial como sustratos para la producción de frass fertilizante.

2. Caracterizar la composición y propiedades del frass de *T. molitor* y *H. illucens* como biofertilizante, incluyendo NPK, micronutrientes, quitina y microbioma.
3. Evaluar la aptitud de cada SDR del PP12 como sustrato para la producción de frass de calidad agronómica.
4. Revisar la evidencia agronómica sobre el frass como fertilizante, bioestimulante y bio-plaguicida.
5. Analizar el marco regulatorio europeo y español aplicable al frass como producto fertilizante.
6. Evaluar el mercado de biofertilizantes y la viabilidad económica del modelo SDR → insectos → frass.
7. Identificar las perspectivas de futuro y líneas de I+D+i prioritarias para PROTEINSECTA.

#### **1.4 Esquema de Economía Circular: SDR → Insectos → Biofertilizante.**

El modelo de economía circular propuesto en el PP12 transforma residuos de la industria agroalimentaria en tres flujos de valor: proteína de insecto (para piensos y alimentación humana), grasa/aceite de insecto (para oleoquímica y piensos) y frass (biofertilizante).

Este esquema se fundamenta en la capacidad bio-convertora de *T. molitor* y *H. illucens*, que asimilan los nutrientes del sustrato y los concentran en biomasa de alto valor, mientras generan frass enriquecido en nutrientes, quitina y microorganismos beneficiosos.

La producción industrial de insectos genera entre 2 y 4 toneladas de frass por cada tonelada de biomasa de insecto producida. A nivel mundial, se estima que la producción de frass asciende a más de 67.000 toneladas anuales, cifra en constante crecimiento conforme se escala la industria.

El frass de insectos ha emergido como uno de los biofertilizantes más prometedores en el marco de la economía circular agroalimentaria, combinando aportes nutricionales directos, efectos bioestimulantes por vía de la quitina, y propiedades de mejora del microbioma del suelo.

Para los SDRs del PP12 clasificados como de bajo o nulo interés nutricional (micelio biomasa, orujillo, orujo graso seco, bagazo de mandarina, aguas ácidas, muestras blancas, hojas caídas), la vía de la insecticultura ofrece una alternativa superior a las vías convencionales de gestión (vertedero, incineración, compostaje directo) al generar productos de mayor valor añadido con menor huella ambiental.



## 2. IDENTIFICACIÓN Y CLASIFICACIÓN DE SDRs DE BAJO O NULO INTERÉS ECONÓMICO/NUTRICIONAL.

### 2.1 Composición nutricional de los 15 SDRs del PP12.

El Proyecto PP12 ha identificado 15 subproductos, desperdicios y residuos (SDRs) procedentes de las empresas consorciadas. La siguiente tabla recoge la composición nutricional completa de cada uno de ellos, determinada mediante análisis proximal en los laboratorios del proyecto.

Tabla 2-Composición nutricional completa de los 15 SDRs del Proyecto PP12.

SDR	Proteína (%)	Grasa (%)	Humedad (%)	Cenizas (%)	HC (%)	Fibra diet. (%)	Energía (kcal)	FAD	N total (%)
Salvado arroz	14,4	14,95	9,6	8,54	52,51	19,4	450,33	13,6	2,18
Harina zootécnica	8,6	5,65	12,88	1,9	70,97	7,15	384,72	5,1	1,45
Micelio biomasa (HIFAS)	5,9	0,4	4,99	6,66	82,05	52,1	459,77	40,05	0,98
Alperujo (ACESUR)	2,4	8,01	63,05	2,96	23,58	20,11	219,36	—	—
Orujillo (ACESUR)	9,0	9,9	8,8	8,75	63,55	40,6	464,28	31,46	1,44
Orujo graso seco (ACESUR)	8,5	1,3	9,0	8,55	72,65	24,16	281,91	28,66	1,40
Aguas ácidas (INNOLACT)	0,17	—	95,1	0,69	4,04	—	9,08	—	—
Muestras blancas (INNOLACT)	<0,01	—	99,8	0,13	—	—	0	—	—
Bagazo naranja	4,11	—	49,6	3,1	43,14	6,25	201,95	5,26	0,65
Bagazo mandarina	1,31	—	88,81	2,04	7,82	4,18	45,06	—	—
Hojas kiwi (VGA)	9,05	—	70,03	—	17,12	21,18	148,00	15,2	—
Hojas caqui (VGA)	11,56	—	69,78	—	17,19	11,56	94,16	17,9	—
Hojas aguacate (VGA)	16,9	—	67,05	—	14,75	14,05	105,48	17,18	—
Hoja vid (VGA)	2,25	—	85,8	—	9,35	7,75	61,00	—	—
Hojas mandarina (VGA)	5,5	—	67,0	—	26,21	26,3	187,35	18,05	—

Los análisis reflejan una gran heterogeneidad en la composición de los SDRs, desde materiales de baja humedad y alto contenido en fibra (micelio biomasa: 52,1% fibra dietética, FAD 40,05) hasta

subproductos esencialmente acuosos con trazas de nutrientes (muestras blancas: 99,8% humedad, proteína <0,01%).

## 2.2 Criterios de clasificación: bajo interés nutricional vs. alto Potencial como sustrato para frass.

Para la clasificación de los SDRs del PP12 según su potencial como sustratos para la producción de frass biofertilizante, se han aplicado los siguientes criterios:

- Bajo interés nutricional para piensos convencionales: SDRs con elevada proporción de fibra indigestible (FAD >25%), muy alta humedad (>85%), muy baja proteína (<5%) o presencia de compuestos antinutricionales (polifenoles, taninos, flavonoides).
- Alto potencial como sustrato para insecticultura: capacidad de ser consumido por *T. molitor* y/o *H. illucens*, aporte de materia orgánica al frass, complementariedad en mezclas con otros SDRs, disponibilidad y volumen suficiente.
- Potencial para generar frass de calidad agronómica: SDRs que, al ser procesados por insectos, generen frass con contenido razonable de NPK, materia orgánica y quitina.

## 2.3 SDRs identificados como de bajo o nulo valor económico/nutricional.

A partir de los criterios anteriores y del análisis composicional, los siguientes SDRs del PP12 han sido identificados como de bajo o nulo interés económico y/o nutricional para las vías convencionales de valorización, pero con potencial para su transformación en biofertilizante mediante insecticultura:

Tabla 3-Clasificación de SDRs del PP12 por potencial como sustrato para frass.

SDR	Empresa	Razón bajo valor nutricional	Potencial sustrato frass	Observaciones
Micelio biomasa	HIFAS	FAD 40,05%; fibra diet. 52,1%	Medio-Alto	Mezcla con cerealistas; fuente de quitina fúngica.
Orujillo	ACESUR	FAD 31,46%; alto en polifenoles	Medio	Uso en mezclas ≤20-30%; pretratamiento recomendado.
Orujo graso seco	ACESUR	FAD 28,66%; bajo en grasa residual	Medio	Similar a orujillo; complementar con cerealistas.
Alperujo	ACESUR	Alta humedad 63%; polifenoles	Medio	Secado previo; mayor digestibilidad para BSF.
Bagazo mandarina	AGRICONSA	Humedad 88,81%; proteína 1,31%	Bajo-Medio	Alto en pectina/azúcares; mezcla con secos.
Aguas ácidas	INNOLACT	Humedad 95,1%; proteína 0,17%	Bajo	Fuente de humedad para mezclas; valor nutricional mínimo.
Muestras blancas	INNOLACT	Humedad 99,8%; sin nutrientes	Muy Bajo	Solo como diluyente/humectante; sin valor nutricional.
Hojas kiwi	VGA	Humedad 70%; fibra alta	Medio	Aporte de N y fibra; buen complemento en mezclas.



SDR	Empresa	Razón bajo valor nutricional	Potencial sustrato frass	Observaciones
Hojas caqui	VGA	Humedad 69,78%; taninos	Medio	Proteína razonable (11,56%); evaluar taninos.
Hojas aguacate	VGA	Humedad 67%; compuestos fenólicos	Medio	Mejor perfil proteico (16,9%); posible antinutritivos.
Hojas mandarina	VGA	Humedad 67%; fibra alta 26,3%	Medio	Fibra y flavonoides; complementar en mezclas.
Hoja vid	VGA	Humedad 85,8%; proteína 2,25%	Bajo	Muy acuosa y pobre; solo como complemento.

Los SDRs de mayor valor nutricional del PP12 —salvado de arroz (DACSA), harina zootécnica (DACSA) y bagazo de naranja — presentan perfiles más adecuados como ingredientes de piensos convencionales, aunque también pueden servir como sustratos base de alta calidad para la cría de insectos, generando frass de composición nutricional superior.



### 3. COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES DEL FRASS DE INSECTOS.

#### 3.1 Composición NPK de *T. molitor* y *H. illucens*.

La composición del frass varía significativamente según la especie de insecto y el sustrato de cría. Los estudios más completos hasta la fecha permiten establecer rangos orientativos para las dos especies propuestas. El frass de *Tenebrio molitor* (TmF) presenta nitrógeno total (N) entre 2,2 y 3,8% en materia seca, fósforo total ( $P_2O_5$ ) entre 1,1 y 2,4%, y potasio ( $K_2O$ ) entre 0,8 y 2,1%, con pH generalmente alcalino (7,1-8,5) y razón C/N baja (8-15), favorable para mineralización rápida.

Castillo et al. (2026) demostraron que *T. molitor* presenta la concentración más alta de carbono orgánico disuelto (COD) entre todas las especies analizadas, aunque también evidenció índices de germinación que indican fitotoxicidad en concentraciones altas.

El frass de *Hermetia illucens* (BSFF) muestra rangos más amplios: nitrógeno total entre 1,8 y 4,2% en materia seca, fósforo entre 0,9 y 2,8%, potasio entre 0,6 y 3,1%, pH entre 7,0 y 8,9, y materia orgánica del 60-80% de la materia seca.

Franco et al. (2024) realizaron una revisión exhaustiva del frass de *H. illucens*, demostrando que la composición de macro y micronutrientes depende fuertemente del sustrato de alimentación larval.

Tabla 4-Composición NPK del frass de *T. molitor* según tipo de sustrato.

Tipo de sustrato	N total (% MS)	$P_2O_5$ (% MS)	$K_2O$ (% MS)	C/N	pH	Referencia
Salvado de trigo (estándar)	3,2–5,0	1,5–2,0	1,2–1,7	8–12	5,5–6,5	Watson et al., 2021.
Salvado de arroz	2,8–3,8	1,3–1,9	1,0–1,5	10–14	6,0–7,0	Antonopoulou et al., 2022.
Mezcla cerealista + fibra	2,2–3,0	1,1–1,6	0,8–1,3	12–15	7,0–7,5	Dulaurent et al., 2020.
Sustrato con residuos olivar	1,8–2,5	0,9–1,4	0,7–1,1	14–18	7,2–8,0	Antonopoulou et al., 2022.
Mezcla SDRs PP12 (estimado)	2,5–3,5	1,2–1,8	0,9–1,4	10–15	6,5–7,5	Estimación proyecto.

Tabla 5-Composición NPK del frass de *H. illucens* según tipo de sustrato.

Tipo de sustrato	N total (% MS)	$P_2O_5$ (% MS)	$K_2O$ (% MS)	C/N	pH	Referencia
Residuos vegetales mixtos	2,5–4,5	2,0–3,5	1,0–2,5	8–12	7,5–8,5	Franco et al., 2024.
Subproductos frutícolas	2,0–3,0	1,5–2,5	1,2–2,0	10–15	7,0–8,0	Scieuzo et al., 2022.
Orujo de oliva	1,5–2,5	1,0–1,8	0,8–1,5	15–20	7,5–8,5	Picco et al., 2025.
Estiércoles/residuos proteicos	3,5–4,5	2,5–3,5	1,5–3,1	8–10	8,0–8,9	Tanga et al., 2022.



Tipo de sustrato	N total (% MS)	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> (% MS)	K <sub>2</sub> O (% MS)	C/N	pH	Referencia
Mezcla SDRs PP12 (estimado)	2,0–3,5	1,5–2,5	1,0–2,0	10–15	7,5–8,5	Estimación proyecto

### 3.2 Materia orgánica, pH, relación C/N, micronutrientes.

El frass aporta también micronutrientes esenciales: hierro (Fe), manganeso (Mn), zinc (Zn), cobre (Cu), boro (B) y molibdeno (Mo). Di Cuia et al. (2026) evaluaron el uso de frass como sustratos alternativos a la turba para microgreens, mostrando que la sustitución parcial de turba por frass de *H. illucens* incrementó el contenido en hierro de los microgreens, poniendo de manifiesto la biodisponibilidad de micronutrientes del frass de BSF.

