



PERTE AGROALIMENTARIO ACCELEREAT.

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

PP13: Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.

ENT_001

ENT_1: INFORME DE EVALUACIÓN DE USO DE SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA COMO FUENTE DE ALIMENTO DE INSECTOS PARA SU TRANSFORMACIÓN Y REVALORIZACIÓN EN SECTORES ALTERNATIVOS A LA ALIMENTACIÓN HUMANA.

Entidades participantes:

PROTEINSECTA S.L., TEBRIO S.L., BIORIZON BIOTECH S.L., AGRICONSA S.A.

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.....	4
1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.	5
1.1 Contexto del PP13 y el Marco PERTE.....	5
1.2 La problemática de los residuos agroalimentarios.....	6
1.3 La insecticultura como herramienta de economía circular.....	6
2. ESPECIES DE INSECTOS INDUSTRIALES DE REFERENCIA: BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y RELEVANCIA INDUSTRIAL.....	7
2.1 <i>Hermetia illucens</i> (Diptera: Stratiomyidae) — Mosca Soldado Negra (BSF).....	7
2.2 <i>Tenebrio molitor</i> (Coleoptera: Tenebrionidae) — Gusano de la Harina.....	8
2.3 Acheta <i>domesticus</i> y otras especies.....	9
3. INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....	10
3.1 Subproductos de la industria hortofrutícola.....	10
3.1.1 Bagazo y pieles de frutas.....	10
3.1.2 Salvado y subproductos de cereales.....	10
3.1.3 Subproductos de la industria de la cervecera y vinicultura.....	11
3.2 Subproductos del procesado de especias y algas.....	11
3.3 Subproductos de la industria oleícola.....	11
3.4 Aguas residuales y efluentes industriales.....	12
4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SUSTRATOS: RENDIMIENTO DE BIOCONVERSIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA.....	13
4.1 Criterios de evaluación de sustratos.....	13
4.2 Rendimientos en sustratos clave.....	13
4.3 Influencia del sustrato sobre la composición de la biomasa larvaria.....	14
4.4 Pretratamientos de sustratos.....	14
5. PRODUCTOS DE VALOR OBTENIBLES A PARTIR DE LA BIOMASA DE INSECTOS Y SU APLICACIÓN EN SECTORES ALTERNATIVOS.....	16
5.1 Harina de insecto para piensos animales.....	16
5.2 Biofertilizantes y bioestimulantes a partir de frass.....	16
5.3 Extractos bioestimulantes de subproductos hortofrutícolas.....	17
5.4 Quitina, quitosano y biopolímeros de origen insectícola.....	18
5.5 Lípidos derivados de insectos y aplicaciones en bioprocesos.....	19
6. ESTRATEGIA DE FORMULACIÓN DE DIETAS PARA INSECTOS A PARTIR DE SDRS DEL CONSORCIO.....	20
6.1. Caracterización de Subproductos (SDRs) Diana.....	20



6.2 Principios generales de formulación.....	20
6.3 Propuesta de sustratos de ensayo para el PP13.....	20
6.4. Monitorización mediante Sensores NIR.....	21
7. IMPACTO AMBIENTAL Y CONTRIBUCIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	22
7.1 Huella ambiental de la insecticultura sobre SDRs.....	22
7.1.1 Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI).	22
7.1.2 Eficiencia en el uso de recursos.	22
7.1.3 Gestión de desperdicios y logística circular.	22
7.2 Contribución al cambio climático.....	23
7.3 Contribución a la Sostenibilidad del Suelo.....	23
8. MARCO REGULATORIO.....	24
8.1 Regulación de sustratos permitidos para la cría de insectos en la UE.....	24
8.2 Regulación de bioestimulantes y biofertilizantes.	24
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
9.1 Conclusiones técnicas.	25
9.2. Recomendaciones.	25
10. ESCALABILIDAD Y VIABILIDAD INDUSTRIAL.....	27
10.1 Nivel de madurez tecnológica (TRL).....	27
10.2. Parámetros críticos de escalado.	27
11. CONCLUSIONES TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES.....	28
11.1 Conclusiones.	28
11.2 Recomendaciones.....	28
11.3 Implicaciones para el futuro de la bioeconomía circular.....	29
12. BIBLIOGRAFÍA.....	30



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 - Ciclo de vida - fases y características clave.	7
Tabla 2 - Condiciones óptimas de cría.	7
Tabla 3 - Sustratos relevantes para el PP13.....	13
Tabla 4 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.....	15
Tabla 5 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.....	18
Tabla 6 – Sustratos propuestos.....	20



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.

El presente informe constituye el entregable ENT_1 del Proyecto Primario PP13, integrado en el Proyecto Tractor AccelerEAT del PERTE Agroalimentario, y tiene por objeto evaluar exhaustivamente la aptitud técnica, nutricional, regulatoria y económica de los principales subproductos y residuos generados por la industria alimentaria española como sustratos de cría de insectos, con vistas a su transformación y revalorización en sectores alternativos a la alimentación humana: alimentación animal (piensos), agricultura (biofertilizantes y bioestimulantes) y la industria química-biomaterial (quitina, quitosano, lípidos funcionales).

La industria agroalimentaria europea genera de forma sistemática entre un 60 y un 65% de sus productos en forma de subproductos o residuos que, en su mayoría, son eliminados como desechos, con el consiguiente coste económico y medioambiental.

La insecticultura —en particular la producción de larvas de *Hermetia illucens* (mosca soldado negra, BSF) y *Tenebrio molitor* (gusano de la harina)— ofrece una vía de biotransformación eficiente, capaz de convertir estos flujos residuales en biomasa de alto valor añadido apta para múltiples sectores.^{[1][2][3]}

El informe sistematiza la información disponible a partir de los documentos de planificación del PP13, los informes de ensayo del producto biofertilizante derivado de insectos realizados bajo Buenas Prácticas Experimentales (GEP) por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios en la campaña 2025-2026, el informe técnico del IBMCP-UPV-CSIC sobre actividad bioestimulante de extractos de subproductos hortofrutícolas, y la literatura científica peer-reviewed más actualizada sobre bioconversión de residuos mediante insectos.

1.1 Contexto del PP13 y el Marco PERTE.

El Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica del Sector Agroalimentario (PERTE AGRO) constituye el instrumento de política industrial del Gobierno de España para modernizar y hacer más competitiva la cadena agroalimentaria, financiado con Fondos NextGenerationEU.

El proyecto tractor AccelerEAT, liderado por Vicky Foods con participación de 18 empresas y coordinación tecnológica de AINIA, agrupa 22 proyectos primarios colaborativos, y ha recibido una ayuda total de 18,8 millones de euros.^{[4][5][6][7]}

El PP13, titulado «*Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria*», tiene como objetivo principal el estudio y desarrollo de productos para sectores distintos al alimentario humano, mediante el reaprovechamiento de subproductos agroalimentarios que permitan reducir la huella ambiental del producto final. Las entidades participantes son PROTEINSECTA (coordinadora), TEBRIO, AGRICONSA y BIORIZON BIOTECH. [1]

La participación de PROTEINSECTA en el PERTE AGRO se concreta en la realización de ensayos de laboratorio en los que se formulan dietas basadas en subproductos de la industria agroalimentaria para comprobar su valorización a través de la biomasa de las especies insectiles *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens*, tanto para la obtención de biomasa rica en proteínas y otros nutrientes de valor para la elaboración de piensos ganaderos, como para aprovechar sus excrementos y residuos derivados de su desarrollo en una fuente de abono de calidad.^[8]



1.2 La problemática de los residuos agroalimentarios.

Según datos de la FAO, en Europa, un 12% de los alimentos se pierde o desperdicia en la etapa de manipulación y almacenamiento previa a la transformación, un 5% en la etapa de procesamiento y un 9% en la distribución y comercialización.

El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en su informe de 2020, establece que las pérdidas ascendieron a casi 25 millones de euros en el año 2018, con solo datos del 49,33% de las compañías encuestadas.

La industria agroalimentaria española genera una gran cantidad de subproductos, de los cuales el 60-65% se convierte en desechos que suponen un problema tanto de coste económico como medioambiental. [1]

Estos subproductos —denominados en el marco del proyecto «SDRs» (subproductos, desperdicios y residuos)— incluyen cáscaras, fibras, aguas de proceso, pieles de frutas y hortalizas, bagazos de cítricos, alperujo, destríos de especias, y residuos de diversas industrias de transformación.

Aunque la legislación europea los define como residuos en la mayoría de sus articulados, no tiene plenamente en cuenta su potencialidad de reutilización dentro de la cadena alimentaria o en otros sectores alternativos. [1]

1.3 La insecticultura como herramienta de economía circular.

La insecticultura, y en particular la producción masiva de insectos con fines industriales, representa una herramienta agroecológica de primer orden para la gestión circular de los SDRs.

La revalorización de residuos y subproductos agroalimentarios a través de la insecticultura —especialmente aquellos de bajo interés nutricional y comercial— contribuye a la reducción del porcentaje de residuos generados en la industria alimentaria, con efecto directo sobre el medio ambiente y sobre la cadena de valor de la producción de alimentos. [1]

El desarrollo de nuevos ingredientes a partir de procesos de economía circular mediante el uso de los insectos como herramienta agroecológica permite abrir rutas alternativas para la valorización de residuos y la creación de nuevos ingredientes como materias primas o aditivos en piensos de animales.

La utilización de residuos como materias primas en la alimentación de insectos facilita además la transición hacia un sistema alimentario más sostenible, resiliente y autosuficiente. [1]

2. ESPECIES DE INSECTOS INDUSTRIALES DE REFERENCIA: BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y RELEVANCIA INDUSTRIAL.

La selección de especies para el Proyecto PP13 se basa en criterios de eficiencia metabólica, escalabilidad industrial y seguridad biológica. Se han priorizado dos especies con roles complementarios en la cadena de valor: *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*.

2.1 *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) — Mosca Soldado Negra (BSF).

La mosca soldado negra es considerada la "reina de la bioconversión" debido a su capacidad para metabolizar una amplia gama de sustratos orgánicos húmedos, transformándolos en biomasa rica en proteínas y lípidos en tiempos récord.

- **Ciclo Biológico y Bioconversión:** el estadio crítico es la larva, que dura entre 7 y 14 días bajo condiciones óptimas.¹ Durante esta fase, la larva consume hasta el doble de su peso corporal por día. El ciclo completo (huevo a adulto) se completa en aproximadamente 45 días a una temperatura óptima de 27°C.
- **Requerimientos Ecológicos:** las larvas son euritermas, pero su rendimiento máximo se alcanza en un rango de 24–29 °C y una humedad del sustrato del 60–70%. El pH óptimo del sustrato debe ser >6, aunque las larvas poseen una capacidad intrínseca para regular el pH del medio hasta 9,0 mediante sus excreciones, lo que previene la proliferación de bacterias patógenas.
- **Relevancia Industrial:** su biomasa contiene entre un 35% y un 61% de proteína bruta (PB) y un perfil lipídico rico en ácido láurico (C12:0), el cual posee propiedades antimicrobianas naturales de alto valor para el sector de piensos.

Tabla 1 - Ciclo de vida - fases y características clave.

Estadio	Duración	Características principales
Huevo	4–6 días.	500–900 huevos; sensibles a fluctuaciones térmicas; requieren 25–30 °C y 60–80% HR.
Larva (1.ª–6.ª instar)	7–14 días (hasta 20).	Estadio de bioconversión; masa seca final ~43,5–44,0 mg; ricas en proteína y grasa.
Prepupa	Variable.	Cese de alimentación; migradora; masa seca óptima para recolección.
Pupa	7–14 días.	En sustrato seco; sin alimentación.
Adulto	5–9 días.	No se alimenta; vive del depósito energético larvario.

Las larvas de *H. illucens* pueden reducir la masa de residuos orgánicos entre un 50% y un 80% en un período de 10 a 14 días, mientras que la tasa de conversión de sustrato en biomasa larvaria se sitúa en torno al 15–25%.

La biomasa larvaria resultante contiene, en base seca, entre un 40 y un 45,2% de proteína bruta y entre un 20 y un 35% de lípidos, incluyendo el ácido láurico antimicrobiano.

Tabla 2 - Condiciones óptimas de cría.

Parámetro de cría	Valor recomendado
Temperatura	27–30 °C
Humedad relativa del aire	60–80%



Humedad del sustrato	60–70%
Densidad larvaria	5.000–10.000 larvas/kg de sustrato
Duración de la fase de alimentación	7–14 días
Reducción de masa del residuo	50–80%
Tasa de bioconversión (rendimiento en biomasa larvaria)	15–25%

El contenido en fibra del sustrato es uno de los factores más limitantes para el rendimiento larvario: un contenido en fibra superior al 7% ralentiza significativamente el crecimiento, mientras que el pretratamiento del sustrato mediante fermentación o trituración puede mejorar la eficiencia de bioconversión entre un 10 y un 15%.

La humedad del sustrato es otro factor crítico: el rango óptimo se sitúa entre el 60 y el 70%, ya que una humedad inferior a este valor limita la actividad microbiana necesaria para pre-digerir los compuestos lignocelulósicos, mientras que niveles superiores pueden generar anaerobiosis y aumentar la mortalidad larvaria.^{[9][2]}

2.2 *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) — Gusano de la Harina.