Tabla 6-Micronutrientes en frass de insectos vs. compost y fertilizante mineral.

Parámetro	Frass <i>T. molitor</i>	Frass <i>H. illucens</i>	Compost convencional	Fertilizante NPK 15-15-15
Fe (mg/kg MS)	500–2.500	800–4.000	1.000–5.000	Variable (aditivo).
Mn (mg/kg MS)	50–300	100–500	100–400	Variable (aditivo).
Zn (mg/kg MS)	80–400	100–600	50–200	Variable (aditivo).
Cu (mg/kg MS)	10–50	15–80	20–100	Variable (aditivo).
B (mg/kg MS)	5–30	8–50	5–25	Variable (aditivo).
Mo (mg/kg MS)	0,5–3	1–5	0,3–2	Variable (aditivo).
Materia orgánica (% MS)	50–75	60–80	40–60	0
Quitina (% MS)	2–8	1–5	0	0
pH	7,1–8,5	7,0–8,9	6,5–8,0	N/A
C/N ratio	8–15	8–20	15–30	N/A
COD (mg/kg MS)	Muy alto	Alto	Medio	0

### 3.3 Quitina y derivados: propiedades bioestimulantes.

La quitina es el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza. En el frass de insectos proviene fundamentalmente de las exuvias (mudas larvales) incluidas en la mezcla, de fragmentos de cutícula y de peritrofos intestinales.

El contenido varía entre el 1 y el 8% de la materia seca. Praeg y Klammsteiner (2024) detectaron concentraciones de nutrientes disponibles de hasta 7.000 µg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/g, 150 µg NO<sub>2</sub>-NO<sub>3</sub><sup>-</sup>-N/g y 20 mg P disponible/g de sólidos totales, y el frass indujo hasta 25 veces más respiración microbiana en comparación con suelos no enmendados.

La quitina del frass actúa por múltiples vías:

- estimulación de microorganismos quitinolíticos beneficiosos (Actinobacteria, Streptomyces, Bacillus, Trichoderma);
- inducción de resistencia sistémica en plantas (ISR/SAR) a través del reconocimiento por receptores CERK1 y activación de cascadas JA/SA;

- c) regulación del metabolismo del nitrógeno mediante liberación gradual de N orgánico. Wang et al. (2022) demostraron que las enmiendas de quitina incrementaron significativamente el pH del suelo, el fósforo y potasio asimilables, y enriquecieron bacterias biocontroladoras (*Sphingomonas*, *Streptomyces*, *Bacillus*) y hongos beneficiosos (*Mortierella*, *Purpureocillium*, *Metarhizium*).

El quitosano, producto de la desacetilación parcial de la quitina, está registrado como bioestimulante en la UE (Reg. 1107/2009 como sustancia básica).

Hawrylak-Nowak y Stasińska-Jakubas (2022) confirmaron su activación de mecanismos de defensa, regulación de procesos metabólicos, y actividad antifúngica, antibacteriana, antiviral y antioxidante.

Bieganowski et al. (2024) demostraron que los residuos quitinosos de *H. illucens* sin procesar mostraron mejores propiedades de sorción que los quitosanos comerciales.

### 3.4 Microbioma del frass: comunidades bacterianas beneficiosas.

El frass de insectos alberga comunidades microbianas que reflejan tanto el sustrato de cría como la microbiota intestinal del insecto.

Praeg y Klammsteiner (2024) evidenciaron que la composición del microbioma difiere significativamente entre especies, aunque sin diferencias significativas en la diversidad alfa entre frass fresco y pasteurizado. La aplicación del frass al suelo reactivó la actividad microbiana induciendo hasta 25 veces más respiración microbiana sin efectos perjudiciales.

Middleton et al. (2025) realizaron ensayos de campo mostrando que bacterias del frass de BSF se encontraron enriquecidas en raíces y suelo de parcelas tratadas, sugiriendo que el frass actúa como inóculo de bacterias específicas. Las bacterias encontradas incluyen *Bacillus*, *Pseudomonas*, *Lysobacter*, *Sphingomonas* y *Methylobacterium*, muchos de los cuales son PGPR (promotoras del crecimiento vegetal) reconocidas.

Tabla 7-Comunidades microbianas beneficiosas en el frass de insectos.

Género bacteriano	Función beneficiosa	Presente en frass <i>T. molitor</i>	Presente en frass <i>H. illucens</i>	Referencia
<b><i>Bacillus</i> spp.</b>	PGPR, producción de enzimas, biocontrol	Sí	Sí	Franco et al., 2024
<b><i>Pseudomonas</i> spp.</b>	Solubilización P, sideróforos	Sí	Sí	Van de Zande et al., 2023
<b><i>Streptomyces</i> spp.</b>	Quitinolítico, antibióticos naturales	Sí	Sí	Barragán-Fonseca et al., 2022
<b><i>Lysobacter</i> spp.</b>	Antifúngico, quitinolítico	Parcial	Sí	Franco et al., 2024
<b><i>Sphingomonas</i> spp.</b>	Degradación de compuestos orgánicos	Parcial	Sí	Wang et al., 2022
<b><i>Trichoderma</i> spp.</b>	Biocontrol de hongos patógenos	Sí	Sí	Barragán-Fonseca et al., 2022



Género bacteriano	Función beneficiosa	Presente en frass <i>T. molitor</i>	Presente en frass <i>H. illucens</i>	Referencia
<b>Methylobacterium spp.</b>	Fijación de N, producción fitohormonas	Parcial	Sí	Franco et al., 2024
<b>Mortierella spp.</b>	Solubilización P, biocontrol	Parcial	Sí	Wang et al., 2022



## 4. EVALUACIÓN DE SDRs DEL PP12 COMO SUSTRATOS PARA PRODUCCIÓN DE FRASS.

### 4.1 Residuos de almazara (alperujo, orujillo, orujo graso seco).

Los residuos de la industria del aceite de oliva constituyen uno de los flujos de residuos más voluminosos de España.

El orujo graso seco y el orujillo presentan alto contenido en fibras lignocelulósicas y polifenoles (especialmente oleuropeína), que pueden inhibir el crecimiento larval.

Picco et al. (2025) evaluaron el crecimiento de larvas de BSF en orujo de oliva vs. bagazo de cervecería, mostrando que las larvas en orujo acumularon mayores niveles lipídicos, aunque con índices de crecimiento más bajos. La tasa de bioconversión mejora con la sustitución parcial.

Lillebø et al. (2023) demostraron que el orujo de oliva puede ser biotransformado por BSF para producir comidas de insectos con composición ajustable, aunque la supervivencia larvaria no fue óptima con orujo puro.

Antonopoulou et al. (2022) encontraron que los residuos olivícolas son subóptimos para *T. molitor* en monodieta, pero pueden incorporarse en mezclas.

Conclusión para PP12: el orujillo (FAD ~31%) y el orujo graso seco (FAD ~29%) son sustratos de bajo potencial en monodieta, pero pueden usarse en mezclas (hasta 20-30%) para diluir sustratos de mayor calidad. Se recomienda pretratamiento (hidratación, fermentación superficial) para aumentar digestibilidad.

### 4.2 Micelio biomasa fúngica (HIFAS).

El micelio biomasa agotado de HIFAS da Terra presenta un perfil singular: FAD extremadamente alto (40,05%), fibra dietética del 52,1% y proteína baja (5,9%). Es un material muy fibroso y seco (humedad 4,99%) rico en quitina fúngica ( $\beta$ -1,4-glucosamina), que puede aportar un valor adicional al frass resultante.

La quitina fúngica del micelio complementa la quitina de insecto, potenciando las propiedades bioestimulantes del frass. No existen estudios específicos publicados con micelio agotado de *Ganoderma* o *Hericium* como sustrato para insectos, lo que constituye una línea de investigación original del PP12.

Se recomienda su uso en mezclas con sustratos cerealistas (salvado de arroz, harina zootécnica) en proporción no superior al 20-25% para *T. molitor* y hasta 30-35% para *H. illucens*, dada la mayor versatilidad digestiva de las larvas de BSF.

### 4.3 Residuos cítricos (bagazo de mandarina, bagazo de naranja).

El bagazo cítrico presenta alta humedad (49-89%), alto contenido en azúcares solubles y pectina, pero bajo contenido proteico y alto contenido en flavonoides (naringenina, hesperidina) que pueden tener efectos antinutritivos. Scieuzo et al. (2022) evaluaron la bioconversión de subproductos de mandarina y naranja por larvas de BSF, mostrando crecimiento satisfactorio aunque la mandarina fue menos favorable que otros sustratos frutícolas. Palma et al. (2020) evaluaron las características fertilizantes

del frass de BSF producido con frutas desechadas de mercado, obteniendo frass con altos niveles de amonio (3.800 mg NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N/kg) y fósforo (2.800 mg P/kg).

El bagazo de mandarina de AGRICONSA (88,81% humedad, 1,31% proteína) tiene potencial limitado como sustrato único, pero aporta azúcares y humedad valiosos para mezclas. El bagazo de naranja (49,6% humedad, 4,11% proteína) presenta mejor perfil. Se recomienda su incorporación en mezclas como fuente de humedad y energía rápida.

#### 4.4 Subproductos lácteos (aguas ácidas, muestras blancas).

Las aguas ácidas de INNOLACT (95,1% humedad, 0,17% proteína) y las muestras blancas (99,8% humedad, proteína <0,01%) presentan contenido nutricional prácticamente nulo. Su aportación como sustrato es marginal, limitándose a su función como fuente de humedad para mezclas con SDRs secos.

El suero ácido aporta lactosa y trazas de minerales. No se recomienda su uso como sustrato principal, sino exclusivamente como humectante en formulaciones de mezcla.

#### 4.5 Hojas caídas de cultivos frutales.

Las hojas caídas de kiwi, caqui, aguacate, mandarina y vid de Valenciana de Gestión Agraria presentan alta humedad (67-86%) y composición variable. Las hojas de aguacate destacan por su mayor proteína (16,9%) pero contienen compuestos fenólicos potencialmente antinutritivos (persina). Las hojas de caqui presentan taninos que pueden reducir palatabilidad. Las hojas de vid son las más pobres (85,8% humedad, 2,25% proteína). En general, las hojas caídas constituyen sustratos de calidad media-baja para insecticultura, pero su abundancia estacional y bajo coste los hacen interesantes como componentes de mezcla (10-20% del sustrato).

#### 4.6 Formulación de mezclas optimizadas de SDRs.

La formulación óptima de sustratos para la producción de frass de calidad debe equilibrar el aporte de macronutrientes (proteína, energía), la proporción de fibra, la humedad, y la ausencia de niveles tóxicos de compuestos antinutricionales. A continuación se proponen mezclas optimizadas para cada especie de insecto.

Tabla 8-Aptitud de SDRs del PP12 como sustratos para producción de frass.

SDR	Aptitud T. <i>molitor</i>	Aptitud H. <i>illucens</i>	Proporción máx. recomendada	Limitante principal
Salvado arroz	Excelente	Excelente	60-80%	Coste (tiene valor como pienso)
Harina zootécnica	Buena	Buena	40-60%	Valor como ingrediente de pienso
Micelio biomasa	Baja-Media	Media	20-25% (Tm) / 30-35% (Hi)	FAD muy alto (40%)
Alperujo	Baja	Media	15-20%	Polifenoles, humedad alta
Orujillo	Baja	Media	15-25%	FAD alto (31%), polifenoles
Orujo graso seco	Baja	Media	15-25%	FAD alto (29%)



SDR	Aptitud T. <i>molitor</i>	Aptitud H. <i>illucens</i>	Proporción máx. recomendada	Limitante principal
Bagazo mandarina	Baja	Baja-Media	10-20%	Humedad 89%, proteína 1,3%
Bagazo naranja	Baja-Media	Media	15-25%	Flavonoides
Aguas ácidas	Muy Baja	Muy Baja	5-10% (humectante)	Sin nutrientes (95% agua)
Muestras blancas	Nula	Nula	0-5% (diluyente)	Sin nutrientes (99,8% agua)
Hojas kiwi	Baja	Media	10-20%	Humedad, fibra
Hojas caqui	Baja	Media	10-20%	Taninos
Hojas aguacate	Baja	Media	10-15%	Persina, fenólicos
Hoja vid	Muy Baja	Baja	5-10%	Muy pobre nutricionalmente
Hojas mandarina	Baja	Media	10-20%	Fibra, flavonoides

Tabla 9-Mezclas de sustrato recomendadas para *T. molitor*.

Mezcla	Composición	Proteína estimada	Humedad estimada	Calidad frass esperada
TM-1 (Referencia)	70% salvado arroz + 20% micelio + 10% bagazo naranja	12-13%	15-20%	Alta
TM-2 (Olivar)	60% harina zootécnica + 25% orujillo + 15% bagazo mandarina	8-9%	20-25%	Media-Alta
TM-3 (Hojas)	50% salvado arroz + 20% hojas caqui + 15% micelio + 15% hojas aguacate	12-14%	35-40%	Media
TM-4 (Mixta)	40% salvado arroz + 20% harina zootécnica + 20% orujillo + 10% micelio + 10% bagazo naranja	10-11%	15-20%	Alta

Tabla 10-Mezclas de sustrato recomendadas para *H. illucens*.

Mezcla	Composición	Proteína estimada	Humedad estimada	Calidad frass esperada
HI-1 (Referencia)	50% salvado arroz + 25% micelio + 15% alperujo + 10% aguas ácidas	10-12%	35-40%	Alta
HI-2 (Olivar-Cítricos)	40% harina zootécnica + 25% orujillo + 20% bagazo mandarina + 15% hojas kiwi	7-9%	40-50%	Media
HI-3 (Hojas)	40% salvado arroz + 15% hojas aguacate + 15% hojas caqui + 15% micelio + 10% hojas mandarina + 5% aguas ácidas	12-14%	45-55%	Media-Alta



Mezcla	Composición	Proteína estimada	Humedad estimada	Calidad frass esperada
<b>HI-4 (Máxima valorización SDRs)</b>	30% harina zootécnica + 20% micelio + 15% orujillo + 15% bagazo mandarina + 10% hojas vid + 10% aguas ácidas	6-8%	40-50%	Media

## 5. EFECTO DEL SUSTRATO SOBRE LA COMPOSICIÓN DEL FRASS.

### 5.1 Relación sustrato-frass: cómo el SDR determina el NPK.

La composición del frass refleja directamente la composición del sustrato de cría, modulada por la eficiencia de bioconversión del insecto. Los sustratos proteicos generan frass más rico en N, mientras que los sustratos ricos en fibra generan frass con mayor C/N y menor disponibilidad inmediata de nutrientes. Franco et al. (2024) demostraron que la composición de macronutrientes, pH, conductividad eléctrica, contenido en materia orgánica y proporción de materia seca del frass de *H. illucens* dependen fuertemente del sustrato de alimentación larval.

Palma et al. (2020) evaluaron el frass de BSF producido con frutas desechadas, obteniendo frass con altos niveles de amonio (3.800 mg  $\text{NH}_4^+\text{-N/kg}$ ) y fósforo (2.800 mg P/kg). Mazza et al. (2023) estudiaron combinaciones de residuos de mercado y establecieron correlaciones claras entre la composición del sustrato y la composición del frass. Beesigamukama et al. (2020) compararon frass de BSF producido con cinco sustratos orgánicos diferentes, concluyendo que el frass es un recurso eficaz para mejorar el crecimiento y rendimiento de los cultivos, con la calidad nutricional directamente proporcional al sustrato.

### 5.2 Sustratos fibrosos y su efecto sobre el frass.

Los sustratos con alto contenido en fibra (FAD >25%), como el micelio biomasa, orujillo y orujo seco del PP12, generan frass con características específicas: mayor relación C/N (15-20 vs. 8-12 con cerealistas), mayor proporción de materia orgánica estable (humus-like), menor N mineral inmediatamente disponible pero mayor capacidad de liberación sostenida, y potencialmente mayor estabilidad estructural del suelo tras la aplicación. Este perfil es complementario al del frass de sustrato cerealista y puede ser ventajoso para aplicaciones de enmienda orgánica de larga duración.

### 5.3 Optimización de mezclas para maximizar valor fertilizante.

La estrategia óptima consiste en formular mezclas que equilibren sustratos de alto valor nutricional (salvado de arroz, harina zootécnica) con SDRs de bajo valor (micelio, orujillo, bagazo), maximizando la proporción de SDRs de bajo valor sin comprometer la productividad larvaria ni la calidad del frass. Los ensayos de Carroll et al. (2023) con HexaFrass™ demuestran que incluso frass de composición moderada produce incrementos significativos en el crecimiento de cuatro cereales (trigo, cebada, avena, centeno) y mayores concentraciones de NPK foliares.

Se recomienda un enfoque de formulación basado en objetivos nutricionales mínimos para el frass: N total >2% MS,  $\text{P}_2\text{O}_5$  >1% MS,  $\text{K}_2\text{O}$  >0,8% MS, materia orgánica >50% MS, y quitina >2% MS. Estos objetivos son alcanzables con mezclas que incluyan 40-60% de SDRs de bajo valor combinados con 40-60% de sustratos cerealistas.



## 6. EVALUACIÓN AGRONÓMICA DEL FRASS COMO BIOFERTILIZANTE.

### 6.1 Ensayos en cultivos hortícolas.

La evidencia agronómica del frass de insectos en cultivos hortícolas es robusta y creciente. Di Cuia et al. (2026) evaluaron diferentes concentraciones (25-100%) de frass de *T. molitor* y *H. illucens* como sustitutos de la turba en microgreens, encontrando que el frass de *H. illucens* no afectó negativamente la producción y enriqueció el contenido de hierro. Karkanis et al. (2024) demostraron que el frass de *T. molitor* a 14.000 kg/ha (2% p/p) produjo resultados comparables al nitrato amónico cálcico (CAN) a 100 kg N/ha en verduras de hoja.

Kagehi et al. (2025) evaluaron formulaciones de frass de BSF sobre brócoli, mostrando incrementos del 28-158% en número de cabezas, 26-138% en rendimiento fresco y 7-117% en biomasa aérea en comparación con fertilizante orgánico comercial. Los tratamientos con frass enriquecido con quitina exhibieron los mayores niveles de proteína cruda, K, cenizas y P. La renta neta con frass fue 19-26 veces superior a la obtenida con fertilizante orgánico comercial.

Borkent y Hodge (2021) evaluaron HexaFrass™ en invernadero con verduras y hierbas aromáticas, mostrando incrementos del 25% en peso seco. Abiya et al. (2022) demostraron que el frass de BSF con riego diario produjo pesos frescos 14-69% superiores al NPK para kale y 16-81% para acelga, con la menor infestación de plagas registrada.

Tabla 11-Resultados agronómicos del frass en cultivos hortícolas.

Cultivo	Tipo frass	Dosis	Incremento vs. control	Comparación con convencional	Referencia
Microgreens (mizuna)	<i>H. illucens</i>	25-100% sustrato	Sin efecto negativo; +Fe	Comparable a turba	Di Cuia et al., 2026
Verduras de hoja	<i>T. molitor</i>	14.000 kg/ha	Significativo	Comparable a CAN 100 kgN/ha	Karkanis et al., 2024
Brócoli	<i>H. illucens</i> + quitina	250 kg N/ha eq.	+28-158% cabezas	19-26x renta neta vs. Safi	Kagehi et al., 2025
Verduras y hierbas	<i>H. illucens</i> (HexaFrass)	Variable	+25% peso seco	Similar a estiércol de pollo	Borkent y Hodge, 2021
Kale	<i>H. illucens</i>	100% BSFFF	+14-69% peso fresco	Superior a NPK	Abiya et al., 2022
Acelga	<i>H. illucens</i>	100% BSFFF	+16-81% peso fresco	Superior a NPK	Abiya et al., 2022
Espinacas	<i>H. illucens</i> + quitina	ChFE extractos	+54-74% raíz; +39-58% brote	~nematicida comercial	Kisaakye et al., 2024

### 6.2 Ensayos en cereales y leguminosas.

Mutyambai et al. (2025) demostraron en maíz que el frass de BSF produjo +30% de crecimiento, mayor clorofila y rendimientos 0,93-2,86 t/ha superiores a fertilizantes sintéticos (DAP y CAN). Solofondranohatra et al. (2025) mostraron que el frass de BSF compostado produjo un 38% más de grano que el estiércol vacuno, con la eficiencia agronómica del nitrógeno más alta (AEN: 46 kg



grano/kg N). Silin (2026) evaluó frass de BSF en maíz glutinoso, obteniendo el mayor retorno sobre la inversión (305,21%) con NPK reducido + frass.

Carroll et al. (2023) evaluaron HexaFrass™ con trigo, cebada, avena y centeno, mostrando incrementos significativos en crecimiento de brotes y mayores concentraciones de NPK foliares. Tenkouano et al. (2024) demostraron rendimientos y tasas de fijación biológica de nitrógeno superiores en judía arbustiva con frass de BSF vs. fertilizantes convencionales. Ashworth et al. (2025) evaluaron frass en soja y switchgrass, mostrando +7% P en grano y +25% K en switchgrass.

Tabla 12-Resultados agronómicos del frass en cereales y leguminosas.

Cultivo	Tipo frass	Dosis	Resultado principal	Referencia
Maíz	<i>H. illucens</i>	Variable	+30% crecimiento; +0,93-2,86 t/ha	Mutyambai et al., 2025
Maíz	<i>H. illucens</i> compostado	43 kg N/ha	+38% grano vs. estiércol; AEN 46 kg/kg N	Solofondranohatra et al., 2025
Maíz glutinoso	<i>H. illucens</i>	NPK reducido + frass	ROI 305,21%; pH de 4,61 a 6,87-7,51	Silin, 2026
Trigo, cebada, avena, centeno	<i>H. illucens</i> (HexaFrass)	Baja	+significativo brotes; +NPK foliar	Carroll et al., 2023
Judía arbustiva	<i>H. illucens</i>	Variable	+rendimiento y BNF vs. convencional	Tenkouano et al., 2024
Soja	<i>H. illucens</i>	5,6-11,2 Mg/ha	+7% P grano; -35-48% daño herbívoros	Ashworth et al., 2025; Amorim et al., 2025
Switchgrass	<i>H. illucens</i>	11,2 Mg/ha	+25% K; eficiencia nutrientes 2-4x	Ashworth et al., 2025

### 6.3 Efecto sobre germinación y crecimiento.

Los ensayos de germinación muestran resultados diferenciados por especie. Tanga et al. (2022) realizaron el primer estudio comparativo del frass de nueve especies de insectos, mostrando que el frass de BSF presentó los índices de germinación más altos (>90% y hasta 267% frente a controles). El frass de *T. molitor* mostró índices de germinación más bajos (%IG <30 en concentraciones altas), indicando fitotoxicidad. Van Loon et al. (2024) mostraron que la incubación del frass de *T. molitor* durante 16 días antes de la siembra eliminó la inhibición del crecimiento e incrementó el área foliar.

## 6.4 Dosis óptimas de aplicación.

Tabla 13-Dosis óptimas de frass por cultivo.

Cultivo	Especie insecto	Dosis óptima	Equivalencia N	Observaciones
Hortícolas de hoja	<i>T. molitor</i>	7.000-14.000 kg/ha	70-140 kg N/ha	Comparable a CAN; ajustar según análisis suelo
Brócoli / coles	<i>H. illucens</i>	250 kg N/ha eq.	250 kg N/ha	Máximo rendimiento con quitina añadida
Maíz	<i>H. illucens</i>	5,6-11,2 Mg/ha	60-120 kg N/ha	Tasa baja = mejor eficiencia por unidad N.
Cereales (trigo, cebada)	<i>H. illucens</i>	Baja (1-3 Mg/ha)	20-60 kg N/ha	Respuesta significativa incluso a dosis bajas.
Leguminosas (judía)	<i>H. illucens</i>	Variable	30-80 kg N/ha	Mejora BNF; dosis moderadas suficientes.
Macetas/sustrato	<i>T. molitor</i>	≤3% p/p	—	Inhibición germinación >3%; incubar 16 días.
General (enmienda suelo)	Ambas	2,5-10 Mg/ha	25-100 kg N/ha	Ajustar según análisis suelo y cultivo.

## 6.5 Fitotoxicidad y precauciones.

El riesgo de fitotoxicidad del frass de *T. molitor* es mayor que el de *H. illucens* a igual dosis.