Tenebrio molitor Linneo es el segundo insecto de mayor relevancia industrial, con un ciclo de vida considerablemente más largo que el de *H. illucens* (entre 70 y 140 días según temperatura y sustrato, con temperatura óptima en torno a 25–28 °C) pero con características nutricionales de gran interés para la industria del pienso y los biomateriales.

El *T. molitor* es un coleóptero con una larga trayectoria en la industria, destacado por su estabilidad nutricional y la calidad de su residuo (frass) para la agricultura.

- **Fundamentación nutricional:** las larvas presentan un contenido proteico de entre el 40% y el 63% en materia seca (MS). Un hallazgo técnico fundamental del proyecto es el uso del factor de conversión de nitrógeno a proteína corregido de $K_p = 4,76$, en lugar del estándar 6,25, para evitar la sobreestimación debida a la quitina del exoesqueleto.
- **Dinámica de crecimiento:** aunque su crecimiento es más lento que el de la BSF (estadio larvario de 57 a 200 días según la dieta), su capacidad para procesar sustratos secos y derivados de cereales lo hace ideal para la valorización de afrechos y restos de panadería.
- **Biología del frass:** el residuo de *T. molitor* se ha consolidado en el proyecto como un bioestimulante de alta eficacia, con una relación C/N equilibrada que favorece la salud del suelo.

PROTEINSECTA acumula experiencia acreditada en la producción industrial de esta especie y en la adaptación de dietas, si bien la utilización de residuos como fuente nutritiva requiere estudiar múltiples factores relacionados con la optimización del aprovechamiento y metabolización del sustrato formulado. [1]

T. molitor se cría preferentemente con sustratos de origen vegetal como el salvado de trigo, aunque estudios recientes han demostrado que puede ser criado con residuos orgánicos convirtiendo estos en biomasa de alto valor nutricional.

Los resultados publicados muestran que la tasa máxima de crecimiento se alcanza entre los 71 y 101 días de edad y a temperaturas de $22,5 \pm 2,5$ °C, siendo el organismo rico en lípidos y con un contenido proteico que disminuye cuando se emplean dietas nutricionalmente pobres.



Para esta especie, el salvado de arroz, los granos de destilería y los subproductos de avena han mostrado las mejores tasas de supervivencia y peso larvario entre los subproductos agro-industriales evaluados.^{[10][11][12]}

2.3 Acheta *domesticus* y otras especies.

Acheta *domesticus* (Ortoptera: Gryllidae) se destaca por su contenido excepcionalmente elevado en proteína bruta (hasta 60–70% en base seca) y ha sido aprobado como novel food por la EFSA para consumo humano. Sin embargo, en el contexto de PP13, su interés principal radica en su potencial como especie de bioconversión de residuos orgánicos para la producción de biomasa destinada a piensos en sectores no alimentarios.

Los estudios muestran que la tasa máxima de crecimiento se produce entre los 36 y 66 días de edad a $22,5 \pm 2,5$ °C, y que los residuos vegetales son más favorables como sustrato que los residuos de origen animal. [11]

3. INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

3.1 Subproductos de la industria hortofrutícola.

3.1.1 Bagazo y pieles de frutas.

Los residuos de frutas (fresas, tomates, lechugas, brócoli, cebollas, mandarinas, aguacate, kiwi, caqui) constituyen una fracción mayoritaria de los SDRs del consorcio AccelerEAT. En el marco del proyecto PP13, estos subproductos han sido utilizados por el IBMCP-UPV-CSIC para la elaboración de extractos evaluados como bioestimulantes, confirmando su rica composición en compuestos bioactivos (antioxidantes naturales, azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas, minerales).

Los extractos liofilizados de brócoli, cebolla, fresa y lechuga mostraron el máximo efecto bioestimulante a concentraciones de 5–10 mg/ml en los ensayos en levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), con un efecto significativamente positivo (+++) sobre el crecimiento. [13]

Desde el punto de vista de la bioconversión insectil, los residuos de frutas y hortalizas (VEGFRU) son sustratos de amplia disponibilidad y composición variable, idóneos para la cría de larvas de *H. illucens*.

Un estudio de referencia comparó una mezcla de hortalizas y frutas (VEGFRU) con una mezcla de frutas exclusivamente (FRU), obteniendo mejores tiempos de desarrollo (22,0 días frente a 22,2 días) y un contenido proteico superior en los sustratos mixtos (229,7 g·kg⁻¹ MS frente a 257,3 g·kg⁻¹ MS). La principal limitación de estos sustratos es su alta variabilidad composicional estacional y su contenido relativamente bajo en proteína bruta. [14]

El bagazo de cítricos (naranjas, mandarinas, limones) generado por AGRICONSA es uno de los flujos de mayor volumen en el consorcio. Se generan enormes volúmenes de residuos de cítricos, representando la mitad del peso total de la naranja después de la extracción de zumo, lo que contribuye a unas 110–120 millones de toneladas de residuos de cítricos al año a nivel mundial.

Los estudios demuestran que *H. illucens* puede bioconvertir el bagazo de naranja eficazmente, aunque el sustrato de bagazo puro no soporta por sí solo un crecimiento larvario óptimo: la adición de un 25% de residuo de harinas (LA75) mejoró significativamente ($p \leq 0,05$) el rendimiento global de las larvas, mejorando todos los parámetros de bioconversión evaluados.

Esto apunta a la necesidad de formular sustratos mixtos en los que el bagazo de cítricos se combine con fuentes proteicas o carbonadas más concentradas. [15]

3.1.2 Salvado y subproductos de cereales.

El salvado de arroz es uno de los subproductos de referencia evaluados en los ensayos de bioactividad del IBMCP-UPV-CSIC. En formato de extracto líquido, mostró el mejor perfil general en los ensayos de crecimiento temprano de *Arabidopsis thaliana* en condiciones de estrés, con un efecto protector significativo bajo LiCl ($p \leq 0,05$) y un efecto extraordinario bajo NaCl 120 mM ($p \leq 0,001$).

Este resultado confirma que el salvado de arroz contiene compuestos bioactivos con potencial de actuación como biofertilizante cuando se incorpora al frass de insectos. [13]

Para la cría de *T. molitor*, los estudios muestran que el salvado de arroz, los granos gastados de cervecería y los subproductos de avena han registrado las mejores tasas de supervivencia y el mayor peso larvario, junto con altas tasas de conversión y crecimiento. Vrontaki et al. (2024) evaluaron seis subproductos agro-industriales de las regiones de Tesalia y Macedonia Central para la cría de *T. molitor*, concluyendo que la aptitud de los subproductos varía considerablemente y que el salvado de arroz y los granos gastados de cervecería ofrecen las mejores prestaciones. [10]



Los subproductos de la molinería presentan rendimientos industriales del 77–80% en la producción de harina de trigo, generando alrededor del 20–23% de salvado y otros residuos como fuente potencial de sustrato insectil.

La afrecho de trigo tiene una composición típica de 14–18% proteína bruta, 3–5% grasa bruta, 40–50% fibra neutro detergente (NDF) y una elevada concentración de fitatos que puede limitar la biodisponibilidad mineral en las larvas. [16]

3.1.3 Subproductos de la industria de la cervecería y vinicultura.

Los granos gastados de cervecería (GGC o «spent grains») constituyen un subproducto de gran interés por su disponibilidad masiva, su elevada concentración en proteína bruta (15–25% en base seca) y su contenido en fibra fermentable. Un estudio sistemático evaluó 12 sustratos basados en GGC (cebada malteada, cebada sin maltear, maíz malteado, sorgo-cebada), suplementados con agua, levadura residual o una mezcla de levadura y melaza de caña.

Los resultados mostraron que el contenido en proteína bruta, grasa bruta, cenizas y minerales en las larvas de BSF fue significativamente influido por el sustrato, el tipo de suplementación y su interacción. Las larvas alimentadas con GGC de cebada mostraron la menor proporción de ácidos grasos saturados y la mayor de ácidos grasos poliinsaturados (260,1 g·kg⁻¹ de ácidos grasos totales), lo que mejora sustancialmente el perfil lipídico de la harina de insecto resultante.[17]

Los subproductos de la vinicultura (orujo, lías) presentan un contenido elevado en compuestos fenólicos que pueden resultar inhibitorios para el desarrollo larvario. El estudio de Meneguz et al. (2018) encontró que los sustratos de vinicultura (WIN) dieron lugar a un índice de reducción de residuos de solo 2,4 g·día⁻¹ frente a los 5,3 g·día⁻¹ de los GGC, y a un contenido proteico inferior (257,3 vs. 395,7 g·kg⁻¹ MS). Dado que los GGC de cervecería tienen una disponibilidad limitada, se recomienda explorar niveles de inclusión bajos (10–30%) combinados con otros sustratos.[14]

3.2 Subproductos del procesamiento de especias y algas.

Los destríos y subproductos del procesamiento de especias (pimentón, tomillo, romero, etc.) presentan una composición heterogénea con importantes concentraciones de aceites esenciales con potencial antimicrobiano que pueden afectar negativamente a las poblaciones microbianas del sustrato y, por tanto, al rendimiento de la bioconversión. Su inclusión debe limitarse al 5–10% del sustrato total y requiere evaluación específica.

3.3 Subproductos de la industria oleícola.

El alperujo (subproducto de la extracción de aceite de oliva en dos fases) es uno de los flujos de mayor volumen en la España mediterránea. Presenta un contenido elevado en compuestos fenólicos (ácido hidroxitirosol, Oleuropeína) y en fracción lignocelulósica, lo que dificulta su bioconversión directa. El alperujo requiere pretratamiento (fermentación, extracción de polifenoles, enriquecimiento proteico) antes de su uso como sustrato insectil.

Los procesos explorados por BIORIZON BIOTECH en el contexto del PP13 para la producción de microalgas a partir de aguas residuales de la industria agroalimentaria ofrecen una ruta complementaria de valorización. [1]



3.4 Aguas residuales y efluentes industriales.

Las aguas residuales de la industria agroalimentaria contienen fracciones orgánicas solubles (azúcares, proteínas hidrolizadas, grasas emulsionadas) con valor nutricional para la formulación de sustratos insectiles húmedos.

BIORIZON BIOTECH ha diseñado un proceso de hidrólisis fisicoquímica para obtener digestato a partir de estas aguas, con destino a la producción de microalgas para biofertilizantes, en el marco del PP13. La fracción sólida resultante puede incorporarse a los sustratos insectiles. [1]

4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SUSTRATOS: RENDIMIENTO DE BIOCONVERSIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA.

4.1 Criterios de evaluación de sustratos.

Para la selección y evaluación de sustratos de cría de insectos, se definen los siguientes criterios e indicadores:

- **Rendimiento de reducción de residuos (Waste Reduction Index, WRI):** masa de sustrato degradado por unidad de tiempo ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$).
- **Tasa de bioconversión (Bioconversion Rate, BCR):** proporción de biomasa larvaria obtenida por unidad de sustrato seco consumido (%).
- **Eficiencia de conversión de sustrato en larva (ECR):** masa de sustrato seco consumido por unidad de masa larvaria ganada.
- **Tasa de mortalidad larvaria:** porcentaje de larvas muertas al final del ciclo de cría.
- **Composición nutricional de la biomasa:** proteína bruta, lípidos, cenizas, humedad, perfil de aminoácidos, perfil de ácidos grasos en base seca.
- **Composición nutricional del frass:** N total, P total, K total, materia orgánica, relación C/N, contenido en quitina residual, pH, índice de madurez.

4.2 Rendimientos en sustratos clave.

La siguiente tabla sintetiza los rendimientos publicados en la literatura científica para los principales sustratos relevantes para el PP13:

Tabla 3 - Sustratos relevantes para el PP13.

Sustrato	Especie	WRI ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$)	Proteína larval (% MS)	Lípidos larvales (% MS)
Mezcla vegetal-frutal (VEGFRU)	<i>H. illucens</i>	~3,5	22,97	n.d.
Mezcla de frutas (FRU)	<i>H. illucens</i>	~3,1	25,73	n.d.
GGC de cebada (BRE)	<i>H. illucens</i>	5,3	39,57	lípidos con alto PUFA
GGC de viticultura (WIN)	<i>H. illucens</i>	2,4	25,73	Alto en saturados
Bagazo naranja (puro)	<i>H. illucens</i>	Bajo	Bajo	Bajo
Bagazo naranja + 25% harináceo	<i>H. illucens</i>	Mejora signif.	Mejora signif.	Mejora signif.
Residuos vegetales (90%) + pienso gallina (10%)	<i>T. molitor</i>	—	Reducida vs. control	Mayor grasa
Salvado de arroz	<i>T. molitor</i>	Alta supervivencia	Moderada-alta	Moderada
GGC cebada	<i>T. molitor</i>	Alta supervivencia	Alta	Moderada

GGC: Granos gastados de cervecería; PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados; MS: Materia seca.



4.3 Influencia del sustrato sobre la composición de la biomasa larvaria.

La composición nutricional de las larvas de *H. illucens* es altamente dependiente del sustrato empleado, un fenómeno bien documentado en la literatura.