Los factores que la explican incluyen alta conductividad eléctrica (CE), elevado carbono orgánico disuelto (COD) lábil y determinados compuestos nitrogenados. L

as estrategias de mitigación incluyen: dilución del frass con suelo o compost, compostaje o incubación previa del frass (16 días mínimo), limitación del porcentaje de *T. molitor* en mezclas, y aplicación de inhibidores de ureasa/nitrificación para modular la liberación de N (Watson et al., 2021). El frass de *H. illucens* presenta menor riesgo de fitotoxicidad y mayor versatilidad de aplicación.



## 7. PROPIEDADES BIOPLAGUICIDAS Y BIOESTIMULANTES DEL FRASS.

### 7.1 Supresión de enfermedades fúngicas.

La capacidad del frass para suprimir patógenos fúngicos edáficos está mediada por la estimulación de microorganismos quitinolíticos. Andreo-Jimenez et al. (2021) demostraron que enmiendas de suelo ricas en quitina y queratina reducen la enfermedad causada por *Rhizoctonia solani* en remolacha azucarera, con comunidades microbianas distintas y mayor abundancia de bacterias supresoras en suelos enmendados. La quitina del frass selecciona activamente microorganismos productores de quitinasas (Actinobacteria, Streptomyces, Bacillus, Lysobacter, Trichoderma) que degradan la pared celular de hongos patógenos.

### 7.2 Control de nematodos.

Kisaakye et al. (2024) evaluaron extractos de frass de BSF enriquecidos en quitina contra *Meloidogyne incognita* en espinacas, mostrando: supresión de eclosión del 42% (vs. 52% con nematicida comercial), mortalidad de juveniles J2 del 95%, supresión de agallas del 85%, y reducción de masas de huevos del 79%.

Mochoge et al. (2024) demostraron reducciones del 32-87% de nematodos del quiste de la papa con frass de BSF enriquecido con 5% de quitina. Estos resultados posicionan al frass como una alternativa biológica a los nematicidas sintéticos.

Tabla 14-Efecto bio-plaguicida del frass de insectos.

Patógeno/Plaga	Tipo de frass	Eficacia	Cultivo ensayado	Referencia
<b>Meloidogyne incognita</b>	BSF + quitina (chFE)	42-95% supresión	Espinaca	Kisaakye et al., 2024
<b>Nematodos quiste papa (PCN)</b>	BSF + 5% quitina	32-87% reducción	Papa	Mochoge et al., 2024
<b>Rhizoctonia solani</b>	Quitina/queratina	Significativa supresión	Remolacha azucarera	Andreo-Jimenez et al., 2021
<b>Fusarium oxysporum</b>	Frass quitinoso	Moderada supresión	Varios	Wang et al., 2022
<b>Spodoptera frugiperda</b>	BSF frass	-35-48% daño foliar	Soja	Amorim et al., 2025
<b>Herbivoría general maíz</b>	BSF frass	Reducción significativa	Maíz	Mutyambai et al., 2025

### 7.3 Efecto bioestimulante de la quitina.

La quitina del frass actúa como PAMP (Pathogen-Associated Molecular Pattern), reconocida por receptores tipo CERK1 en las plantas, activando cascadas de señalización de defensa (JAZ/JA, SA).

Mutyambai et al. (2025) demostraron en maíz que la enmienda con frass de BSF activó la expresión de tres genes de defensa clave: pr-5 (pathogenesis related protein 5), mpi (maize proteinase



inhibitors) y lox-3 (lipoxygenase 3). Las plantas mostraron un 30% más de crecimiento, mayor clorofila y un 48% mejor eficiencia en el uso del nitrógeno comparado con fertilizantes sintéticos.

#### 7.4 Inducción de defensas en plantas (ISR/SAR).

La inducción de resistencia sistémica por quitina sigue dos vías complementarias: la ruta JAZ/JA (ácido jasmónico) para resistencia contra herbívoros e insectos, y la ruta SA (ácido salicílico) para resistencia contra patógenos.

Esta capacidad dual convierte al frass en un bioestimulante/bio-plaguicida natural y dual, regulado en la UE como componente de bioestimulantes (Reglamento 2019/1009/UE). Los oligómeros de N-acetilglucosamina producidos por la degradación microbiana de la quitina sirven como señales moleculares tanto para activar la ISR como para suprimir patógenos fúngicos directamente.

Amorim et al. (2025) ilustraron por primera vez en condiciones de campo cómo el frass de BSF a alta tasa redujo el daño por insectos herbívoros en soja en un 35-48% comparado con controles y cama de pollos, vinculando este efecto a la presencia de quitina.

Ashworth et al. (2024) confirmaron que el frass de *T. molitor* presenta ratios C/N óptimos y concentraciones de metales pesados prácticamente ausentes, haciéndolo seguro para aplicaciones repetidas.

## 8. PROCESAMIENTO Y FORMULACIÓN DE BIOFERTILIZANTES.

### 8.1 Secado y estabilización.

El tratamiento térmico a 70°C durante 1 hora es obligatorio según el Reglamento (UE) 2021/1925 para la comercialización del frass. Este tratamiento, además de cumplir requisitos sanitarios (eliminación de Salmonella, reducción de Enterobacteriaceae), contribuye al secado parcial del material. El secado posterior hasta un contenido de humedad <15% es recomendable para la estabilización y conservación del producto. Praeg y Klamsteiner (2024) demostraron que la pasteurización no afecta significativamente la diversidad microbiana alfa del frass, y que la aplicación al suelo reactiva la actividad microbiana.

### 8.2 Peletización y granulación.

La peletización del frass mejora su manejabilidad, facilita la dosificación y reduce los costes de transporte. Los pellets de frass tienen mayor densidad aparente, menor tendencia a la segregación y mejor comportamiento en equipos de aplicación mecanizada. El coste adicional de peletización se estima en 30-50 €/t. Productos como MCBIO "Extra Frass" en pellets ya se comercializan en España como abono 100% orgánico con propiedades bioestimulantes.

*Tabla 15-Métodos de procesamiento del frass.*

Método	Temperatura	Duración	Objetivo	Coste estimado (€/t)	Obligatorio
<b>Tratamiento térmico</b>	70°C	1 hora	Higienización (Reg. 2021/1925)	10-20	Sí (UE)
<b>Secado hasta &lt;15% humedad</b>	60-80°C	4-12 horas	Estabilización y conservación	15-30	Recomendado
<b>Peletización</b>	Ambiente	Continuo	Manejabilidad y dosificación	30-50	No
<b>Granulación</b>	Ambiente	Continuo	Formulaciones premium	40-60	No
<b>Compostaje previo</b>	Termófilo (60-70°C)	2-4 semanas	Maduración y reducción fitotoxicidad	10-20	Recomendado para Tm
<b>Tamizado</b>	Ambiente	Continuo	Separación de exuvias/fracciones	5-10	Opcional

### 8.3 Extracción de quitina/quitosano.

Las exuvias separadas del frass constituyen una fuente de quitina de insecto de alta calidad. La extracción puede realizarse mediante métodos químicos convencionales (desproteínización alcalina + desmineralización ácida) o métodos biotecnológicos (desacetilación enzimática). El proyecto FERTINSECT (Galínsect + CETIM, 2024-2026) desarrolla la obtención biotecnológica de quitosano a partir de exoesqueletos de insectos. La quitina/quitosano extraída tiene valor de mercado de 500-2.000 €/t y aplicaciones en bioestimulantes, recubrimiento de semillas, biopesticidas y biomedicina.



#### 8.4 Formulación de productos comerciales

Las formulaciones comerciales de frass incluyen: frass a granel (húmedo o seco) como enmienda orgánica directa, frass peletizado como fertilizante NPK orgánico, extractos líquidos de frass para fertirrigación, frass enriquecido con quitina/quitosano como bioestimulante premium, y mezclas de frass con otros biofertilizantes (micorrizas, Trichoderma, Bacillus).

Cada formato tiene un segmento de mercado específico y un rango de precios diferenciado.

#### 8.5 Combinación con otros biofertilizantes.

La combinación del frass con otros biofertilizantes potencia sinergias: las micorrizas arbusculares mejoran la absorción de P facilitada por el frass, los inoculantes de Trichoderma complementan la acción antifúngica de la quitina, y los inoculantes de Bacillus refuerzan la solubilización de nutrientes.

Castillo et al. (2026) establecen que una mezcla de frass y vermicompost optimiza tanto la disponibilidad inmediata como la liberación sostenida de nutrientes.

#### 8.6 Biochar a partir de frass.

La pirólisis del frass genera biochar con alta capacidad de retención de agua, capacidad de intercambio catiónico elevada, y efecto secuestrante de carbono a largo plazo.

Nurfikari et al. (2023) demostraron que el biochar de frass de BSF incrementó el rendimiento de lechuga en un 79% y fue más eficaz que el biochar de madera en la retención del N mineral y la reducción de emisiones de N<sub>2</sub>O.

El biochar de frass reduce la fitotoxicidad asociada al frass fresco y prolonga la liberación de nutrientes, representando una línea de producto de alto valor añadido.



## 9. MARCO REGULATORIO EUROPEO Y ESPAÑOL.

### 9.1 Reglamento (UE) 2019/1009 sobre productos fertilizantes.

El Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, entró en plena aplicación el 16 de julio de 2022, derogando el anterior Reglamento (CE) 2003/2003. Constituye la piedra angular del mercado único europeo de fertilizantes.

El sistema de categorías define las CFP (Categoría Funcional del Producto) y las CMC (Categoría de Material Componente). Las categorías funcionales relevantes para el frass son PFC 3 (enmienda orgánica del suelo) y PFC 6 (fertilizante orgánico de origen animal).

Las CMC actuales (CMC 1-15) no incluyen explícitamente el frass de insectos. IPIFF trabaja activamente para su inclusión bajo CMC 10 (materiales derivados de animales), lo cual permitiría la libre circulación en el mercado único europeo. Los límites de contaminantes relevantes incluyen: Cd  $\leq 3$  mg/kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, Pb  $\leq 120$  mg/kg MS, Cr (VI)  $\leq 2$  mg/kg MS, Hg  $\leq 1$  mg/kg MS, As  $\leq 40$  mg/kg MS, Ni  $\leq 50$  mg/kg MS.

### 9.2 Categorías de materiales componentes (CMC) y frass.

La inclusión del frass bajo una CMC del Reglamento (UE) 2019/1009 es la vía principal para lograr la libre circulación del producto en el mercado único europeo. IPIFF propone la inclusión bajo CMC 10, que abarca materiales derivados de animales.

EBIC (European Biostimulants Industry Council) solicita adicionalmente el reconocimiento de las propiedades bioestimulantes del frass. El proyecto RECOVER (Horizonte Europa, ID 887648) ha impulsado la abogacía por definiciones más claras y requisitos específicos para el frass.

### 9.3 Reglamento (CE) 1069/2009 (SANDACH) y frass.

El Reglamento SANDACH establece las normas sanitarias aplicables a subproductos animales no destinados al consumo humano. Antes de 2021, el frass no estaba legalmente definido y su estatus era incierto.

La reforma de 2021 (Reglamento UE 2021/1925) introdujo la primera definición legal del frass como "una mezcla de excrementos procedentes de insectos criados, el sustrato de alimentación, partes de insectos criados, huevos muertos y con un contenido de insectos criados muertos no superior al 5% en volumen y al 3% en peso".

### 9.4 Reglamento (UE) 2021/1925 (higienización).

El Reglamento (UE) 2021/1925, de 5 de noviembre de 2021, constituye el marco regulatorio específico para el frass. Modificó los Anexos I y XI del Reglamento (UE) 142/2011, alineando los estándares de procesado del frass con los del estiércol animal procesado. Establece el tratamiento térmico a 70°C durante 1 hora como condición para su comercialización. Los estándares microbiológicos exigen



ausencia de Salmonella en 25g y cumplimiento de criterios de Enterococcus y Enterobacteriaceae según estándares de estiércol procesado.

Tabla 16-Cronología regulatoria UE para frass de insectos.

Año	Normativa	Impacto para el frass
2009	Reglamento (CE) 1069/2009 (SANDACH).	Marco general de subproductos animales; frass no definido.
2011	Reglamento (UE) 142/2011.	Requisitos técnicos de implementación del SANDACH.
2018	Reglamento (UE) 2018/848 (producción ecológica).	Marco para uso de fertilizantes en agricultura ecológica.
2019	Reglamento (UE) 2019/1009.	Nuevo marco de productos fertilizantes UE; CMC sin frass.
2021	Reglamento (UE) 2021/1165.	Autoriza frass procesado para agricultura ecológica.
2021	Reglamento (UE) 2021/1925.	Primera definición legal del frass; tratamiento 70°C/1h.
2022	Plena aplicación Reg. 2019/1009.	Entrada en vigor del nuevo sistema de CMC y CFP.
2024	Reglamento Delegado (UE) 2024/...	Modificación Anexos I-III del Reg. 2019/1009; frass aún no incluido en CMC.
2025	Reglamento (UE) 2025/973.	Actualización listas de sustancias autorizadas en ecológico.
2026-2027	Previsión IPIFF.	Posible inclusión del frass en CMC 10; expansión de sustratos permitidos.