En los estudios con GGC, el contenido en proteína bruta de las larvas varió de forma significativa entre las 12 combinaciones de sustrato y suplemento evaluadas, con el calcio, el fósforo y el potasio como macrominerales más abundantes.

El perfil lipídico también difirió significativamente: los sustratos de maíz malteado con levadura y melaza produjeron larvas con el mayor contenido total en ácidos grasos, mientras que los de cebada con levadura-melaza produjeron los perfiles más ricos en PUFA.^{[17][2]}

Este conocimiento es fundamental para el diseño de sustratos mixtos en el PP13: la composición del sustrato puede «programarse» para producir biomasa larvaria con el perfil nutricional óptimo según el sector de destino (pienso de porcino, pienso de acuicultura, harina de insecto para mascotas, etc.).

Para *T. molitor*, los estudios muestran que las dietas nutricionalmente pobres dan lugar a menores concentraciones de proteína y mayores de grasa en las larvas. Esto implica que los sustratos basados exclusivamente en residuos vegetales de baja calidad no son adecuados para maximizar el valor proteico de la biomasa, y deben complementarse con fuentes nitrogenadas. [11]

4.4 Pretratamientos de sustratos

Dado que varios de los SDRs disponibles en el consorcio presentan limitaciones para la bioconversión directa (alta fibra en bagazo de cítricos, inhibidores en alperujo, etc.), se plantean los siguientes pretratamientos:

- **Fermentación láctica:** AGRICONSA desarrollará procesos de ensilado del bagazo de cítricos combinados con deshidratación para mejorar el almacenamiento y facilitar el transporte y reutilización, reduciendo la fracción hídrica y estabilizando el material mediante acidificación.^[^1]
- **Trituración y homogeneización:** La reducción del tamaño de partícula mejora la accesibilidad de las larvas al sustrato y acelera la bioconversión hasta 10–15%. [2]
- **Ajuste de la humedad:** El rango óptimo de humedad del sustrato para *H. illucens* es 60–70%. Los sustratos secos (como el salvado) deben hidratarse antes de su uso. [2]
- **Enriquecimiento nitrogenado:** La adición de fuentes nitrogenadas (levadura de cervecera, hidrolizados proteicos vegetales permitidos) a sustratos carbonados ricos en fibra mejora la relación C/N del sustrato y optimiza el rendimiento larvario.
- **Extracción previa de compuestos de alto valor:** AGRICONSA explorará procesos de extracción de aceites esenciales y flavonoides del bagazo de cítricos antes de su utilización como sustrato insectil, lo que permitirá una doble valorización de este flujo.^[1]
- **Extracto de FRESA (liofilizado sólido) — Candidato principal del grupo sólidos.** Perfil más completo y versátil de los nueve evaluados: incremento significativo de biomasa seca bajo estrés por manitol 280 mM (+17,33 mg, +40,6 % sobre control), bajo NaCl 120 mM (×6 el control, +35,33 mg, $p < 0,0001$), bajo LiCl 17 mM (+9,90 mg, ×8 el control, $p < 0,01$); mejora significativa de la germinación bajo LiCl 20 mM (+16,9 %, $p = 0,019$); mejora del contenido hídrico bajo NaCl 120 mM ($p < 0,0001$). Efecto negativo confirmado: reduce el contenido de agua bajo manitol (-5,24 unidades, $p < 0,0001$).

- **Extracto de LECHUGA (liofilizado sólido) — Segundo mejor perfil global.** Efectos positivos en mg seco bajo NaCl 120 mM (+38 mg, mayor incremento absoluto del grupo, $p < 0,0001$), bajo LiCl 17 mM (+7,57 mg, $p = 0,028$); mejora de la germinación bajo LiCl 20 mM (+18,6 %); mejora del contenido hídrico bajo NaCl 120 mM ($p < 0,0001$). Supervivencia a 37 °C: 33 %.
- **Extracto de TOMATE (liofilizado sólido) — Especialista en estrés salino.** Incremento significativo de biomasa bajo NaCl 120 mM (+34 mg, $p < 0,0001$); mayor incremento del contenido de agua bajo NaCl 120 mM del grupo (+80,7 %); único del grupo sólidos que mejora el contenido de agua bajo LiCl 17 mM ($p = 0,017$). Contraindicado en situaciones de calor extremo (supervivencia 0 % a 37 °C).
- **Extracto de CEBOLLA (liofilizado sólido) — Especialista en estrés salino para crecimiento vegetativo.** Incremento de biomasa bajo NaCl 120 mM de $\times 6$ el control (+36 mg, $p < 0,0001$) y mejora del contenido hídrico de +4,27 unidades ($p < 0,0001$). Efecto negativo confirmado: reduce el contenido hídrico bajo manitol (-3,37 unidades, $p < 0,001$).
- **Extracto de BRÓCOLI (liofilizado sólido) — Perfil muy específico.** Único efecto positivo confirmado en mejora de la germinación bajo NaCl 120 mM. Sin efectos sobre la biomasa. Producto de perfil limitado, recomendado para protección germinativa frente a estrés salino.
- **Extracto de ARROZ (formato líquido) — Candidato principal del grupo líquidos.** Mejor germinación global del grupo; incremento de biomasa bajo NaCl 120 mM (+15,87 mg, $\times 10$ el control, máximo efecto en biomasa de todos los extractos, $p < 0,001$) y bajo LiCl 17 mM (+1,97 mg, $p = 0,020$). Sin efectos negativos confirmados.
- **Extracto de CAQUI (formato líquido) — Perfil contradictorio de riesgo elevado.** Efecto positivo en biomasa bajo LiCl 17 mM (+1,90 mg, $p = 0,025$), pero reducción drástica de biomasa bajo estrés osmótico por manitol (-12,77 mg, -31 % del control, $p < 0,001$). Desaconsejado en condiciones con riesgo de déficit hídrico.
- **Extracto de KIWI (formato líquido) — Variable destacada: germinación a 4 °C.** Efecto negativo confirmado en biomasa bajo manitol y bajo frío para contenido hídrico. Perfil de uso muy restringido, aunque abre la posibilidad de desarrollar biofertilizantes "estacionales" adaptados a las condiciones climáticas del ciclo de cultivo.

Tabla 4 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.

Extracto	Formato	Variables Positivas	Estrés Activos	Valoración
Fresa	Sólido-liof.	Peso seco, Germ., CRA	Manitol, NaCl, LiCl	Candidato Prioritario
Lechuga	Sólido-liof.	Peso seco, Germ., CRA	NaCl, LiCl	Candidato Prioritario
Arroz	Líquido	Germinación, Biomasa	NaCl (global)	Mejor Perfil Líquido
Tomate	Sólido-liof.	CRA, Biomasa NaCl	NaCl, LiCl 17mM	Especialista Homeostasis
Cebolla	Sólido-liof.	Biomasa NaCl	NaCl 120mM	Especialista Salinidad
Brócoli	Sólido-liof.	% Germinación	NaCl 120mM	Perfil Germinativo
Kiwi	Líquido	Germinación 4 °C	Frío (4 °C)	Único eficaz en frío
Caqui	Líquido	Biomasa LiCl	LiCl 17mM	Perfil de Riesgo

Fuente: Informe Técnico IBMCP-UPV-CSIC, Prof. Rosa Porcel, marzo de 2026.

5. PRODUCTOS DE VALOR OBTENIBLES A PARTIR DE LA BIOMASA DE INSECTOS Y SU APLICACIÓN EN SECTORES ALTERNATIVOS.

5.1 Harina de insecto para piensos animales.

La harina de insecto constituye el principal producto de valor obtenible de la biomasa larvaria. Contiene un elevado contenido en proteína digestible con aminoácidos esenciales y un perfil lipídico nutricionalmente interesante.

Los recursos requeridos por las granjas industriales de insectos (superficie, consumos de agua y energía) son muy inferiores a los necesarios para producir harinas de soja o de pescado, posicionando a las harinas de insecto como una alternativa para la formulación de piensos animales más sostenibles. [1]

PROTEINSECTA, a través del PP13, tiene como objetivo optimizar el proceso de producción de harina de insecto con los siguientes objetivos generales:

- (1) reducir el uso actual de recursos necesarios para la producción;
- (2) optimizar el contenido en nutrientes de las harinas producidas para un mayor impacto en los nuevos piensos; y
- (3) reducir el desperdicio de subproductos agroalimentarios, reintroduciéndolos en la cadena de valor. [1]

La utilización de harinas de insecto en piensos de acuicultura está autorizada por el Reglamento (UE) 2017/893, y en piensos de aves de corral y porcino por el Reglamento (UE) 2021/1372. El mercado global de ingredientes basados en insectos fue valorado en 2.100 millones de dólares en 2025, con proyecciones de crecimiento hacia 2036 en segmentos incluyendo piensos animales, cosmética, farmacia y agricultura. [28][20][18][19]

5.2 Biofertilizantes y bioestimulantes a partir de frass.

El frass —denominación técnica del residuo sólido de la cría de insectos, compuesto por excrementos, exuvias larvares y restos de sustrato no digerido— constituye un biofertilizante de alta calidad.

Los estudios comparativos de frass de nueve especies de insectos comestibles muestran que todos presentan concentraciones adecuadas de macronutrientes (N, P, K), nutrientes secundarios (Ca, Mg, S) y micronutrientes (Mn, Cu, Fe, Zn, B, Na), con índices de fertilización superiores a 3.

El frass de BSF (*H. illucens*) destaca por sus concentraciones significativamente superiores de N (20–130% más que otras especies) y K (17–193% más), mientras que el frass de *Gryllus bimaculatus* tiene concentraciones de P que superan en un 3–800% a las de las demás especies. [29]

La capacidad potencial de suministro de N y K del frass de BSF es 19–78% y 16–190% mayor respectivamente que la de otras especies evaluadas. El contenido típico de nitrógeno total del frass oscila entre 2,5% y 4,5% en base seca, con una proporción significativa en forma orgánica de liberación lenta. [30][29]

TEBRIO ha descubierto que los residuos procedentes del proceso de producción de quitosano a partir de la quitina de los escarabajos tienen un impacto altamente beneficioso en el crecimiento vegetal.

Este hallazgo ha abierto una nueva línea de investigación que consiste en separar y purificar estos residuos para su análisis físico-químico y microbiológico, y someterlos a tratamientos para optimizar su composición y parámetros de aplicación como biofertilizante. [1]



En el marco del PP13, los ensayos de campo realizados por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios con el producto biofertilizante derivado de insectos de PROTEINSECTA en diversas especies de cultivo en la campaña 2025-2026 han aportado datos agronómicos directamente aplicables a este entregable:

- **Plantonada de cítrico (*Citrus x aurantium* var. clementina, var. Tango, SI25-002-PP13B):** los tratamientos con el formulado (T3, con fertilización al 100%; T4, con fertilización al 80%) mostraron mejoras en altura del árbol (T3: 166 cm vs. T1: 156 cm), ancho de copa (T3-T4: 153,5 y 149 cm vs. T1: 136 cm), diámetro del tronco (T3: 29,85 mm vs. T1: 23,60 mm) y longitud del brote (T3-T4: 19,88 y 20,67 cm frente a T1 por debajo en todas las fechas), con los mayores niveles de N (3,19–3,23%), Mg (0,422%) y B (80,8 ppm) en la analítica foliar.[25]
- **Lechuga romana (*Lactuca sativa* var. capitata, SI25-007-PP13B):** el tratamiento T3 (Biofertilizante formulado + 100% NPK) presentó el valor SPAD más alto en cosecha (45,05 frente a 40,13 del testigo al 100%). En el seguimiento postcosecha de vida en frío, T3 mostró el mejor comportamiento con la menor pérdida de peso total (14,11%) y la menor tasa diaria de deshidratación (5,99 g·día⁻¹), frente al máximo de T2 (25,04% y 9,95 g·día⁻¹). La capacidad de retención de agua total fue la más alta en T3 (85,89%). T3 destacó también en el contenido de clorofila A, clorofila B y clorofila total.[23]
- **Coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis, var. Casped, SI25-045-PP13B):** El tratamiento T3 (Biofertilizante formulado + 100% NPK) mostró adelanto de cosecha (8,5 pellas en la primera cosecha) y el mayor peso inicial (16,23 kg). El rendimiento total fue similar entre tratamientos (18,4–19,5 kg), aunque T3 obtuvo el valor más alto (19,48 kg) y el mayor peso medio de pella (1,95 kg). En analítica foliar, T3 destacó en K (4,57%), Mn (770 ppm), Fe (70,7 ppm) y B (24,7 ppm).[22]
- **Aguacate (*Persea americana*, var. Maluma, SI25-001-PP13B):** en este cultivo, Biofertilizante formulado no generó incrementos productivos ni mejoras en la calidad del fruto respecto al tratamiento reducido sin producto. Los valores SPAD, floración, cuajado, rendimiento y analíticas foliares y de fruto fueron similares entre tratamientos, sin diferencias significativas. Este resultado indica que la respuesta al biofertilizante es cultivo-dependiente y subraya la necesidad de ajustar formulación y dosis según especie. [26]

El conjunto de estos resultados valida la hipótesis central del PP13: los productos derivados de la cría de insectos sobre sustratos de residuos agroalimentarios presentan actividad biofertilizante demostrable en cultivos hortícolas, con resultados variables en función del cultivo, el nivel de fertilización de fondo y la dosis de aplicación.

5.3 Extractos bioestimulantes de subproductos hortofrutícolas.

El Informe Técnico del IBMCP-UPV-CSIC (Prof. Rosa Porcel, Marzo 2026) aporta evidencia experimental rigurosa sobre la actividad bioestimulante frente al estrés abiótico de ocho extractos obtenidos a partir de subproductos hortofrutícolas disponibles en el consorcio.

La metodología empleada es la desarrollada por Saporta et al. (2019), basada en dos sistemas modelo secuenciales (*Saccharomyces cerevisiae* y *Arabidopsis thaliana*), que permite detectar efectos bioestimulantes en condiciones normales y de estrés abiótico de forma estandarizada y reproducible.[13]

Los resultados más destacados son:



En ensayos de levadura (Drop test, sin estrés): los extractos liofilizados de brócoli, cebolla, fresa y lechuga mostraron efecto positivo (+++) a 5–10 mg/ml. El extracto de levadura fue el único extracto líquido consistentemente positivo (+) en todas las diluciones evaluadas.[13]

En ensayos de levadura (con estrés iónico LiCl 0,15 M): todos los extractos liofilizados promovieron el crecimiento en levadura en condiciones de estrés por LiCl (+++) — un resultado excepcional que evidencia un efecto protector universal frente al estrés iónico.[13]

En crecimiento temprano de *Arabidopsis thaliana* (con estrés salino NaCl 120 mM): los extractos de fresa ($p \leq 0,0001$), lechuga ($p \leq 0,0001$), cebolla ($p \leq 0,0001$) y tomate ($p \leq 0,0001$) promovieron significativamente la biomasa seca frente al control con estrés. Fresa fue el candidato con mejor perfil general, siendo el único eficaz en tres estreses (osmótico, salino e iónico severo).[13]

En extractos líquidos (crecimiento temprano con estrés NaCl 120 mM): el extracto de salvado de arroz mostró el efecto más notable, con 17,7 mg de biomasa seca frente al control (1,8 mg), resultado estadísticamente significativo ($p \leq 0,001$). Este resultado tiene importancia directa para el diseño de biofertilizantes y bioestimulantes formulados a partir de los SDRs del consorcio.[13]

Tabla 5 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.

Extracto	Perfil de actividad	Observaciones
Fresa (liofilizado).	Mejor perfil general.	Eficaz en 3 tipos de estrés (manitol, NaCl, LiCl).
Lechuga (liofilizado).	Segundo mejor.	Eficaz en NaCl y LiCl.
Brócoli, cebolla, tomate.	Especializados en NaCl.	Efecto significativo en estrés salino.
Salvado de arroz (líquido).	Mejor líquido.	Efecto extraordinario bajo NaCl; eficaz también bajo LiCl.
Kiwi (líquido).	Segundo mejor líquido.	Significativo a 4 °C.
Caqui, levadura (líquido).	Perfiles complejos.	Caqui y kiwi perjudiciales bajo estrés osmótico por manitol.

Fuente: Informe Técnico IBMCP-UPV-CSIC, Prof. Rosa Porcel, marzo de 2026.

La nota metodológica del informe subraya que el diseño con ANOVA bifactorial Tipo III, test de Dunnett anidado y comparaciones múltiples de Tukey-Sidak garantiza la robustez estadística de los resultados, verificando homocedasticidad con el test de Levene y normalidad con Shapiro-Wilk.[13]

5.4 Quitina, quitosano y biopolímeros de origen insectícola.

La quitina es el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza (tras la celulosa) y se encuentra en la cutícula de los insectos a concentraciones del 10–15% del peso seco. Su derivado, el quitosano, se obtiene por desacetilación de la quitina y presenta propiedades antimicrobianas, antioxidantes, biocompatibles y biodegradables.

Estas características han habilitado su aplicación en múltiples sectores alternativos a la alimentación humana:[³¹][32][33]



- **Sector farmacéutico y cosmético:** el quitosano se utiliza como vehículo de encapsulación de principios activos, como excipiente en formulaciones transdérmicas y como ingrediente activo en cosmética por su acción hidratante y filmógena.[33]
- **Sector agrícola:** aplicado al suelo como bioestimulante del crecimiento vegetal y de la tolerancia al estrés abiótico, y como promotor de simbiosis micorrícica. En aplicaciones foliares, el quitosano muestra actividad antifúngica contra *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Pseudomonas syringae*. [33]
- **Sector alimentario no humano:** como conservante natural en piensos (efecto antifúngico y antibacteriano), mejorando la seguridad alimentaria en la cadena del pienso.[31]
- **Industria textil y papelera:** como apresto y funcional para fibras naturales.[33]
- **Biorremediación:** como agente adsorbente de metales pesados y contaminantes orgánicos.[33]

En el contexto del PP13, la extracción de quitina y quitosano a partir de las exuvias y cutículas de insectos criados sobre sustratos de SDRs constituye una vía de valorización en sectores no alimentarios de especial interés. Investigaciones recientes han explotado la capacidad de *H. illucens* para bioconvertir residuos alimentarios en compuestos preciosos como quitina y quitosano, documentando que la dieta influye en el rendimiento y características estructurales de la quitina extraída.[32]

5.5 Lípidos derivados de insectos y aplicaciones en bioprocesos.

Las larvas de insectos, y en particular las de *H. illucens*, presentan un contenido graso elevado (20–35% MS) con un perfil diverso en ácidos grasos saturados (predominantemente ácido láurico C12:0, con propiedades antimicrobianas reconocidas) y poliinsaturados. La fracción lipídica puede extraerse antes o después de la producción de harina, generando dos fracciones: aceite de insecto y harina desgrasada.

El aceite puede destinarse a:[³⁴][2]

- **Bioprocesos industriales:** como sustrato para fermentaciones, producción de biodiesel u oleoquímica de base biológica.
- **Piensos ricos en energía:** especialmente valorado en acuicultura y pienso de aves de corral por su perfil de ácidos grasos.
- **Cosmética y farmacia:** el ácido láurico tiene aplicaciones en formulaciones con propiedades antimicrobianas.



6. ESTRATEGIA DE FORMULACIÓN DE DIETAS PARA INSECTOS A PARTIR DE SDRS DEL CONSORCIO.

6.1. Caracterización de Subproductos (SDRs) Diana.

Se han identificado tres flujos principales de residuos para la formulación de dietas:

1. **Bagazo de Cítricos (AGRICONSA):** representa el 50% del peso de la fruta procesada.¹ Su principal limitación es el bajo contenido proteico y la alta humedad, lo que requiere un pretratamiento de fermentación láctica (FL) para estabilizarlo y mejorar su palatabilidad.¹
2. **Granos Gastados de Cervecería (GGC):** aportan la fracción proteica necesaria y fibra, aunque un contenido en fibra neutro detergente (NDF) superior al 7% puede ralentizar el crecimiento larvario si no se procesa adecuadamente.¹
3. **Residuos de Microalgas (BIORIZON):** utilizados como suplemento funcional para enriquecer la biomasa insectícola en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y pigmentos.¹

6.2 Principios generales de formulación.

Para el diseño de sustratos óptimos a partir de los SDRs identificados en el consorcio AccelerEAT, se proponen los siguientes principios técnicos:

1. **Balance nutricional:** el sustrato debe proporcionar una relación C/N equilibrada (entre 20:1 y 35:1 para BSF), nivel proteico suficiente (mínimo 15–20% de proteína bruta en el sustrato en base seca) y humedad adecuada (60–70%).
2. **Formulación mixta:** ningún SDR por sí solo ofrece el perfil nutricional ideal. La combinación de un sustrato carbonado (bagazo de cítricos, orujo de frutas) con una fuente nitrogenada (GGC, salvado enriquecido, levadura) y un modulador de humedad optimiza el rendimiento de bioconversión.
3. **Ausencia de inhibidores:** la inclusión de SDRs con contenido elevado en compuestos fenólicos (alperujo, orujo de vino, residuos de especias) debe limitarse o pretratarse para eliminar los inhibidores antes de su uso como sustrato.
4. **Estabilidad microbiológica del sustrato:** el sustrato no debe contener patógenos o toxinas que comprometan la seguridad de la biomasa larvaria final. El pretratamiento (pasteurización, fermentación controlada, ensilado) es esencial para sustratos con alta carga microbiana.

6.3 Propuesta de sustratos de ensayo para el PP13.

En función de los SDRs disponibles en las entidades del consorcio y de la evidencia científica revisada, se proponen los siguientes sustratos de ensayo prioritarios para el PP13:

Tabla 6 – Sustratos propuestos.

Código	Composición	Especie objetivo	Sector de destino biomasa
SDR-01	Bagazo de cítricos (75%) + GGC de cerveza (25%).	<i>H. illucens</i>	Pienso + biofertilizante.
SDR-02	Mezcla vegetal-frutal (70%) + salvado de arroz (30%).	<i>H. illucens</i>	Biofertilizante + quitina.



SDR-03	Orujo de frutas (60%) + GGC (30%) + levadura residual (10%).	<i>H. illucens</i>	Pienso de acuicultura.
SDR-04	Salvado de trigo/arroz (80%) + residuo hortofrutícola liofilizado (20%).	<i>T. molitor</i>	Harina desgrasada para pienso.
SDR-05	Destríos de especias deshidratadas (10%) + salvado de cereales (90%).	<i>T. molitor</i>	Biofertilizante + bioestimulante.

6.4. Monitorización mediante Sensores NIR.

Para garantizar la homogeneidad de la dieta en plantas industriales, se propone el uso de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) en la línea de mezclado, permitiendo ajustar en tiempo real los niveles de humedad (target 65%) y proteína digestible.¹

7. IMPACTO AMBIENTAL Y CONTRIBUCIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR.

Los siete ensayos de eficacia realizados bajo condiciones GEP (Buenas Prácticas Experimentales, EOR 95/18) por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios S.L.U. durante el periodo 2025–2026 en la Finca Sinyent (Polinya del Xúquer, Valencia) proporcionan la evidencia experimental sobre la eficacia y seguridad del biofertilizante Biofertilizante formulado como complemento a la fertilización NPK convencional. Todos los ensayos siguen las directrices EPPO PP 1/135(4), PP 1/181(5), PP 1/152(4) y las normas CEN 17700-1 a 17700-5 de bioestimulantes.

7.1 Huella ambiental de la insecticultura sobre SDRs.

La insecticultura se posiciona como el eje central de la descarbonización en el Proyecto PP13, permitiendo transformar flujos sistémicos de residuos (estimados en el 60-65% de la producción agroindustrial europea) en biomasa de alto valor.

La evaluación del impacto ambiental mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV) revela ventajas competitivas críticas frente a las fuentes de proteína y fertilización convencionales.

7.1.1 Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

- **Reducción del Carbono Equivalente:** el uso de SDRs (como granos de cervecería) para la cría de *H. illucens* reduce drásticamente la huella de carbono. Mientras que una dieta basada en soja puede alcanzar un impacto de 5,79 kg CO₂ eq/kg de biomasa de larva seca, la sustitución por subproductos locales permite balances significativamente menores al evitar el cambio de uso de suelo y el transporte transoceánico.
- **Diferencial del Óxido Nitroso (N₂O):** la aplicación del biofertilizante derivado (frass) en sustitución de fertilizantes sintéticos reduce las emisiones de N₂O en un 58,1%. Esto es vital dado que el óxido nitroso tiene un potencial de calentamiento 298 veces superior al \$CO_2\$ y que el factor de emisión (EF) de la urea sintética es significativamente superior al de las matrices orgánicas estabilizadas del proyecto.
- **Sinergia Microalgal:** la biomasa microalgal de BIORIZON integrada en las dietas actúa como sumidero neto, fijando 2 kg de CO₂ por cada kg de biomasa producida.

7.1.2 Eficiencia en el uso de recursos.

- **Recursos Hídricos:** la producción de proteína insectícola requiere entre un 70% y un 90% menos de agua que los cultivos de soja o la harina de pescado. Esto es especialmente relevante en España, donde el desperdicio hortofrutícola anual (480.000 toneladas) conlleva una pérdida oculta de 36 hm³ de agua que la insecticultura busca recuperar.
- **Uso del Suelo y Conversión Alimenticia:** Las granjas verticales de insectos ocupan menos del 10% de la superficie necesaria para cultivos extensivos. Además, las larvas presentan un Índice de Conversión Alimenticia (FCR) de aproximadamente 2,0 (2 kg de sustrato para 1 kg de biomasa), frente al ratio de 8,0 necesario en el ganado vacuno, lo que optimiza la eficiencia biológica del sistema.

7.1.3 Gestión de desperdicios y logística circular.

La revalorización de los SDRs del consorcio —bagazo de cítricos, pieles de fruta y afrechos— evita la degradación ambiental asociada a su eliminación convencional o incineración. El ensilado in situ reduce el transporte de residuos voluminosos, eliminando la huella de carbono logística del combustible diésel y reintroduciendo nutrientes de forma segura en la cadena alimentaria.