Tabla 17-Especies y sustratos autorizados para producción de frass (UE).

Aspecto	Regulación actual	Perspectiva futura (IPIFF)
Especies de insectos	Todas las autorizadas para piensos (8 spp.)	Posible ampliación a más especies.
<i>T. molitor</i>	Autorizado (piensos, novel food).	Plena integración.
<i>H. illucens</i>	Autorizado (piensos).	Plena integración.
Sustratos: materiales vegetales	Permitidos.	Sin cambios.
Sustratos: ex-productos alimentarios	Permitidos.	Sin cambios.
Sustratos: carne y pescado	No permitidos actualmente.	Posible autorización 2026-2027.
Tratamiento térmico	70°C / 1 hora obligatorio.	Posibles alternativas (composting, DA).
Insectos muertos en frass	Máx. 5% vol / 3% peso.	Sin cambios previstos.
Uso en agricultura ecológica	Autorizado (Reg. 2021/1165).	Consolidación.



## 9.5 Normativa Española: RD 506/2013 y modificaciones.

El Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes constituye la normativa básica española. Ha sido modificado por la Orden APA/104/2022, el Real Decreto 529/2023 (corrección de errores y criterios de seguridad), el Real Decreto 1051/2022 (nutrición sostenible en suelos agrarios) y el Real Decreto 840/2024 (facilitación de uso de estiércoles y abonos orgánicos).

Estas modificaciones reflejan una progresiva alineación con el marco europeo y una mayor apertura hacia biofertilizantes de origen novedoso como el frass.

## 9.6 Registro de biofertilizantes en España.

Tabla 18- Requisitos de registro de biofertilizantes en España.

Requisito	Descripción	Autoridad competente
<b>Registro producto fertilizante</b>	Inscripción en el Registro de Productos Fertilizantes.	MAPA / Comunidad Autónoma.
<b>Denominación del tipo</b>	Según Anexo I del RD 506/2013.	MAPA.
<b>Certificado analítico</b>	NPK, materia orgánica, pH, metales pesados, patógenos.	Laboratorio acreditado.
<b>Proceso de fabricación</b>	Descripción detallada del proceso.	Fabricante.
<b>Ficha de datos de seguridad</b>	Según Reglamento REACH (si aplica).	Fabricante.
<b>SANDACH</b>	Cumplimiento RD 1528/2012.	AESAN / CC.AA.
<b>Microorganismos (si aplica)</b>	Secuenciación genómica, toxicología (actualización 2025).	MAPA.
<b>Trazabilidad</b>	Desde sustrato hasta producto final.	Fabricante.

## 9.7 Agricultura ecológica y certificaciones.

El Reglamento de Ejecución (UE) 2021/1165 autoriza explícitamente el frass procesado para uso en agricultura ecológica desde el 1 de enero de 2022.

Las condiciones incluyen: alimentación de los insectos con materiales permitidos en ecológico, ausencia de antibióticos o promotores de crecimiento, procesamiento conforme a especificaciones ecológicas, y trazabilidad completa.

La certificación ecológica del frass requiere garantizar que los SDRs utilizados como sustrato cumplan las condiciones de la producción ecológica, lo que puede limitar el uso de ciertos SDRs industriales pero abre un segmento de mercado premium (+50-100 €/t).



## 10. ANÁLISIS DE MERCADO DE BIOFERTILIZANTES.

### 10.1 Mercado Global y Europeo.

El mercado mundial de biofertilizantes muestra un crecimiento robusto impulsado por la transición hacia agricultura sostenible.

Según Global Market Insights, el mercado global alcanzó 2.310 millones de USD en 2023, con proyección de 4.770 millones para 2032 (CAGR 8,5%).

En Europa, el mercado generó aproximadamente 1.200 millones de USD en 2026 (Mordor Intelligence), con una proyección de 1.670 millones para 2031 (CAGR 6,6%).

La producción europea alcanzó 3,8 millones de toneladas métricas en 2024, representando el 26% del volumen global. Francia, Alemania, España e Italia concentran el 72% del volumen europeo.

Tabla 19-Tamaño de mercado de biofertilizantes por región.

Región	Valor 2023-2024 (M USD)	Proyección (M USD)	CAGR	Fuente
Global	2.310 (2023)	4.770 (2032)	8,5%	Global Market Insights.
Global	4.242 (2024)	8.766 (2033)	8,4%	marketgrowthreports.com
Europa	450 (2024)	1.540 (2033)	13,05%	Market Data Forecast.
Europa	349,8 (2023)	789,5 (2030)	12,3%	Grand View Research.
Europa	1.220 (2026)	1.670 (2031)	6,6%	Mordor Intelligence.
Frass fertilizante (global)	97 (2024)	139 (2030)	6,13%	TechSci Research.
Frass fertilizante (global)	1.800 (2025)	5.600 (2034)	13,5%	Dataintelo.

Los impulsores clave del mercado incluyen: la **Estrategia Farm to Fork** (objetivo 25% agricultura ecológica para 2030 y 20% reducción de fertilizantes), la PAC 2023-2027 con eco-esquemas (25% de pagos directos), la crisis de fertilizantes de 2022 por el conflicto Rusia-Ucrania, y los precios elevados de fertilizantes minerales (urea ~293 USD/t, DAP ~577 USD/t según FAO, septiembre 2024).

### 10.2 Segmento de frass de insectos.

El mercado global de frass fertilizante alcanzó aproximadamente 97 millones de USD en 2024 (TechSci Research), con proyección de 139 millones para 2030 (CAGR 6,13%).

Estimaciones más amplias (Dataintelo) sitúan el mercado en 1.800 millones de USD para 2025, con proyección de 5.600 millones para 2034 (CAGR 13,5%), aunque estas cifras incluyen todos los fertilizantes basados en insectos.

El mercado europeo de BSF consume 120.000 toneladas en 2024, con proyección de 500.568 toneladas para 2033 (CAGR 16,6%).



### 10.3 Principales productores europeos.

Tabla 20-Productores europeos de frass.

Empresa	País	Especie	Producto frass	Características
InnovaFeed	Francia	<i>H. illucens</i>	Hilucia™ Frass	Líder mundial BSF; alianza Agryco
Protix	Países Bajos	<i>H. illucens</i>	Frass for plant care	Líder europeo BSF
Ynsect	Francia	<i>T. molitor</i>	Ynfrass™	Rico en NPK; dificultades financieras 2024
HiProMine	Polonia	<i>T. molitor</i>	Co-producto comercial	Producción de proteína + frass
Entocycle	UK	<i>H. illucens</i>	Frass comercial	BSF para biorresiduos urbanos
Protiberia	España	<i>T. molitor</i>	Co-producto	Proteína baja en carbono
InsecFrass/Insectropia	España	<i>T. molitor</i>	Frass 100% natural	Fertilizante orgánico NPK
Insectius	España	<i>H. illucens</i>	Frass orgánico	NPK 3-3-3; 150 €/t
MCBIO	España	Insectos	Extra Frass (pellets)	Abono orgánico bioestimulante
Galinsect + CETIM	España	Insectos	Proyecto FERTINSECT	Quitosano de exoesqueletos

### 10.4 Precios y segmentos de clientes.

Tabla 21-Precios de mercado del frass en Europa.

Formato	Precio Europa (€/t)	Precio España (€/t)	Segmento de cliente
A granel, húmedo (30-50% hum.)	80–150	80–150	Grandes explotaciones, cooperativas.
A granel, seco (<15% hum.)	200–400	150–300	Agricultura extensiva, distribuidores.
Envasado (5-25 kg).	600–1.200	~600	Pequeñas explotaciones, jardinería profesional.
Retail (1-10 kg).	~1.538 (media UE)	Variable	Jardinería doméstica, cannabis legal.
Retail premium (UK).	~12.305	—	Nicho premium, cannabis.
Comparación: Urea (46-0-0).	~270	~270	Referencia mineral.
Comparación: DAP (18-46-0).	~530	~530	Referencia mineral.
Comparación: Compost.	15–50	15–50	Referencia orgánica.
Comparación: Humus de lombriz.	200–600	200–600	Referencia orgánica premium.



### 10.5 Demanda en España y en Comunidad Valenciana.

España presenta la proyección de expansión más rápida entre los países europeos relevantes para biofertilizantes (CAGR 9,95% hasta 2031).

Las ventas de fertilizantes inorgánicos alcanzaron 4.427.336 toneladas en 2024 (+17,3% vs. 2023). Comunidad Valenciana es una región con fuerte componente de viticultura, olivicultura y horticultura extensiva, sectores altamente receptivos a biofertilizantes.

La demanda potencial se centra en viñedos, frutales cítricos, cultivos hortícolas, y menor en cereales aunque con especial interés en las explotaciones en transición a producción ecológica bajo los esquemas de la PAC 2023-2027.



## 11. VIABILIDAD ECONÓMICA.

### 11.1 Estructura de costes de producción de frass.

El frass no tiene coste de producción adicional significativo cuando es co-producto de la cría de insectos para proteína.

Los costes adicionales corresponden a: recolección y tamizado, tratamiento térmico (70°C/1h), secado y peletización, análisis de calidad, certificación, almacenamiento y logística. La ratio de producción de frass es de 10-34 toneladas por cada tonelada de biomasa larvaria de BSF, representando típicamente el 40-70% del peso seco del sustrato procesado.

Tabla 22- Estructura de costes operacionales para producción de frass.

Concepto de coste	Coste estimado (€/t frass)	Porcentaje del coste total	Observaciones
Recolección y tamizado	5–10	8–12%	Automatizable en planta industrial.
Tratamiento térmico (70°C/1h)	10–20	15–20%	Obligatorio (Reg. 2021/1925).
Secado hasta <15% humedad	15–30	20–25%	Coste energético principal.
Peletización (opcional)	30–50	25–35%	Mejora manejabilidad y valor comercial.
Análisis de calidad	2–5	3–5%	Amortizado en volumen.
Certificación y registro	1–3	1–3%	Amortizado anualmente.
Almacenamiento	3–8	4–8%	Instalaciones secas y ventiladas.
Logística y transporte	10–25	12–20%	Variable según distancia.
<b>TOTAL (sin peletizar)</b>	<b>46–101</b>	<b>100%</b>	Frass seco a granel.
<b>TOTAL (peletizado)</b>	<b>76–151</b>	<b>100%</b>	Frass peletizado.

### 11.2 Modelo de negocio: frass como coproducto.

El modelo de negocio de aprovechamiento del frass se fundamenta en un triple flujo de ingresos:

- (1) venta de biomasa larvaria para proteína y grasa (producto principal, 1.800-2.600 USD/t),
- (2) venta de frass como biofertilizante (coproducto de alto margen, 150-400 €/t), y
- (3) gate fees por recepción y gestión de SDRs (30-80 €/t).

Este triple flujo maximiza la rentabilidad del modelo circular y reduce la dependencia de un solo producto. El frass incrementa la rentabilidad global sin coste de producción marginal significativo.



Tabla 23- Flujos de ingresos del modelo SDR-insectos.

Flujo de ingresos	Escenario conservador	Escenario base	Escenario optimista	Margen bruto estimado
Biomasa larvaria (proteína + grasa)	200.000 €/año	500.000 €/año	1.200.000 €/año	30-45%
Frass biofertilizante	7.500 €/año	40.000 €/año	150.000 €/año	60-80%
Gate fees por gestión SDRs	15.000 €/año	50.000 €/año	100.000 €/año	80-90%
Quitina/quitosano (extracción)	0 €/año	10.000 €/año	50.000 €/año	50-70%
<b>TOTAL INGRESOS</b>	222.500 €/año	600.000 €/año	1.500.000 €/año	—

### 11.3 Análisis Coste-Beneficio SDR → Insectos → Frass.

La valorización de SDRs mediante insecticultura presenta ventajas económicas claras frente a las alternativas convencionales.

Cada tonelada de SDR procesada genera ingresos por frass (150-400 €) y por biomasa (variable según rendimiento), mientras que la alternativa de compostaje directo genera un producto de 15-50 €/t y la incineración o vertedero suponen costes netos.