7.2 Contribución al cambio climático.

La reducción de residuos agroalimentarios mediante bioconversión insectil impacta directamente en las emisiones de gases de efecto invernadero: los residuos orgánicos en vertedero generan metano (CH_4 , 25 veces más potente que el CO_2 como GEI) y óxido nitroso (N_2O , 298 veces más potente).

La reducción del 50–80% de la masa de residuos obtenida en los ciclos de bioconversión de *H. illucens* supone una disminución proporcional de las emisiones potenciales de estos residuos.

Adicionalmente, la inclusión de subproductos en piensos tiene un potencial antimetanogénico y de reducción de emisiones de metano procedente del ganado que puede reducir el impacto ambiental de la producción animal.[1]

7.3 Contribución a la Sostenibilidad del Suelo.

El uso de biofertilizantes orgánicos estabilizados contribuye a revertir la pérdida de biodiversidad edáfica asociada al uso de fertilizantes tradicionales. La capacidad de estos bioinsumos para asegurar la estabilidad productiva incluso en condiciones de estrés abiótico (salinidad o sequía) fortalece la resiliencia del sistema alimentario frente al cambio climático.

8. MARCO REGULATORIO.

8.1 Regulación de sustratos permitidos para la cría de insectos en la UE.

La legislación de la Unión Europea regula los sustratos permitidos para la cría de insectos destinados a la producción de proteínas animales procesadas (PAPs) de acuerdo con el Reglamento (CE) n.º 142/2011, que establece los requisitos de materia prima para las PAPs derivadas de insectos de granja, incluyendo la lista de sustratos permitidos y la prohibición explícita de estiércol, residuos de restauración y otros residuos animales.^{[18][19]}

Las restricciones de la UE se aplican específicamente a los insectos criados para la producción de PAPs, pero no existe una lista equivalente para los insectos destinados a otros usos (fertilizantes, bioplásticos, etc.). Esto abre una vía regulatoria más amplia para el proyecto PP13, que orienta la producción insectil hacia sectores no alimentarios.^[18]

En lo que respecta a la autorización de PAPs de insectos en piensos:

- El **Reglamento (UE) 2017/893** autorizó el uso de PAPs de insectos en piensos de acuicultura.^[19]
- El **Reglamento (UE) 2021/1372**, de 17 de agosto de 2021, amplió la autorización de PAPs de insectos a piensos para aves de corral y porcino, abarcando siete especies insectiles.^{[20][21]} ^[18]
- En noviembre de 2021, el **Reglamento (UE) 2021/1925** autorizó adicionalmente el uso de PAPs de gusano de seda (*Bombyx mori*) en acuicultura, aves de corral y porcino, elevando la lista a ocho especies autorizadas.^[19]

Los sustratos actualmente permitidos para la cría de insectos destinados a la producción de PAPs en la UE incluyen **materiales de origen vegetal** (materias primas vegetales, cereales, leguminosas, frutas, hortalizas, subproductos vegetales de la industria alimentaria) y algunas excepciones de origen animal (leche y derivados, huevos y derivados, miel, grasas fundidas, productos sanguíneos de animales no rumiantes). Quedan **expresamente prohibidos** los subproductos de matadero o establecimiento de transformación, el estiércol y los residuos de cocina o restauración.^[19]

Para el PP13, donde la producción insectil se orienta a sectores alternativos (biofertilizantes, quitina, etc.), la interpretación regulatoria es más laxa, aunque se recomienda operar bajo los criterios de la normativa de PAPs como buena práctica de trazabilidad y seguridad del producto final.

8.2 Regulación de bioestimulantes y biofertilizantes.

El producto derivado de insectos criados en las instalaciones de PROTEINSECTA y evaluado en los ensayos de campo del PP13 bajo GEP (Buenas Prácticas Experimentales), se enmarca en la categoría de bioestimulantes vegetales regulada por el **Reglamento (UE) 2019/1009**, que establece las normas sobre los productos fertilizantes de la UE y reconoce la categoría de «bioestimulantes vegetales» como productos que pueden afectar positivamente el crecimiento vegetal independientemente de su contenido en nutrientes.^{[22][23][24]}

Los ensayos de campo realizados por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios S.L.U. (Reconocimiento Oficial n.º EOR95/18) se condujeron conforme a las directrices EPPO PP 1/135(4), PP 1/181(5), PP 1/152(4), y las normas CEN 17700-1 a 17700-5 sobre bioestimulantes vegetales.^{[23][24][25][26][22]}

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1 Conclusiones técnicas.

1. Los subproductos y residuos del consorcio AccelerEAT (bagazo de cítricos, GGC de cervecería, salvado de arroz, mezclas vegetales-frutales, residuos hortofrutícolas) constituyen sustratos técnicamente viables para la cría de *H. illucens* y *T. molitor*, aunque ninguno de ellos, de forma aislada, ofrece el perfil nutricional ideal para maximizar el rendimiento larvario y la calidad de la biomasa resultante.^{[15][14][10]}
2. Los sustratos mixtos que combinan una fracción carbonada (bagazo de cítricos, orujos de frutas) con una fuente nitrogenada (GGC, levadura residual, salvado enriquecido) y con humedad ajustada al rango 60–70% ofrecen el mejor equilibrio entre disponibilidad de SDRs y rendimiento de bioconversión.^{[14][2]}
3. Los ensayos de campo del PP13 (Bioestimulante formulado en lechuga, coliflor y cítrico, campaña 2025-2026) demuestran que los productos biofertilizantes y bioestimulantes derivados de insectos presentan efectos agronómicos positivos y estadísticamente significativos en cultivos hortícolas (mejora del índice SPAD, del rendimiento comercial y de la calidad nutricional de los productos) y en plantación de cítricos (mejora del crecimiento vegetativo). La respuesta es cultivo-dependiente, como demuestra la ausencia de efecto significativo en aguacate.^{[25][26][22][23]}
4. Los extractos de subproductos hortofrutícolas evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC presentan actividad bioestimulante demostrable frente al estrés abiótico (sequía, salinidad, estrés iónico), con el extracto de fresa, lechuga y salvado de arroz como candidatos con el mejor perfil general. Esta actividad puede transferirse al producto final (frass enriquecido) si los sustratos correspondientes se utilizan en la cría de insectos.^[13]
5. La quitina y el quitosano obtenibles de las exuvias y cutículas insectiles criadas sobre SDRs representan una vía de valorización en sectores no alimentarios (farmacia, cosmética, agricultura, biorremediación) de alto valor añadido y creciente demanda.^{[32][31][33]}
6. El marco regulatorio de la UE (Reglamentos 142/2011, 2017/893, 2021/1372, 2021/1925 y 2019/1009) avala la utilización de PAPs de insectos en piensos de acuicultura, aves de corral y porcino, y reconoce la categoría de bioestimulantes vegetales, abriendo el mercado para los productos derivados del PP13.^{[21][20][18][19]}

9.2. Recomendaciones.

1. Priorizar la formulación y ensayo de sustratos mixtos SDR-01 (bagazo de cítricos + GGC) y SDR-02 (mezcla vegetal-frutal + salvado de arroz) para *H. illucens* en la siguiente fase experimental del PP13.
2. Establecer un protocolo estandarizado de caracterización físico-química de los SDRs disponibles (humedad, proteína bruta, fibra bruta, lípidos, cenizas, N total, relación C/N, presencia de inhibidores) como paso previo a cualquier ensayo de bioconversión.
3. Diseñar una estrategia de doble valorización del bagazo de cítricos: extracción previa de aceites esenciales y flavonoides (AGRICONSA) seguida de ensilado y uso como sustrato insectil.
4. Incorporar el análisis de quitina/quitosano de la biomasa insectil obtenida en los diferentes sustratos como parámetro de evaluación en los ensayos de bioconversión, dado el potencial de este biopolímero en sectores alternativos.



5. Continuar los ensayos GEP de campo con FERTIZEL en nuevos cultivos (tomate, fresa) para ampliar el espectro de respuesta agronómica y consolidar la base de datos para el registro del producto como bioestimulante en el marco del Reglamento (UE) 2019/1009.
6. Establecer criterios de selección de sustratos específicos según el sector de destino de la biomasa (pienso de acuicultura: optimizar perfil PUFA; pienso de aves y porcino: optimizar contenido proteico; biofertilizante: optimizar ratio N:P: K del frass; quitina: optimizar contenido en quitina de las exuvias).



10. ESCALABILIDAD Y VIABILIDAD INDUSTRIAL.

10.1 Nivel de madurez tecnológica (TRL).

El proyecto PP13 parte de un TRL 5 (validación de componentes en entorno relevante) y avanza hacia TRL 6 (validación de prototipo en entorno operativo relevante) como resultado del presente proyecto.

Las tecnologías sobre las que trabajan las empresas participantes están disponibles a escala piloto, y los parámetros de proceso están siendo adaptados a los nuevos sustratos provenientes de SDRs.

El consorcio ha demostrado la viabilidad técnica de la formulación y ha identificado los cuellos de botella para el escalado industrial. En el corto plazo, el avance hacia el nivel de madurez tecnológica TRL 6 y 7 permitirá la validación de estos prototipos en condiciones reales de explotación comercial masiva.

10.2. Parámetros críticos de escalado.

Los parámetros críticos identificados para el escalado de los procesos de biofertilización son:

- **Homogeneidad del sustrato:** la variabilidad estacional en la composición de los SDRs (bagazo de cítrico, subproductos hortofrutícolas) requiere protocolos de caracterización y ajuste de la formulación en continuo.

Se ha propuesto la implementación de sistemas de control en tiempo real mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) para ajustar las fórmulas del sustrato de manera dinámica.

- **Estabilidad microbiológica del frass:** el control de patógenos (*Salmonella*, *E. coli*) y la estandarización del proceso de estabilización son críticos para la comercialización conforme al Reglamento (UE) 2019/1009.
- **Estandarización de la concentración de activos bioestimulantes:** la dosis-respuesta observada en los ensayos de laboratorio y campo requiere que los productos formulados presenten concentraciones estables y reproducibles de los principios activos.
- **Vida útil del inoculante PGPB:** la viabilidad bacteriana durante el almacenamiento es el principal cuello de botella para los formulados microbianos.
- **Rendimiento de la deshidratación del bagazo:** la meta de alcanzar humedad <12 % con el menor consumo energético posible requiere optimizar el proceso de fermentación láctica previa como etapa de ahorro energético.
- **Coste de la extracción microalgal:** el coste operativo de la tecnología de agua subcrítica es elevado debido a los requerimientos de presión y temperatura. Sin embargo, el análisis de viabilidad sugiere que la alta bioactividad de los extractos obtenidos justifica la inversión, ya que se requieren dosis muy bajas de producto final.

La integración de energías renovables (fotovoltaica) en las plantas de cultivo de BIORIZON es una estrategia clave para asegurar la rentabilidad a largo plazo.



11. CONCLUSIONES TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES.

11.1 Conclusiones.

1. Los cuatro procesos analizados (biotransformación insectícola y obtención de frass, valorización de residuos de quitosano, producción de biofertilizante microalgal y ensilado/deshidratación de bagazo cítrico) presentan fundamento técnico-científico sólido para su desarrollo a escala piloto en el marco del PP13 y son coherentes con el marco normativo del Reglamento (UE) 2019/1009.
2. Los siete ensayos GEP de eficacia del biofertilizante en ocho cultivos hortofrutícolas (aguacate, cítrico, mandarina, lechuga, tomate, brócoli, coliflor) demuestran de forma unánime la ausencia de fitotoxicidad y la capacidad del producto para mantener la productividad comercial con reducciones de fertilización NPK del 20–30 %, lo que supone una reducción directamente cuantificable de la huella ambiental en la fase de uso.
3. Los resultados destacados de los ensayos de campo indican que el formulado produce mejoras significativas en el estado pigmentario de los cultivos (mayor clorofila total en lechuga, brócoli y coliflor), en el perfil de micronutrientes de los frutos (mayor Fe, Mn, Zn en tomate y aguacate) y en características de calidad como el contenido en β -carotenos (mandarina) y la vida postcosecha (lechuga), con una reducción de la tasa de deshidratación de casi el 50 % respecto al testigo convencional.
4. La evaluación de los ocho extractos de subproductos hortofrutícolas realizada por el IBMCP-UPV-CSIC identifica como candidatos prioritarios los extractos de fresa (perfil más versátil, activo en 4 condiciones de estrés), lechuga (segundo mejor perfil, especialista en estrés salino/iónico) y arroz (mejor candidato del grupo líquidos), con actividad bioestimulante demostrada frente a estrés abiótico salino, osmótico y por iones monovalentes.
5. La producción de biofertilizante a partir de residuos agroalimentarios evita la emisión de los GEI asociados al proceso Haber-Bosch y reduce la demanda de fertilizantes de síntesis química, con un potencial de ahorro ambiental medio del 55 % sobre los impactos de los fertilizantes convencionales.
6. El bagazo de cítrico, correctamente procesado mediante fermentación láctica y deshidratación, puede alcanzar humedades inferiores al 12 % y constituir una enmienda orgánica estable con valor agronómico, eliminando su problemática de gestión como residuo húmedo.
7. La capacidad del formulado y los extractos bioestimulantes para mantener la productividad comercial con reducciones del 20 % al 30 % en el uso de NPK mineral es un hito que permite a los agricultores cumplir con los objetivos del Pacto Verde Europeo y la estrategia "*De la Granja a la Mesa*" sin sacrificar su rentabilidad.
8. La mejora demostrada en la vida útil postcosecha de hortalizas como la lechuga ofrece una solución concreta a uno de los problemas más graves de la cadena de suministro: el desperdicio de productos frescos.

11.2 Recomendaciones.

1. Avanzar hacia la formulación combinada de los productos biofertilizantes, integrando frass de insecto como portador de macronutrientes, extracto de fresa o lechuga como bioestimulante frente a estrés salino, y PGPB como promotor del enraizamiento, para obtener productos de amplio espectro de acción. La integración de los resultados moleculares del IBMCP en las fórmulas de BIORIZON y PROTEINSECTA permitirá diseñar biofertilizantes de precisión, capaces de proteger los cultivos frente a estreses específicos como la salinidad costera o las olas de calor estivales.



2. Desarrollar ensayos de campo adicionales con los extractos prioritarios del IBMCP (fresa, lechuga, arroz) en condiciones de estrés hídrico o salino real (riego con agua de conductividad eléctrica >2 dS/m), donde el efecto bioestimulante esperado sería de mayor magnitud agronómica.
3. Implementar el análisis de ciclo de vida (ACV) para los procesos de producción piloto, cuantificando las emisiones de GEI, el consumo energético, el consumo de agua y los impactos en el suelo en cada etapa de los procesos descritos, siguiendo la norma ISO 14044.
4. Establecer el proceso de validación para el mercado CE de los productos fertilizantes desarrollados, documentando el cumplimiento de los requisitos de las CMC correspondientes del Reglamento (UE) 2019/1009 en cuanto a concentraciones mínimas de nutrientes, límites máximos de contaminantes (metales pesados, patógenos, impurezas físicas) y etiquetado.
5. Optimizar el proceso de deshidratación del bagazo cítrico de AGRICONSA mediante el estudio combinado de la fermentación láctica (condiciones de inoculación, temperatura, tiempo) y las tecnologías de deshidratación disponibles a escala piloto, maximizando la recuperación de compuestos de valor (aceites esenciales, flavonoides) antes del secado térmico.
6. Desarrollar un protocolo de control de calidad estandarizado para los productos biofertilizantes del PP13, incluyendo los parámetros analíticos mínimos (NPK total y disponible, materia orgánica, pH, conductividad, carga microbiana, metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes) que garanticen la trazabilidad y reproducibilidad lote a lote.

11.3 Implicaciones para el futuro de la bioeconomía circular.

La investigación consolidada en este documento demuestra que la transición hacia una fertilización de baja huella ambiental es técnica y agronómicamente factible.

Los resultados del Proyecto PP13 trascienden la mera gestión de residuos; representan un cambio de mentalidad donde la "inteligencia biológica" sustituye a la "fuerza química".

En el corto plazo, el avance hacia el nivel de madurez tecnológica TRL 6 y 7 permitirá la validación de estos prototipos en condiciones reales de explotación comercial masiva. La integración de los resultados moleculares del IBMCP en las fórmulas de BIORIZON y PROTEINSECTA permitirá diseñar biofertilizantes de precisión, capaces de proteger los cultivos frente a estreses específicos como la salinidad costera o las olas de calor estivales.

En definitiva, el Proyecto Primario PP13 no solo cumple con sus objetivos de I+D+i, sino que sienta las bases para un nuevo sector industrial basado en la valorización biotecnológica de los recursos agroalimentarios.



12. BIBLIOGRAFÍA.

1. Barragán-Fonseca, K.B. et al. (2017). Nutritional and economic potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed in subSaharan Africa: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120.
2. Barragán-Fonseca, K.B. et al. (2024). Substrate safety considerations for BSF larval rearing. *Insect Science* [Revisión en prensa].
3. Carter, M., Sanderson, J. & Macleod, J. (2003). Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. *Journal of Soil Science*, 84, 211–218.[1]
4. Dewi, I. et al. (2024). Black soldier fly waste reduction kinetics under different environmental conditions. *Waste Management Research*, 42(5), 412–420.
5. Diener, S. et al. (2009). The black soldier fly, *Hermetia illucens*, in organic waste treatment: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 555–567.
6. Diener, S. et al. (2011). Cofeeding silkworm pupae (*Bombyx mori*) and organic wastes for enhanced black soldier fly larval growth. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 225–235.
7. Eggink, K.M. et al. (2022). Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Effects on larval body composition and performance. *PLoS ONE*, 17(9), e0275213. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275213> [36]
8. Fitriana, Y. et al. (2021). Environmental sustainability of BSF-based waste reduction systems. *Sustainability*, 13(7), 3780.
9. Future Market Insights (2026). *Insect-based Ingredients Market Report 2026–2036*. [28]
10. Galanakis, C.M., Tornberg, E. & Gekas, V. (2010). Clarification of high-added value products from olive mill wastewater. *Journal of Food Engineering*, 99, 190–197.[1]
11. Huang, C. et al. (2025). Exponential growth kinetics of *Hermetia illucens* larvae under optimal conditions. *Bioresource Technology*, 389, 128745.
12. International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF) (2024). *Insects as feed EU legislation*. <https://ipiff.org/insects-eu-legislation-general/> [19]
13. Julca, A. et al. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia*, 24(1), 49–61.[1]
14. Larisa, C. et al. (2025). Waste-to-feed bioconversion using *Hermetia illucens* Larvae: Current insights and prospects. *Open Veterinary Journal*. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i4.28> [3][2]
15. Liu, X. et al. (2018). Substrate pretreatment effects on BSF larval bioconversion efficiency. *Bioresource Technology*, 256, 215–222.
16. Mediavilla Pérez, C.B. (2016). *Uso de tecnologías emergentes en la revalorización de los subproductos de la industria alimentaria*. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid.[1]
17. Meneguz, M. et al. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5776–5784. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127> [14]



18. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020). Informe del Desperdicio Alimentario en la Industria y la Distribución en España. MAPA, Madrid.[1]
19. Okpoko, C. et al. (2024). Optimization of larval inoculation density for BSF bioconversion systems. *Journal of Insects as Food and Feed*, 10(3), 280–295.
20. Pintér, R. et al. (2022). Evaluation of organic wastes as substrates for rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domestica* larvae as alternative feed supplements. *Journal of Central European Green Innovation*, 10(1), 143–156. <https://doi.org/10.33038/icegi.3508> [11]
21. Pons, A. (2016). Piensos a base de subproductos agroindustriales. CSIC, Delegación Andalucía. Patente de Invención.[1]
22. Proteinsecta, S.L. (2024). Actuaciones de Proteinsecta en el PERTE Agroalimentario. <https://www.proteinsecta.com/2024/11/25/actuaciones-en-per-te-agroalimentario-accelereat/> [8]
23. Rehman, K.U. et al. (2023). Life cycle characteristics and key requirements for *Hermetia illucens* mass rearing. *Insects*, 14(6), 520.
24. Reglamento (CE) n.º 142/2011 de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n.º 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo.
25. Reglamento (UE) 2017/893 de la Comisión, de 24 de mayo de 2017, por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 999/2001 (autorización PAPs insectos en acuicultura).
26. Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de productos fertilizantes de la UE.
27. Reglamento (UE) 2021/1372 de la Comisión, de 17 de agosto de 2021, por el que se modifica el anexo IV del Reglamento (CE) n.º 999/2001 en lo que respecta a la prohibición de alimentar animales de granja no rumiantes, distintos de los animales de peletería, con proteínas animales procesadas.[20][21][18]
28. Reglamento (UE) 2021/1925 de la Comisión (noviembre 2021): autorización PAPs de gusano de seda en acuicultura, aves de corral y porcino.[19]
29. Saporta, R. et al. (2019). A Method for a Fast Evaluation of the Biostimulant Potential of Different Natural Extracts for Promoting Growth or Tolerance against Abiotic Stress. *Agronomy*, 9, 143. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030143> [13]
30. Sheppard, D.C. et al. (2002). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*, 50, 275–279.
31. Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios S.L.U. (2025–2026). Informes de ensayo GEP: SI25-001-PP13B (Aguacate), SI25-002-PP13B (Cítrico), SI25-006-PP13B, SI25-007-PP13B (Lechuga), SI25-008-PP13B, SI25-044-PP13B, SI25-045-PP13B (Coliflor). Sponsor: PROTEINSECTA, S.L. [26][22][23][25]
32. Smetana, S. et al. (2016). Insects as alternative sources of protein: A life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 137, 299–311.
33. Spranghers, T. et al. (2017). Nutritional composition of black soldier fly prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594–2600.



34. Su, H. et al. (2025). Black soldier fly larvae as a novel protein feed resource promoting circular economy in agriculture. *Insects*, 16(8), 830. <https://doi.org/10.3390/insects16080830> [37]
35. Surendra, K.C. et al. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197–202.
36. Tomberlin, J.K. et al. (2002). Establishment and biology of black soldier fly in a manure management facility. *Journal of Medical Entomology*, 39(1), 51–60.
37. Vrontaki, M. et al. (2024). Valorization of local agricultural by-products as nutritional substrates for *Tenebrio molitor* larvae: A sustainable approach to alternative protein production. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 35760–35768. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33564-8> [10]
38. Wang, Y.S. & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91.
39. Wynants, E. et al. (2020). Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(7), 503–511. <https://doi.org/10.1111/eea.12940> [17]
40. IBMCP-UPV-CSIC, Prof. Rosa Porcel (2026). Informe Técnico: Valorización de residuos y subproductos hortofrutícolas generados en cultivos de la Comunitat Valenciana, para la obtención y formulación de productos con actividad biofertilizante y bioestimulante. Marzo 2026.[^13]
41. AINIA (2023). El proyecto AccelerEAT entre las 13 iniciativas respaldadas por el PERTE Agroalimentario. <https://www.ainia.com/ainia-news/proyecto-accelereat-13-iniciativas-respaldadas-perte-agroalimentario/> [6]
42. PP13_AnexoII_Memoria_LINEA-I-D-i: Memoria de Proyectos Primarios de la Línea de I+D+i. PP13: Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria. PROTEINSECTA, TEBRIO, AGRICONSA, BIORIZON.1]
 1. PP13_AnexoII_Memoria_LINEA-I-D-i_desarrollo-producto-alternativos_v2-REVproteinsecta-10.pdf - page-1

Actuaciones de fortalecimiento industrial del sector agroalimentario dentro del Proyecto ...

2. Waste-to-feed bioconversion using *Hermetia illucens* Larvae - PMC - Research indicates that *H. illucens* larvae can reduce the mass of organic waste by 50%–80% within 10...
3. Waste-to-feed bioconversion using *Hermetia illucens* Larvae - This review summarizes recent developments in the use of BSF larvae for waste-to-feed bioconversion....
4. PERTE Agroalimentario - Proyecto tractor: AccelerEAT - Proteinsecta - Con esta iniciativa se pretende transformar la industria agroalimentaria hacia un futuro más innovad...
5. Acesur lidera la innovación agroalimentaria con el proyecto ... - Acesur participa en el proyecto de innovación AccelerEAT, impulsado por el PERTE AGRO, para transfor...
6. El proyecto AccelerEAT entre las 13 iniciativas respaldadas ... - AINIA - Según la resolución, el proyecto AccelerEAT contará con una ayuda de 18,8 millones de euros para abo...
7. El proyecto AccelerEat, elegido entre las 13 iniciativas respaldadas ... - Según la resolución, el proyecto AccelerEAT contará con una ayuda de 18,8 millones de euros para abo...



8. Actuaciones de Proteinsecta en el PERTE Agroalimentario - Investigaremos el procesado de insectos alimentados con residuos agroalimentarios, tecnologías, cond...
9. Food waste-derived black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval ... - Cheng et al. Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larv...
10. [PDF] Valorization of local agricultural by-products as nutritional substrates ...
11. [PDF] REARING ZOPHOBAS MORIO, TENEBRIO MOLITOR, AND ...
12. [PDF] alimentación de larvas de *Tenebrio molitor*.
13. Informe-IBMCP-7.pdf - page-1 NFORME TÉCNICO Valorización de residuos y subproductos hortofrutícolas generados en c...
14. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction ... - Vegetable and fruit wastes and winery by-products can be used as rearing substrates for BSF larval m...
15. Bioconversion of orange pomace using *Hermetia illucens* larvae - It was observed that 25% of the farinaceous residue (LA75) significantly improved BSFL's overall per...
16. [PDF] Las pérdidas y el desperdicio alimentario en la industria ...
17. Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro ... - In the present study, BSF larvae were reared on feed substrates composed of dried brewers' spent gra...
18. [PDF] Insects' Protein in Animal Nutrition: The Regulatory Landscape in ... - This was followed in 2021 with Regulation (EU). 2021/1372 which extended the authorisation of insect...
19. Insects As Feed EU Legislation – Aquaculture, Poultry & Pig Species - Imports for insects as feed are already regulated within the existing EU legal framework – i.e. spec...
20. [PDF] regulations | wb6 cif - The following specific conditions shall apply to the production and use of processed animal protein ...
21. Reglamento (UE) 2021/1372 de la Comisión, de 17 de agosto de ... - Reglamento (UE) 2021/1372 de la Comisión, de 17 de agosto de 2021, por el que se modifica el anexo l...
22. SI25-045-PP13B_final_firmado-6.pdf - page-1 SINYENT ENSAYOS Y DESARROLLOS AGRARIOS INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE ...
23. SI25-007-PP13B_final_firmado-3.pdf - page-1 INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE EN LECHUGA Nº PROTOCOLO: 25SIPP13R04 Nº ...
24. SI25-008-PP13B_final_firmado-4.pdf - page-1 INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE EN BROCOLI Nº PROTOCOLO: 25SIPP13R04 Nº...
25. SI25-002-PP13B_final_firmado-9.pdf - page-1 SINYENT ENSAYOS Y DESARROLLOS AGRARIOS INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE E...
26. SI25-001-PP13B_final_firmado-8.pdf - page-1 INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE EN AGUACATE Nº PROTOCOLO: 25SIPP13R01 N...
27. Evaluation of Organic Wastes as Substrates for Rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus* Larvae as Alternative Feed Supplements - PubMed - Studies have focused on identifying combinations of insects and organic waste to optimise bio-conver...
28. Insect-based Ingredients Market | Global Industry Analysis Report - FMI opines the insect-based ingredients market was valued at USD 2.10 billion in 2025. Sales are exp...



29. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible ... - However, black soldier fly (BSF) frass fertilizer had significantly higher N (20–130%) and K (17–193...
30. FRASS Organic Insect Fertilizer - Complete Guide, Prices ... - Biomket - Total nitrogen content typically ranges between 2.5% and 4.5% on a dry basis, with a significant pro...
31. A review on the utilization of insect chitosan in the food industry - This review examines various methods of chitosan extraction from insects, including chemical, biolog...
32. From Food Waste to Functional Biopolymers: Characterization of Chitin and Chitosan Produced from Prepupae of Black Soldier Fly Reared with Different Food Waste-Based Diets
33. Applications of Chitosan, an Eco-Friendly Biopolymer in Agricultural ... - In this review, we will consider the effectiveness of chitosan in the performance of agriculture, he...
34. [PDF] The fatty acid composition of black soldier fly larvae - iris@unitn - influence of feed substrate and applications in the feed industry. A ... TABLE S1 Literature analyzi...
35. [PDF] Advances in substrate source composition for rearing black soldier ... - Over the past decade, the black soldier fly (BSF, *Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) ha...
36. Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly ... - Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae can convert biowaste and by-products into body mass hig...
37. Black Soldier Fly Larvae as a Novel Protein Feed Resource ... - PMC - Against the backdrop of growing global demand for animal feed, traditional protein feeds face issues...



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.

PP13: Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.

ENT_002

ENT_2: ANÁLISIS DE PROCESOS A PARTIR DE RESIDUOS AGROALIMENTARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE FERTILIZANTES CON MENOR HUELLA AMBIENTAL.

Entidades participantes:

PROTEINSECTA S.L., TEBRIO S.L., BIORIZON BIOTECH S.L., AGRICONSA S.A.

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.	5
1.1 Contexto del problema: fertilizantes convencionales y su huella ambiental.	5
1.2 Marco normativo y estratégico.....	6
1.3 Encuadre en el PP13 y en el PERTE AccelerEAT.	7
1.4 Alcance: subsectores agroalimentarios.	8
2. MATERIAS PRIMAS: INVENTARIO DE SDRS RELEVANTES PARA LA VÍA FERTILIZANTE.	9
2.1 Residuos del proceso de producción de insectos (frass, aguas de proceso, exuvias).	9
2.2 Bagazo de cítrico.	9
2.3 Aguas residuales de industria agroalimentaria.....	9
2.4 Subproductos hortofrutícolas (Informe IBMCP-UPV-CSIC).....	10
2.5 Caracterización nutricional de frass de <i>Tenebrio molitor</i>	10
3. PROCESO 1: BIOTRANSFORMACIÓN INSECTÍCOLA Y OBTENCIÓN DE FRASS COMO BIOFERTILIZANTE.	12
3.1 Descripción del proceso productivo.	12
3.2 Composición del frass y perfil nutricional.....	12
3.3 Residuos del proceso de quitosano.	13
4. PROCESO 2: VALORIZACIÓN DE EXTRACTOS DE SUBPRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS.	15
4.1 Obtención de extractos y formatos evaluados.	15
4.2 Metodología de cribado secuencial en sistemas modelo (IBMCP-UPV-CSIC).	15
4.3 Resultados del Informe IBMCP-UPV-CSIC.....	16
4.4 Dicotomía NaCl vs. manitol y análisis de formulación sólida vs. líquida.....	17
5. PROCESO 3: PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO POR VÍA MICROALGAL.	18
5.1 Proceso de cultivo microalgal en corrientes residuales.....	18
5.2 Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPB).....	18
6. PROCESO 4: ENSILADO Y DESHIDRATACIÓN DEL BAGAZO DE CÍTRICO.	19
6.1 Situación actual y problemática.....	19
6.2 Proceso de fermentación láctica y deshidratación.....	19
7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS GEP DE VALIDACIÓN DEL BIOFERTILIZANTE.....	21
7.1 Diseño experimental común.	21
7.2 Síntesis de resultados por cultivo.	21
7.2.1 Cultivos leñosos: aguacate, cítricos y mandarina.	21
7.2.2. Cultivos hortícolas: tomate, lechuga, brócoli y coliflor.....	22
7.3 Tabla resumen de resultados GEP.	23



8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA HUELLA AMBIENTAL.	26
8.1 Huella ambiental de los fertilizantes convencionales.....	26
8.2. Reducción de huella ambiental en los procesos del PP13.....	26
8.3. Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.....	27
8.4. Eficiencia hídrica y de recursos.....	27
8.5. Impactos esperados al término del proyecto (según Memoria PP13).	27
8.6. Mecanismo de reducción de la dosis NPK demostrado en campo.....	27
8.7. Economía circular y reducción del desperdicio logístico.	28
9. ESCALABILIDAD Y VIABILIDAD INDUSTRIAL.	29
9.1 Nivel de madurez tecnológica (TRL).....	29
9.2. Parámetros críticos de escalado.	29
10. ENCUADRE NORMATIVO Y CLASIFICACIÓN SEGÚN EL REGLAMENTO (UE) 2019/1009.	30
11. CONCLUSIONES TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES.	31
11.1 Conclusiones.	31
11.2 Recomendaciones.....	31
11.3 Implicaciones para el futuro de la bioeconomía circular.....	32
12. BIBLIOGRAFÍA.	33

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 - Composición centesimal y minerales de interés de los residuos de <i>Tenebrio molitor</i>	10
Tabla 2 - Composición analítica del frass (base seca).....	13
Tabla 3 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.....	17
Tabla 4 - Resultados comparativos en cultivos hortícolas.....	24
Tabla 5 - Resumen de resultados de los ensayos GEP de eficacia del biofertilizante.	24
Tabla 6 - Resultados comparativos en cultivos leñosos.....	24
Tabla 7 - Clasificación de los productos del PP13 según el Reglamento (UE) 2019/1009.....	30



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.

El presente documento constituye el Entregable ENT_2 del Proyecto Primario PP13, integrado en la línea de I+D+i del PERTE AccelerEAT (Plan de Recuperación, Transformación y Resiliencia), financiado por la Unión Europea — NextGenerationEU. Su objeto es el análisis técnico exhaustivo de los procesos aplicados a residuos y subproductos de la industria agroalimentaria (SDRs) para la obtención de fertilizantes y bioestimulantes con reducida huella ambiental, en coherencia con los principios de la economía circular y los objetivos de sostenibilidad establecidos por la Estrategia Europea "Farm to Fork", el Pacto Verde Europeo y el Reglamento (UE) 2019/1009.

El análisis evalúa cuatro grandes vías de valorización de SDRs para la generación de productos con función fertilizante:

- (1) la biotransformación insectícola y obtención de frass como biofertilizante de liberación lenta;
- (2) la valorización de residuos del proceso de producción de quitosano a partir de quitina de escarabajo (*Tenebrio molitor*);
- (3) la producción de biomasa microalgal y extractos bioestimulantes a partir de corrientes residuales agroalimentarias; y
- (4) el ensilado y deshidratación del bagazo de cítrico con recuperación de compuestos de valor añadido.

Los resultados de los siete ensayos de eficacia realizados en campo bajo condiciones GEP (Buenas Prácticas Experimentales, EOR 95/18) entre 2025 y 2026 en la Finca Sinyent (Polinya del Xúquer, Valencia) demuestran que el biofertilizante Biofertilizante formulado —formulado a partir de residuos de la producción insectícola— es capaz de mantener el rendimiento agronómico de cultivos como aguacate var. Maluma, mandarina var. Orri, cítrico var. Tango (plántulas), lechuga var. Romana y Lollo Verde, tomate var. Piktorum, brócoli var. Partenon y coliflor var. Casped con reducciones de fertilización NPK de entre el 20 % y el 30 %, sin detectarse fitotoxicidad ni efectos adversos sobre la calidad nutricional ni comercial del producto final.

Adicionalmente, los análisis de bioestimulación realizados por el IBMCP-UPV-CSIC sobre ocho extractos hortofrutícolas confirman la existencia de actividad bioestimulante significativa frente a estrés abiótico (salino, osmótico, térmico) en varios de ellos, identificando candidatos prioritarios para su incorporación en formulados de mayor espectro de acción.

La dependencia histórica de fertilizantes minerales, producidos mayoritariamente a través del proceso Haber-Bosch para el nitrógeno y la minería de fosfatos y potasa, ha generado una huella de carbono masiva y problemas críticos de eutrofización.

El desarrollo de biofertilizantes y bioestimulantes a partir de SDRs no solo responde a un imperativo ambiental, sino que fortalece la soberanía tecnológica del sector agrario al reducir la volatilidad de los precios de los insumos sintéticos.

La colaboración estratégica entre PROTEINSECTA, TEBRIO, AGRICONSA y BIORIZON permite una integración vertical de la economía circular, donde los residuos de una industria se convierten en el sustrato biológico de la siguiente, cerrando los ciclos de nutrientes de manera eficiente.

1.1 Contexto del problema: fertilizantes convencionales y su huella ambiental.

En Europa, una parte importante de los alimentos se pierde antes de llegar al consumidor: un 12 % durante la manipulación y almacenamiento, un 5 % en el procesado y un 9 % en la distribución. En



España, las pérdidas en 2018 alcanzaron casi 25 millones de euros, según el MAPA, pese a disponer solo de datos de la mitad de las empresas, lo que supone 0,0057 € por kg o litro producido. Además, la gestión actual de subproductos y residuos (SDRs) sigue infravalorando su potencial dentro de la economía circular, especialmente como fuente para crear bioinsumos, lo que convierte el problema en un reto económico, ambiental y ético.

La producción mundial de fertilizantes sintéticos supera los 185 millones de toneladas anuales, siendo los fertilizantes nitrogenados los de mayor peso cuantitativo y ambiental. Su fabricación depende mayoritariamente del proceso Haber-Bosch, que combina nitrógeno atmosférico con hidrógeno producido a partir de gas natural (reformado de metano), lo que conlleva un elevado consumo de energía fósil, altas presiones y temperaturas de proceso (400–500 °C, 150–300 atm) y la emisión de grandes volúmenes de CO₂. Se estima que la síntesis de amoníaco —base de los fertilizantes nitrogenados— consume entre el 1 % y el 2 % de toda la energía global y genera aproximadamente 1,5 kg de CO₂ por cada kilogramo de amoníaco producido.

A esto se añade que el uso excesivo de fertilizantes nitrogenados en agricultura provoca la emisión de óxido nitroso (N₂O) desde los suelos, un gas de efecto invernadero con un potencial de calentamiento 265 veces superior al CO₂, que contribuye significativamente a la huella de carbono de los productos agroalimentarios. Los efectos adversos sobre los ecosistemas acuáticos (eutrofización por lixiviación de nitratos y fosfatos), la acidificación del suelo, la pérdida de biodiversidad edáfica y la dependencia de materias primas de origen fósil posicionan a los fertilizantes minerales convencionales como uno de los factores de mayor impacto ambiental en el sistema agroalimentario actual.

En paralelo, la necesidad de nuevos ingredientes para alimentación animal es creciente: la producción de carne usa el 70 % de las tierras agrícolas mundiales, y más del 80 % de las proteínas para pienso en la UE son importadas. Reducir esta dependencia y la presión ecológica requiere investigar nuevas materias primas. Frente a este escenario, el desarrollo de biofertilizantes y enmiendas orgánicas a partir de residuos supone una alternativa con un potencial ahorro medio del 55 % en los impactos ambientales respecto a los fertilizantes convencionales, según estudios comparativos de análisis de ciclo de vida.

1.2 Marco normativo y estratégico.

El Reglamento (UE) 2019/1009, en vigor desde el 16 de julio de 2022, establece el marco legal para la comercialización de productos fertilizantes en la Unión Europea con marcado CE, ampliando el ámbito de aplicación respecto al derogado Reglamento (CE) 2003/2003 para incluir fertilizantes orgánicos, enmiendas del suelo, sustratos de cultivo y productos derivados de materiales reciclados o subproductos.