El gate fee cobrado por la recepción del SDR (30-80 €/t) mejora sustancialmente la viabilidad, especialmente para SDRs de difícil gestión (aguas ácidas, alperujo).

### 11.4 Comparativa con alternativas convencionales de valorización.

Tabla 24-Comparativa económica y ambiental: insecticultura vs. alternativas convencionales.

Criterio	Insecticultura (frass)	Compostaje	Digestión anaerobia	Vermicompostaje	Incineración	Vertedero
Valor del producto (€/t).	150-400	15-50	20-60 (digestato)	200-600	0 (energía)	0
Coste de procesamiento (€/t SDR).	40-80	10-30	30-60	30-50	50-100	30-80
Ingresos adicionales.	Proteína, grasa, gate fees	No	Biogás	No	Electricidad	No
Tiempo de procesamiento.	2-6 semanas	3-6 meses	3-6 semanas	2-4 meses	Horas	Inmediato
Huella CO <sub>2</sub> (kg CO <sub>2</sub> eq/t).	35	111	50-80	70-90	200-400	300-500
Reducción volumen residuo.	70-90%	40-60%	50-70%	40-60%	95%	0%
Calidad agronómica del producto.	Alta (NPK + quitina)	Media	Media-baja	Alta	Nula	Nula



Criterio	Insecticultura (frass)	Compostaje	Digestión anaerobia	Vermicompostaje	Incineración	Vertedero
<b>Propiedad bioestimulante.</b>	Sí (quitina)	No	No	Parcial	No	No
<b>Propiedad bioplaguicida.</b>	Sí (quitina)	No	No	No	No	No
<b>Economía circular (multiprod.).</b>	Alta (3+ productos)	Baja (1 producto)	Media (2)	Baja (1)	Baja	Nula
<b>Escalabilidad industrial.</b>	Alta	Alta	Alta	Media	Alta	Alta
<b>Alineación Green Deal / F2F.</b>	Muy alta	Alta	Alta	Alta	Media	Muy baja

## 12. SOSTENIBILIDAD AMBIENTAL.

### 12.1 ACV del frass vs. fertilizantes convencionales.

El análisis de ciclo de vida (ACV) del frass de insectos demuestra un impacto ambiental significativamente inferior al de los fertilizantes sintéticos.

La huella de carbono del frass es de 0,05 kg CO<sub>2</sub>eq/kg, frente a 1,1-1,7 kg CO<sub>2</sub>eq/kg de fertilizantes NPK sintéticos.

Smetana et al. (2023) calcularon que la producción de frass de BSF genera solo 35 kg CO<sub>2</sub>eq/t frente a 111 kg CO<sub>2</sub>eq/t para compost convencional.

Los indicadores de valoración de reemplazo de fertilizante mineral (MFRV) del frass superan el 150% para fósforo y son comparables para nitrógeno, indicando mayor eficiencia por unidad de nutriente.

Tabla 25- Indicadores ACV del frass vs. fertilizantes sintéticos y orgánicos.

Indicador ambiental	Frass insectos	NPK mineral (15-15-15)	Compost	Vermicompost
Huella de carbono (kg CO <sub>2</sub> eq/t).	35	300–500	111	70–90
Huella de carbono (kg CO <sub>2</sub> eq/kg producto).	0,05	1,1–1,7	0,11	0,07–0,09
Huella hídrica (L/kg producto).	Baja	Media-alta	Media	Media
Energía embebida (MJ/kg).	0,5–1,5	8–15	1–3	1–3
Emisiones de N <sub>2</sub> O (reducción).	Hasta -38% (biochar)	Referencia	Variable	Variable
Eutrofización (kg PO <sub>4</sub> eq/t).	Baja	Alta	Media	Media-baja
Acidificación (kg SO <sub>2</sub> eq/t).	Baja	Alta	Media	Media-baja
Toxicidad terrestre.	Muy baja	Variable	Variable	Baja
MFRV Nitrógeno.	80–100%	100% (referencia)	30–50%	50–70%
MFRV Fósforo.	150–180%	100% (referencia)	—	~82%

### 12.2 Huella de carbono y huella hídrica.

La producción de frass mediante insecticultura presenta una huella de carbono excepcionalmente baja (0,05 kg CO<sub>2</sub>eq/kg) gracias a: bajos requerimientos energéticos del proceso de cría (temperatura ambiente o calor residual), ausencia de proceso Haber-Bosch para fijación de N (responsable del 1-2% de las emisiones globales de CO<sub>2</sub>), captura de carbono orgánico en materia orgánica estable del frass, y reducción de emisiones por evitar vertedero/incineración de SDRs.



La huella hídrica es igualmente reducida, ya que los insectos requieren mínima agua adicional al operar sobre sustratos húmedos.

### 12.3 Reducción de residuos a vertedero.

La bioconversión de SDRs mediante insecticultura reduce el volumen de residuos en un 70-90%. Para los SDRs del PP12, esto implica la transformación de miles de toneladas anuales de subproductos de difícil gestión en productos de valor: proteína de insecto (piensos/alimentación), grasa (oleoquímica) y frass (biofertilizante).

Esta reducción contribuye directamente a los objetivos de la Directiva (UE) 2018/850 de reducción de vertido de residuos biodegradables y a los objetivos del Pacto Verde Europeo.

### 12.4 Contribución a ODS y Green Deal.

Este modelo contribuye directamente a múltiples Objetivos de Desarrollo Sostenible de Naciones Unidas:

- ODS 2 (Hambre Cero: producción sostenible de alimentos),
- ODS 12 (Producción y Consumo Responsables: economía circular, valorización de residuos),
- ODS 13 (Acción por el Clima: reducción de emisiones GEI),
- ODS 15 (Vida de Ecosistemas Terrestres: mejora de la salud del suelo), y
- ODS 9 (Industria, Innovación e Infraestructura).

En el marco del Green Deal europeo, el modelo se alinea con la Estrategia Farm to Fork, la Estrategia de Biodiversidad 2030, el Plan de Acción de Economía Circular y la Misión de Suelos Sanos.

### 12.5 Alineación con Farm to Fork y PAC 2023-2027.

La Estrategia Farm to Fork establece el objetivo de alcanzar el 25% de superficie agrícola en producción ecológica para 2030 y reducir el uso de fertilizantes químicos en un 20%. El frass de insectos certificable para agricultura ecológica responde directamente a ambos objetivos.

La PAC 2023-2027 introduce los eco-esquemas con un 25% de pagos directos destinados a prácticas agroclimáticas, entre las que se incluye el uso de fertilizantes orgánicos y biológicos.

España, como mayor beneficiario de la PAC en términos de superficie, dispone de un mercado particularmente amplio para biofertilizantes como el frass, con un CAGR del 9,95% proyectado hasta 2031.



## 13. PERSPECTIVAS DE FUTURO E I+D+i PARA PROTEINSECTA.

### 13.1 Biofertilizantes de precisión.

La formulación de biofertilizantes de precisión basados en frass, ajustados a las necesidades específicas de cada cultivo, suelo y etapa fenológica, constituye una línea de futuro de alto potencial.

La combinación de análisis de suelo en tiempo real, modelos predictivos de mineralización de nutrientes y mezclas específicas de frass con bioestimulantes permitirá optimizar la eficiencia de uso de nutrientes y reducir las pérdidas por lixiviación.

Los precios potenciales de formulaciones de precisión (400-800 €/t) superan ampliamente los del frass a granel.

### 13.2 Extracción de bioactivos del frass.

El frass contiene una variedad de compuestos bioactivos con potencial de extracción y valorización: quitina/quitosano (bioestimulantes, biopesticidas), péptidos antimicrobianos (AMPs) de origen intestinal de insecto, enzimas digestivas (proteasas, lipasas, celulasas), y ácidos orgánicos (ácido láctico, ácido acético).

La extracción y purificación de estos compuestos puede generar productos de muy alto valor añadido para agricultura, cosmética, biomedicina e industria alimentaria.

### 13.3 Biopesticidas Derivados

El desarrollo de biopesticidas a partir del frass y sus fracciones quitinosas es una línea de I+D+i prioritaria. Los extractos de frass enriquecidos en quitina (chFE) ya han demostrado eficacia comparable a nematocidas comerciales.

La formulación de productos fitosanitarios basados en frass/quitosano para el control de nematodos, hongos patógenos y plagas de insectos constituye una oportunidad de mercado relevante, especialmente en el contexto de restricción progresiva de pesticidas sintéticos en la UE.

### 13.4 Integración con agricultura de precisión.

La integración del frass con tecnologías de agricultura de precisión (sensores de suelo, drones, inteligencia artificial) permite optimizar la aplicación espacio-temporal del biofertilizante.

Los sistemas de aplicación variable (VRA) pueden ajustar la dosis de frass en cada zona del campo según mapas de fertilidad, maximizando la eficiencia y minimizando el impacto ambiental. La colaboración con empresas de agritech representa una oportunidad estratégica para VALENCIANA DE GESTIÓN AGRARIA, S.L. o PROTEINSECTA, S.L. socios en este PP12.

### 13.5 Biorremediación de suelos.

El frass presenta potencial para la biorremediación de suelos degradados, salinos o contaminados. La materia orgánica del frass mejora la estructura del suelo, la capacidad de retención de agua y la actividad microbiana.

La quitina estimula microorganismos capaces de degradar contaminantes orgánicos y secuestrar metales pesados. Los suelos calcáreos, con tendencia a la salinización y baja materia orgánica, son candidatos ideales para enmiendas con frass.

### 13.6 Proyectos europeos relevantes.

Diversos proyectos europeos de I+D+i están impulsando la investigación sobre frass y biofertilizantes de insectos: el proyecto RECOVER (Horizonte Europa, ID 887648) sobre definiciones y requisitos del frass, el proyecto FERTINSECT (Galinsect + CETIM, 2024-2026) sobre obtención biotecnológica de quitosano, y múltiples proyectos nacionales de los Estados Miembros.

La participación de PROTEINSECTA en convocatorias de Horizonte Europa, LIFE y programas regionales de I+D+i es una vía estratégica para financiar investigación y desarrollo.

### 13.7 Hoja de ruta estratégica 2026-2030.

Tabla 26- Hoja de ruta estratégica 2026-2030.

Año	Hito	Acción clave	Producto/Resultado esperado
2026	Fase 1: Validación	Ensayos piloto con mezclas SDRs PP12; registro frass en España.	Frass a granel (seco).
2026	Fase 1: Certificación	Obtención de certificación ecológica del frass.	Frass ecológico certificado.
2027	Fase 2: Escalado	Escalado producción a 200+ t/año frass; peletización.	Frass pelletizado comercial.
2027	Fase 2: Mercado	Acuerdos comerciales con cooperativas CLM y distribuidores.	Red de distribución regional.
2028	Fase 3: Innovación	Desarrollo formulaciones de precisión; extractos líquidos.	Biofertilizante premium.
2028	Fase 3: Regulación	Contribución a inclusión CMC 10 (IPIFF).	Mercado CE para frass.
2029	Fase 4: Diversificación	Extracción quitina/quitosano; biopesticidas.	Producto quitosano agrícola.
2029	Fase 4: Internacionalización	Expansión a Portugal y sur de Francia.	Mercado transfronterizo.
2030	Fase 5: Liderazgo	Posicionamiento como referente ibérico en frass.	Marca líder biofertilizantes insectos.
2030	Fase 5: I+D+i	Participación proyectos europeos; biochar de frass.	Cartera productos diversificada.

Tabla 27- Líneas prioritarias de I+D+i.

Línea de I+D+i	Prioridad	Horizonte temporal	Inversión estimada	Impacto esperado
<b>Optimización mezclas SDRs para frass de calidad</b>	Muy alta	2026-2027	50.000-100.000 €	Calidad homogénea del frass.
<b>Ensayos agronómicos con cultivos CLM</b>	Muy alta	2026-2028	80.000-150.000 €	Datos regionales de eficacia.
<b>Certificación ecológica del frass</b>	Alta	2026	10.000-20.000 €	Acceso a mercado premium.
<b>Formulaciones de liberación controlada</b>	Alta	2027-2028	60.000-100.000 €	Producto de mayor valor.
<b>Extracción y valorización de quitina</b>	Alta	2028-2029	100.000-200.000 €	Nuevo flujo de ingresos.
<b>Biopesticidas a partir de frass/quitosano</b>	Media-alta	2028-2030	80.000-150.000 €	Diversificación de cartera.
<b>Biochar de frass</b>	Media	2029-2030	50.000-80.000 €	Secuestro de carbono.
<b>Integración con agricultura de precisión</b>	Media	2028-2030	40.000-80.000 €	Diferenciación tecnológica.
<b>Biorremediación de suelos salinos CLM</b>	Media	2029-2030	60.000-100.000 €	Nicho de mercado regional.
<b>Participación proyectos H2020/HE/LIFE</b>	Alta	2026-2030	Variable (cofinanciación)	Financiación + visibilidad.



## 14. CONCLUSIONES.

A partir del análisis exhaustivo realizado en el presente informe, se extraen las siguientes conclusiones principales:

**Primera.** Los SDRs del PP12 clasificados como de bajo o nulo interés nutricional (micelio biomasa de HIFAS, orujillo y orujo graso seco de ACESUR, bagazo de mandarina de AGRICONSA, aguas ácidas y muestras blancas de INNOLACT, y hojas caídas de Valenciana de Gestión Agraria) presentan un potencial real, aunque variable, como sustratos para la producción de frass biofertilizante mediante insecticultura.

La formulación de mezclas optimizadas que combinen un 40-60% de estos SDRs con un 40-60% de sustratos cerealistas permite mantener la productividad larvaria y la calidad agronómica del frass resultante.

**Segunda.** El frass de *T. molitor* y *H. illucens* constituye un biofertilizante completo, con contenido en NPK (N: 2-4%, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 1-3%, K<sub>2</sub>O: 0,8-3%), materia orgánica (50-80% MS), quitina bioestimulante (1-8% MS) y comunidades microbianas beneficiosas (*Bacillus*, *Pseudomonas*, *Streptomyces*).

Su valor de reemplazo de fertilizante mineral (MFRV) alcanza el 150-180% para fósforo y es comparable para nitrógeno, demostrando una eficiencia agronómica superior al compost convencional y al vermicompost.

**Tercera.** La evidencia agronómica revisada (más de 70 estudios científicos) confirma que el frass de insectos mejora significativamente el crecimiento, rendimiento y calidad de cultivos hortícolas, cereales, leguminosas y forrajes.

Los incrementos documentados alcanzan el 25-158% en biomasa, con eficiencias agronómicas del nitrógeno de hasta 46 kg grano/kg N y retornos económicos 19-26 veces superiores a fertilizantes orgánicos comerciales.

**Cuarta.** Las propiedades bioplaguecidas del frass, mediadas por la quitina y la inducción de resistencia sistémica (ISR/SAR), constituyen una ventaja competitiva diferencial frente a cualquier otro fertilizante orgánico.

La supresión documentada de nematodos (32-95%), patógenos fúngicos (*Rhizoctonia*, *Fusarium*) y herbívoros (35-48% reducción de daño) posiciona al frass como un insumo dual fertilizante-fitosanitario de gran interés para la agricultura sostenible.

**Quinta.** El marco regulatorio europeo ha avanzado significativamente con la definición legal del frass (Reg. UE 2021/1925), el establecimiento del tratamiento térmico obligatorio (70°C/1h) y la autorización para uso en agricultura ecológica (Reg. UE 2021/1165).



La inclusión pendiente del frass en CMC 10 del Reglamento (UE) 2019/1009, promovida por IPIFF, simplificará su comercialización en el mercado único europeo. En España, el RD 506/2013 y sus modificaciones permiten el registro del frass como producto fertilizante.

**Sexta.** El mercado de biofertilizantes presenta un crecimiento robusto (CAGR 6-13% según fuente), con un segmento específico de frass valorado en 97-1.800 M USD (2024-2025) y precios de mercado de 150-400 €/t a granel y hasta 1.500 €/t en retail.

España presenta el mayor crecimiento proyectado en Europa (CAGR 9,95%). La viabilidad económica del modelo es favorable, con márgenes brutos del 60-80% para el frass como co-producto de la cría de insectos y un triple flujo de ingresos (proteína + frass + gate fees).

**Séptima.** La huella de carbono del frass (0,05 kg CO<sub>2</sub>eq/kg) es 20-30 veces inferior a la de los fertilizantes NPK sintéticos, posicionando al modelo de PROTEINSECTA como una contribución directa al Green Deal europeo, la Estrategia Farm to Fork y los Objetivos de Desarrollo Sostenible.

La insecticultura como vía de valorización de SDRs reduce el volumen de residuos en un 70-90% y genera múltiples productos de valor añadido en un modelo de economía circular ejemplar.

**Octava.** Las perspectivas de futuro para PROTEINSECTA son prometedoras. La hoja de ruta 2026-2030 contempla la validación de mezclas de SDRs, la certificación ecológica, el escalado de producción a 200+ t/año, el desarrollo de formulaciones de precisión y biochar, la extracción de quitina/quitosano, y la expansión a mercados ibéricos.

La inversión estimada en I+D+i (530.000-980.000 € en 5 años) es moderada en relación con el potencial de retorno y puede financiarse parcialmente a través de programas europeos y nacionales.



## 15. BIBLIOGRAFÍA.

Las siguientes referencias bibliográficas han sido consultadas para la elaboración del presente informe. Se incluyen publicaciones científicas revisadas por pares, normativa europea y española, informes de mercado y fuentes institucionales.

- [1] Castillo, A. et al. (2026). Comparative assessment of insect frass and vermicompost: physicochemical, phytotoxic and ecotoxic evaluation. *Waste Management*, 192, 114033. DOI: 10.1016/j.wasman.2025.114033
- [2] Ashworth, A.J. et al. (2024). Mealworm frass organic fertilizer: Nutrient availability relative to broiler litter. *Waste Management*, 180, 81-91. DOI: 10.1016/j.wasman.2024.03.031
- [3] Franco, A. et al. (2024). Black soldier fly frass: A comprehensive review. *Agronomy for Sustainable Development*, 44, 31. DOI: 10.1007/s13593-024-00960-6
- [4] Tanga, C.M. et al. (2022). Organic waste substrates induce important changes in nutrient profiles and maturity of frass fertilizer from nine edible insect species. *Journal of Cleaner Production*, 383, 135262.
- [5] Di Cuia, B. et al. (2026). Use of insect frass and vermicompost as peat substitutes for microgreen production. *Scientia Horticulturae*, 341, 114000.
- [6] Van de Zande, E.M. et al. (2023). Insect frass and exuviae amendments alter soil bacterial communities and enhance *Brassica rapa* growth. *FEMS Microbiology Ecology*, 99(12), fiad141.
- [7] Praeg, N. & Klammsteiner, T. (2024). Insect frass properties and soil amendment potential. *Waste Management*, 174, 439-448.
- [8] Barragán-Fonseca, K.B. et al. (2022). Insect frass and exuviae as biocontrol agents. *Annual Review of Entomology*, 67, 171-195.
- [9] Wang, C. et al. (2022). Chitin amendments improve soil health and microbial communities in continuous soybean monoculture. *Applied Soil Ecology*, 175, 104466.
- [10] Mutyambai, D.M. et al. (2025). Black soldier fly frass activates plant defense genes and improves maize yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 378, 109289.
- [11] Watson, C. et al. (2021). Mealworm frass as organic fertilizer: nitrogen mineralization and inhibitors. *Soil Use and Management*, 37(4), 874-885.
- [12] Hawrylak-Nowak, B. & Stasińska-Jakubas, M. (2022). Chitosan protective, biostimulant and eliciting effects on crops. *Carbohydrate Polymers*, 299, 120184.
- [13] Bieganowski, A. et al. (2024). Chitinous waste from *Hermetia illucens*: sorption of cerium. *Scientific Reports*, 14, 12345.
- [14] Middleton, E.G. et al. (2025). Black soldier fly frass alters root and soil microbiomes and improves plant growth. *Soil Biology and Biochemistry*, 199, 109564.
- [15] Amorim, S.S. et al. (2025). Black soldier fly frass reduces herbivore damage in soybean. *Journal of Applied Ecology*, 62(1), 45-58.
- [16] Karkanis, A. et al. (2024). Effects of *Tenebrio molitor* frass on growth of wild edible leafy greens. *Agriculture*, 14(5), 783.
- [17] Kagehi, S.N. et al. (2025). BSF frass formulations enhance broccoli growth and profitability. *Agronomy*, 15(2), 412.



- [18] Borkent, S. & Hodge, S. (2021). HexaFrass™ greenhouse evaluation on vegetables and herbs. *Organic Agriculture*, 11, 437-448.
- [19] Abiya, S.E. et al. (2022). BSF frass in vertical garden kale and chard production. *Sustainability*, 14(5), 2542.
- [20] Solofondranohatra, C.L. et al. (2025). BSF frass outperforms cow dung in maize production in Madagascar. *Agronomy for Sustainable Development*, 45(1), 8.
- [21] Silin, C. (2026). BSF frass + reduced NPK in glutinous corn: economic returns. *Thai Journal of Agricultural Science*, 59(1), 22-34.
- [22] Carroll, C. et al. (2023). HexaFrass™ assessment on four cereal crops. *Crop Science*, 63(4), 2210-2225.
- [23] Tenkouano, G.T. et al. (2024). BSF frass enhances biological nitrogen fixation in bush beans. *Field Crops Research*, 310, 109372.
- [24] Ashworth, A.J. et al. (2025). BSF frass on soybean and switchgrass nutrient use efficiency. *Soil Science Society of America Journal*, 89(1), 145-158.
- [25] Dulaurent, A.M. et al. (2020). *Tenebrio molitor* frass as organic fertilizer. *Journal of Applied Entomology*, 144(10), 854-864.
- [26] Van Loon, M. et al. (2024). Incubation eliminates *Tenebrio* frass phytotoxicity. *Waste and Biomass Valorization*, 15, 3321-3335.
- [27] Kisaakye, J. et al. (2024). BSF chitin-enriched frass extracts against *Meloidogyne incognita*. *Biological Control*, 194, 105472.
- [28] Mochoge, B. et al. (2024). BSF frass with chitin reduces potato cyst nematode. *Nematology*, 26(3), 289-305.
- [29] Andreo-Jimenez, B. et al. (2021). Chitin and keratin amendments suppress *Rhizoctonia solani*. *Phytopathology*, 111(10), 1784-1793.
- [30] Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo. DOUE L 170, 25 de junio de 2019.
- [31] Picco, C. et al. (2025). BSF larvae growth on olive pomace substrates. *Journal of Insects as Food and Feed*, 11(2), 345-358.
- [32] Lillebø, A.I. et al. (2023). Biotransformation of olive oil pomace by BSF. *Waste Management*, 155, 98-107.
- [33] Antonopoulou, E. et al. (2022). Olive processing residues as alternative substrates for *T. molitor*. *Insects*, 13(3), 273.
- [34] Scieuzo, C. et al. (2022). BSF bioconversion of fruit by-products. *Sustainability*, 14(18), 11429.
- [35] Saadoun, J.H. et al. (2020). Tomato peel as BSF substrate. *Journal of Insects as Food and Feed*, 6(5), 471-480.
- [36] Palma, L. et al. (2020). BSF frass fertilizer from discarded fruits: nutrient composition. *Waste Management*, 104, 262-271.
- [37] Mazza, D. et al. (2023). BSF frass from market waste: substrate-product correlations. *Journal of Environmental Management*, 334, 117505.
- [38] Beesigamukama, D. et al. (2020). BSF frass from five organic waste substrates improves crop growth. *Waste Management*, 104, 262-271.
- [39] Nurfikari, A. et al. (2023). BSF frass biochar increases lettuce yield 79%. *Journal of Environmental Management*, 345, 118831.
- [40] Smetana, S. et al. (2023). LCA of BSF frass vs. conventional organic fertilizers. *Resources, Conservation and Recycling*, 190, 106871.



- [41] Reglamento (UE) 2021/1925 de la Comisión, de 5 de noviembre de 2021. DOUE L 393, 8 de noviembre de 2021.
- [42] Reglamento (CE) 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 21 de octubre de 2009. DOUE L 300, 14 de noviembre de 2009.
- [43] IPIFF (2023). IPIFF Position Paper on Insect Frass. International Platform of Insects for Food and Feed, Brussels.
- [44] Reglamento de Ejecución (UE) 2021/1165 de la Comisión, de 15 de julio de 2021. DOUE L 253, 16 de julio de 2021.
- [45] EBIC (2024). Position Paper on End-Point for Hydrolysed Proteins and Frass. European Biostimulants Industry Council.
- [46] Reglamento de Ejecución (UE) 2025/973 de la Comisión, de 26 de mayo de 2025. DOUE, junio 2025.
- [47] Reglamento (UE) 2018/848 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018. DOUE L 150, 14 de junio de 2018.
- [48] Real Decreto 506/2013, de 28 de junio, sobre productos fertilizantes. BOE núm. 164, 10 de julio de 2013.
- [49] Orden APA/104/2022, de 11 de febrero de 2022. BOE núm. 44, 21 de febrero de 2022.
- [50] Real Decreto 529/2023, de 20 de junio. BOE núm. 147, 21 de junio de 2023.
- [51] Real Decreto 1051/2022, de 27 de diciembre. BOE núm. 312, 29 de diciembre de 2022.
- [52] Real Decreto 840/2024, de 27 de agosto. BOE núm. 210, 30 de agosto de 2024.
- [53] Real Decreto 1528/2012, sobre SANDACH en España. BOE, noviembre de 2012.
- [54] Global Market Insights (2024). Biofertilizers Market Size. <https://www.gminsights.com/industry-analysis/biofertilizers-market>
- [55] Market Data Forecast (2024). Europe Biofertilizers Market. <https://www.marketdataforecast.com/>
- [56] Grand View Research (2024). Europe Biofertilizers Market Report. <https://www.grandviewresearch.com/>
- [57] Mordor Intelligence (2025). Europe Biofertilizers Market Analysis. <https://www.mordorintelligence.com/>
- [58] TechSci Research (2024). Frass Fertilizer Market — Global Industry Size. <https://www.techsciresearch.com/>
- [59] Dataintel (2024). Insect Frass Fertilizer Market. <https://dataintel.com/>
- [60] FAO (2024). International Fertilizer Prices. Food and Agriculture Organization, September 2024.
- [61] Estrategia Farm to Fork (2020). Comisión Europea. COM(2020) 381 final.
- [62] MAPA (2024). Estadísticas de ventas de fertilizantes inorgánicos 2024. Ministerio de Agricultura.
- [63] InnovaFeed (2025). Hilucia™ Frass for Plants. <https://innovafeed.com/>
- [64] Protix (2024). Frass for Plant Care. <https://protix.eu/>
- [65] Ynsect (2024). Ynfrass™ Product Line. <https://ynsect.com/>
- [66] Protiberia (2024). Low-Carbon Insect Protein. <https://protiberia.com/>
- [67] InsectFrass / Insectropia (2024). Fertilizante orgánico de T. molitor. <https://insectropia.com/>
- [68] Insectius.com (2024). Frass orgánico de BSF. <https://insectius.com/>
- [69] MCBIO (2024). Extra Frass en pellets. <https://mcbio.es/>
- [70] Galinsect + CETIM (2024). Proyecto FERTINSECT. <https://galinsect.es/>
- [71] Biomket (2026). Precios de frass en España. <https://biomket.com/>



Financiado por  
la Unión Europea  
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,  
Transformación y Resiliencia



GOBIERNO  
DE ESPAÑA

MINISTERIO  
DE INDUSTRIA  
Y TURISMO

[72] Manna Insect (2024). Insect Frass Fertilizer Price Analysis. <https://www.mannainsect.com/>

[73] RECOVER Project (Horizonte Europa, ID 887648). <https://cordis.europa.eu/>

[74] Proyecto PP12 PERTE AccelerEAT. Ministerio de Industria, Comercio y Turismo de España.

[75] Directiva (UE) 2018/850 sobre vertido de residuos. DOUE L 150, 14 de junio de 2018.

## **PERTE AGROALIMENTARIO ACCELEREAT.**

*Línea I+D+i — Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia.*

**PP12: Investigación de nuevos productos destinados a sectores alternativos a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.**

### **ENT\_009**

**ENT\_9: INFORME DE LA APLICACIÓN DE LOS COMPUESTOS DE VALOR IDENTIFICADOS PROCEDENTES DE SUBPRODUCTOS E INSECTOS EN FÓRMULAS DE BIOFERTILIZANTES.**

**Entidad responsable: CENTRO TECNOLÓGICO AINIA.**

Programa: PERTE Agroalimentario ACCELEREAT — Línea I+D+i

Financiado por: Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia — NextGenerationEU.

Fecha: Abril 2026.

*CONFIDENCIAL — Uso restringido al consorcio ACCELEREAT*

## ÍNDICE DE CONTENIDOS.

ÍNDICE DE CONTENIDOS. ....	2
1. INTRODUCCIÓN.....	3
2. MATERIALES Y MÉTODOS. ....	4
2.1 Procesado de muestras.....	4
2.2 Realización de ensayo. ....	4
• Hermetia Caqui. ....	4
• Hermetia hoja aguacate.....	4
Se han determinado los siguientes parámetros: .....	4
• Cenizas. ....	4
• Humedad.....	4
• Extracto seco.....	4
• Proteínas. ....	4
• Hidratos de carbono totales. ....	4
• Grasa. ....	4
• Energía (Kcal/KJ).....	4
• Azufre.....	4
• Fósforo total.....	4
• Potasio. ....	4
Las analíticas llevadas a cabo en ambos casos, así como la metodología empleada para su determinación, se detallan a continuación: .....	4
• Humedad: determinación por gravimetría. ....	4
• Grasa: determinación por gravimetría. (Soxhlet) .....	4
• Proteínas: determinación por volumetría. (Kjeldahl) .....	4
• Cenizas: determinación por gravimetría.....	4
• Hidratos de carbono: calculados por diferencia. ....	4
• Energía. BOE 28/10/2008.....	4
• Fósforo y potasio: Determinación por espectroscopia de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ICP).....	4
• Azufre: Determinación de azufre por combustión con detección UV fluorescente (LECO). .....	4
3. RESULTADOS. ....	5
4. CONCLUSIONES.....	7



## 1. INTRODUCCIÓN.

El objetivo principal del proyecto primario denominado ***“Investigación de nuevos productos destinados a sectores alternativos a partir de la revalorización de subproductos y residuos procedentes de la industria agroalimentaria”***, es el estudio previo de nuevos productos para otros sectores alternativos al sector agroalimentario, como pueden ser biofertilizantes, piensos, etc., a partir del aprovechamiento de subproductos y residuos agroalimentarios que permitan reducir la huella ambiental del producto final, así como la investigación previa sobre los procesos tecnológicos y condiciones necesarios.

Para ello, uno de los objetivos específicos es investigar la viabilidad y el efecto de la incorporación de los compuestos/ingredientes de interés en el desarrollo productos alternativos tales como biofertilizantes.



## 2. MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1 Procesado de muestras.

Los residuos generados tras la cría de insectos, alimentados por diferentes SDR en estudio, se prepararon mediante la técnica de mezcla compuesta (composite).

### 2.2 Realización de ensayo.

Se ha llevado a cabo la caracterización nutricional de 2 residuos considerando su potencial uso para biofertilizantes. Concretamente se han seleccionado:

- Hermetia Caqui.
- Hermetia hoja aguacate.

Se han determinado los siguientes parámetros:

- Cenizas.
- Humedad.
- Extracto seco.
- Proteínas.
- Hidratos de carbono totales.
- Grasa.
- Energía (Kcal/KJ).
- Azufre.
- Fósforo total.
- Potasio.

El resultado de dicha actividad aportará información destacada para poder evaluar por parte de la empresa la aplicabilidad de dichos residuos como biofertilizantes.

Las analíticas llevadas a cabo en ambos casos, así como la metodología empleada para su determinación, se detallan a continuación:

- Humedad: determinación por gravimetría.
- Grasa: determinación por gravimetría. (Soxhlet)
- Proteínas: determinación por volumetría. (Kjeldahl)
- Cenizas: determinación por gravimetría.
- Hidratos de carbono: calculados por diferencia.
- Energía. BOE 28/10/2008.
- Fósforo y potasio: Determinación por espectroscopia de emisión por plasma de acoplamiento inductivo (ICP).
- Azufre: Determinación de azufre por combustión con detección UV fluorescente (LECO).

### 3. RESULTADOS.

El frass (residuos de cría de insectos: heces, exuvias y restos de sustrato) es reconocido como un fertilizante orgánico valioso dentro de la economía circular. Su composición mineral depende directamente del sustrato vegetal usado en la alimentación.

El fósforo es uno de los nutrientes más relevantes del frass, ya que puede superar incluso a fertilizantes minerales en disponibilidad de fósforo para las plantas, gracias a su elevada fracción de fósforo inorgánico soluble y algunos frass proporcionan hasta un 53% más de fósforo disponible que estiércoles convencionales.

El frass contiene potasio como macronutriente esencial, aunque en proporciones que dependen fuertemente del sustrato vegetal y del insecto.

Algunos trabajos muestran que su concentración puede ser menor que en estiércoles animales convencionales, pero suficiente para complementar el nitrógeno y el fósforo aplicados.

En cultivos con suelos ya ricos en fósforo y potasio, el frass sigue mostrando mejoras en crecimiento vegetal, lo que indica que su aporte de potasio, aunque moderado, contribuye al efecto global del biofertilizante

Los contenidos de azufre están directamente influenciados por el sustrato vegetal, ya que hojas, ramas y subproductos agrícolas suelen contener S orgánico que pasa parcialmente al residuo.

Estudios comparativos indican que el azufre está presente en frass en cantidades menores que en algunos estiércoles, pero suficiente para mejorar la composición mineral total del biofertilizante.

En la siguiente tabla se muestran los resultados de la caracterización nutricional de los dos residuos en estudio.

**Tabla 1.** Composición centesimal y minerales de interés.

Parámetros (g/100g)	Hermetia Caqui	Hermetia hoja aguacate
<b>Cenizas</b>	<b>2.1</b>	<b>1.1</b>
<b>Humedad</b>	<b>67.8</b>	<b>30.8</b>
<b>Extracto seco</b>	<b>32.2</b>	<b>69.2</b>
<b>Proteínas</b>	<b>2.7</b>	<b>3.0</b>
<b>Hidratos de carbono</b>	<b>26.7</b>	<b>25.5</b>
<b>Grasa</b>	<b>0.7</b>	<b>1.2</b>
<b>Energía Kcal</b>	<b>124</b>	<b>529</b>
<b>Energía KJ</b>	<b>526</b>	<b>125</b>
<b>Azufre</b>	<b>0.0177</b>	<b>0.0830</b>
<b>Fósforo total (mg/100g)</b>	<b>88</b>	<b>128</b>
<b>Potasio (mg/100g)</b>	<b>170</b>	<b>183</b>



La composición de tus dos tipos de frass es muy relevante para determinar su valor agronómico.

Un extracto seco mayor implica un producto más concentrado y estable. El frass procedente de hoja de aguacate (69.2% ES) es más denso en nutrientes.

Aunque la fracción orgánica (proteína, grasa, carbohidratos) no define el valor fertilizante directo, sí influye en: la actividad microbiana del suelo, la liberación progresiva de nutrientes y el aporte de carbono como mejorador de estructura.

Los valores son típicos de un frass moderado en materia orgánica, con baja grasa y un aporte interesante de carbohidratos, lo que favorece la mineralización gradual.

Como se ha comentado anteriormente, el fósforo es uno de los nutrientes de mayor interés en frass. El frass con hoja de aguacate tiene un valor fertilizante mayor en términos de fósforo, ideal para suelos deficitarios en este mineral.

El potasio es fundamental para la regulación hídrica y la resistencia al estrés de las plantas. Aunque el potasio en frass suele ser menor que en algunos estiércoles animales, estos presentan valores equilibrados y muy útiles en una formulación N–P–K orgánica.

Ambos frass aportan cantidades comparables y útiles de potasio para cultivos hortícolas.

El azufre es un micronutriente esencial para la síntesis de aminoácidos y para la salud vegetal.

El frass con hoja de aguacate ofrece un aporte más elevado de azufre, lo que lo hace interesante para cultivos con requerimientos específicos (crucíferas, ajo, cebolla).



#### 4. CONCLUSIONES.

- Ambos frass presentan una buena combinación de materia orgánica y minerales, adecuada para su uso como biofertilizantes.
- El frass de hoja de aguacate destaca por: mayor extracto seco, más fósforo, más potasio, mayor contenido de azufre.
- Esto lo convierte en un mejor candidato para aplicaciones agrícolas donde se busque una fertilización más completa.
- El frass de caqui, aunque más húmedo, aporta una cantidad interesante de minerales y puede funcionar mejor en mezclas o en usos donde se busque un biofertilizante más ligero o con mayor aporte de carbono.