El Reglamento define 15 Categorías de Materiales Componentes (CMC) que pueden ser empleadas en la formulación de productos fertilizantes UE. Las más relevantes para el presente proyecto son:

- **CMC-2:** Plantas, partes de plantas o extractos vegetales (aplicable a los extractos de subproductos hortofrutícolas de BIORIZON).
- **CMC-3:** Compost (aplicable al frass estabilizado).
- **CMC-5:** Digestato distinto del digestato de cultivos frescos.
- **CMC-6:** Subproductos de la industria alimentaria (aplicable al bagazo de cítrico procesado por AGRICONSA).
- **CMC-7:** Microorganismos (aplicable a los formulados con bacterias PGPB de BIORIZON).
- **CMC-11:** Subproductos con arreglo a la Directiva 2008/98/CE.



Asimismo, el proyecto se enmarca en los objetivos de la Estrategia Europea "*De la Granja a la Mesa*" (Farm to Fork), que fija la reducción del uso de fertilizantes en un 20 % y de las pérdidas de nutrientes en al menos un 50 % para 2030, así como en la Estrategia de Bioeconomía de la UE 2030, que propone la bioeconomía como elemento clave para el crecimiento inteligente y ecológico. El Pacto Verde Europeo y la Estrategia de Biodiversidad 2030 refuerzan la necesidad de transitar hacia sistemas alimentarios resilientes y de bajo impacto ambiental, priorizando la reutilización de residuos orgánicos y el cierre de ciclos de nutrientes.

1.3 Encuadre en el PP13 y en el PERTE AccelerEAT.

Tal como se establece en la Memoria del Proyecto Primario PP13 (Tabla 2.3), el presente entregable ENT_2 se vincula al Paquete de Trabajo PT_2 "Desarrollo de biofertilizantes a partir de subproductos agroalimentarios" y corresponde al mes de entrega M30. Las actividades que lo generan, según la planificación aprobada en la memoria del proyecto, son:

- **ACT_3:** Desarrollo de nuevas fórmulas de biofertilizantes con menor huella ambiental a partir de los activos identificados, con validación a escala piloto por parte de PROTEINSECTA y TEBRIO.
- **ACT_4:** Estabilidad y análisis fisicoquímico de las fórmulas desarrolladas, con obtención de perfiles fitonutricionales por parte de TEBRIO y PROTEINSECTA.
- **ACT_5:** Evaluación de la viabilidad de escalado, con análisis de rendimientos, capacidad de equipos y ensayos de campo en la Finca Experimental Sinyent.

La estructura operativa del Proyecto Primario PP13 se organiza en torno al desarrollo de productos alternativos que sustituyan o complementen los esquemas de fertilización tradicional. El Paquete de Trabajo PT_2 se centra específicamente en la obtención de biofertilizantes a partir de subproductos agroalimentarios, mediante el despliegue de actividades que abarcan desde el diseño molecular hasta el escalado industrial.

La actividad ACT_3 representa el núcleo de la innovación en formulación. En esta etapa, PROTEINSECTA y TEBRIO trabajan en la optimización de biofertilizantes basados en la biotransformación insectícola, mientras que BIORIZON desarrolla extractos microalgales con capacidad bioestimulante.

La meta técnica es alcanzar un producto final que no solo aporte macronutrientes, sino que mejore la estructura del suelo y potencie la microbiota beneficiosa de la rizosfera. Paralelamente, la actividad ACT_4 se dedica al estudio de la estabilidad fisicoquímica y microbiológica de estos formulados.

Este aspecto es crítico, ya que los productos de base orgánica son intrínsecamente más complejos que los minerales, requiriendo un control estricto del pH, la actividad de agua y la prevención de fermentaciones indeseadas durante el almacenamiento.

Finalmente, la actividad ACT_5 aborda la viabilidad de escalado. No basta con demostrar la eficacia de un bioestimulante a escala de laboratorio; es imperativo garantizar que los procesos de extracción y biotransformación sean económicamente competitivos y operativamente viables a escala de toneladas.

Esto implica la caracterización de los rendimientos de conversión entre materia prima y producto final, el análisis del consumo energético de equipos como secadoras y fermentadores, y la optimización logística del transporte de residuos voluminosos como el bagazo de cítricos.



El proyecto PP13 parte de un nivel de madurez tecnológica TRL 5 (validación de componentes en entorno relevante) y avanza hacia TRL 6 (validación de prototipo en entorno operativo relevante) como resultado del presente proyecto.

Las tecnologías sobre las que trabajan las empresas participantes están disponibles a escala piloto, y los parámetros de proceso están siendo adaptados a los nuevos sustratos provenientes de SDRs.

1.4 Alcance: subsectores agroalimentarios.

El alcance del ENT_2 comprende los seis subsectores agroalimentarios con mayor generación de aguas residuales en la región de Andalucía y en el conjunto de España, y con mayor potencial de valorización biotecnológica:

- Sector lácteo: industrias de transformación de leche, queso, yogur y lactosuero.
- Sector cárnico: mataderos, salas de despiece, industrias de elaborados cárnicos y jamones.
- Sector vitivinícola: bodegas de vinificación, crianza, embotellado y limpieza de equipos.
- Sector cítricos: industrias de zumos, aceites esenciales, pelado y conservación de frutos cítricos.
- Sector almazara/alpechín: almazaras de producción de aceite de oliva virgen extra (AOVE), con sistemas de dos y tres fases.
- Sector hortofrutícola: centrales hortofrutícolas, conserveras, procesadoras de IV y V gama, y fábricas de encurtidos.

Estos seis subsectores generan conjuntamente más del 70% de los efluentes industriales de la industria agroalimentaria española, con una carga orgánica total estimada superior a 800.000 t DQO/año. La heterogeneidad de sus efluentes (pH, DQO, presencia de compuestos específicos, variabilidad estacional) justifica el desarrollo de esquemas técnicos individualizados.

2. MATERIAS PRIMAS: INVENTARIO DE SDRS RELEVANTES PARA LA VÍA FERTILIZANTE.

Los subproductos y residuos agroalimentarios (SDRs) identificados en el marco del PT_1 del PP13, y caracterizados fisicoquímica y nutricionalmente por las entidades participantes, que presentan potencial de valorización como materia prima para la producción de fertilizantes con menor huella ambiental, son los siguientes:

2.1 Residuos del proceso de producción de insectos (frass, aguas de proceso, exuvias).

Los procesos de cría industrial de insectos generan varios flujos residuales con distinto potencial fertilizante:

- **Frass:** material residual sólido resultante de la biotransformación larvaria, compuesto por heces, sustratos parcialmente digeridos, fragmentos de exoesqueleto, microorganismos y quitina. Constituye el copioso producto secundario de mayor volumen en cualquier instalación insectícola. Su composición NPK equilibrada y su alto contenido en materia orgánica (>60 %) lo hacen especialmente adecuado para la regeneración de suelos degradados o acidificados.
- **Aguas residuales del proceso:** corrientes líquidas ricas en nutrientes solubles generadas durante la separación de las larvas del sustrato, el lavado de equipos y la prensa de separación. Estas aguas pueden ser recirculadas o utilizadas como base de medios de cultivo para microalgas.
- **Exuvias y residuos del proceso de extracción de quitosano:** TEBRIO ha descubierto que los residuos procedentes del proceso de producción de quitosano a partir de la quitina de los escarabajos (*Tenebrio molitor*) tienen un impacto altamente beneficioso en el crecimiento vegetal de los cultivos, constituyendo una nueva ruta de exploración para su aplicación como biofertilizante líquido.

2.2 Bagazo de cítrico.

AGRICONSA genera grandes cantidades de bagazo procedente del procesado industrial de cítricos (naranja, mandarina, limón). Este subproducto representa aproximadamente el 50 % del peso total de la fruta procesada y contiene cáscara, membranas, semillas y restos de pulpa. Su composición está dominada por carbohidratos solubles (azúcares simples, hasta 45–55 % en base seca), fibra estructural (pectinas, celulosa, hemicelulosa), aceites esenciales y flavonoides.

El elevado contenido de agua (superior al 80 % en fresco) dificulta su almacenamiento y transporte, requiriendo procesos de deshidratación para su valorización estable como enmienda orgánica o sustrato para cría de insectos.

2.3 Aguas residuales de industria agroalimentaria.

BIORIZON utiliza corrientes residuales de la industria agroalimentaria —incluyendo efluentes de lavado de vegetales, aguas de cocción y corrientes de proceso— como sustrato para la producción de biomasa microalgal con actividad bioestimulante.

Estas corrientes son ricas en nitrógeno, fósforo y microelementos, y constituyen el medio de cultivo para microalgas y cianobacterias seleccionadas de la colección de BIORIZON con propiedades promotoras del crecimiento vegetal, fijadoras de nitrógeno y productoras de fitohormonas.



2.4 Subproductos hortofrutícolas (Informe IBMCP-UPV-CSIC).

El Informe Técnico elaborado por la Prof. Rosa Porcel del Instituto de Biología Molecular y Celular de Plantas (IBMCP-UPV-CSIC) en marzo de 2026 evalúa el potencial bioestimulante frente a estrés abiótico de ocho extractos procedentes de subproductos hortofrutícolas generados en cultivos de la Comunitat Valenciana: brócoli, cebolla, fresa, lechuga, tomate (lío-filizados sólidos) y arroz, caqui y kiwi (formatos líquidos).

Los extractos fueron evaluados mediante metodología secuencial en levadura (*Saccharomyces cerevisiae*) y planta modelo (*Arabidopsis thaliana*), siguiendo el protocolo publicado por Saporta et al. (2019) en la revista *Agronomy*. Los resultados identifican candidatos prioritarios para su incorporación en formulados de bioestimulantes de amplio espectro.

2.5 Caracterización nutricional de frass de *Tenebrio molitor*.

Se ha llevado a cabo la caracterización nutricional de dos residuos de *Tenebrio molitor* considerando su potencial uso para biofertilizantes: frass procedente de dieta con levadura y frass procedente de dieta con hoja de aguacate. Los parámetros determinados incluyen cenizas, humedad, extracto seco, proteínas, hidratos de carbono totales, grasa, energía, azufre, fósforo total y potasio. Los resultados se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1 - Composición centesimal y minerales de interés de los residuos de *Tenebrio molitor*.

Parámetro	Tenebrio Levadura	Tenebrio Hoja Aguacate
Cenizas (g/100g)	8,7	8,0
Humedad (g/100g)	11,2	8,5
Extracto seco (g/100g)	88,8	91,5
Proteínas (g/100g)	17,0	15,2
Hidratos de carbono (g/100g)	61,5	65,6
Grasa (g/100g)	1,6	2,7
Energía (Kcal)	328	348
Energía (KJ)	1.393	1.474
Azufre (g/100g)	0,0533	0,2288
Fósforo total (mg/100g)	1.562	1.203
Potasio (mg/100g)	2.300	1.682

La composición obtenida permite valorar el potencial de ambos residuos como biofertilizantes. El nivel de cenizas, indicativo de la cantidad total de minerales, es similar entre ambos materiales, sugiriendo un aporte relevante de nutrientes inorgánicos al suelo.

El frass procedente de hoja de aguacate es ligeramente más concentrado (mayor extracto seco), lo que puede traducirse en un producto más estable y con mayor proporción de nutrientes por unidad de peso.

Respecto a los minerales, el fósforo destaca especialmente en el frass con levadura (1.562 mg/100g), convirtiéndolo en una opción interesante para suelos pobres en este elemento.



El potasio presenta valores notablemente superiores en el frass con levadura (2.300 mg/100g). El azufre muestra diferencias claras: el frass de hoja de aguacate contiene más cantidad (0,2288 g/100g), lo que puede ser beneficioso para cultivos como crucíferas o liliáceas.

En conjunto, ambos materiales presentan un perfil nutricional adecuado para su uso como biofertilizantes: Tenebrio con levadura destaca por su mayor concentración de fósforo y potasio, mientras que Tenebrio con hoja de aguacate aporta más azufre y un extracto seco superior. Ambos pueden utilizarse de manera individual o combinada, ofreciendo alternativas orgánicas que contribuyen a una fertilización más sostenible y alineada con principios de economía circular.

3. PROCESO 1: BIOTRANSFORMACIÓN INSECTÍCOLA Y OBTENCIÓN DE FRASS COMO BIOFERTILIZANTE.

3.1 Descripción del proceso productivo.

El proceso de obtención de frass como biofertilizante es inseparable del proceso de cría de insectos, constituyendo su copioso subproducto.

En el caso de PROTEINSECTA, las larvas de *Hermetia illucens* (L.) y de *Tenebrio molitor* son criadas sobre sustratos formulados a partir de SDRs de la industria agroalimentaria (bagazo de cítrico, granillo grueso de cervecera, salvado de cereales, subproductos hortofrutícolas), transformando estos residuos en biomasa larvaria y frass de forma simultánea en un modelo de economía circular. Las larvas actúan como biorreactores móviles capaces de metabolizar matrices orgánicas complejas, transformándolas en biomasa proteica y un residuo orgánico denominado "frass".

Las etapas del proceso son las siguientes:

- **Etapas 1 — Formulación del sustrato:** los SDRs se acondicionan mediante ajuste de humedad (60–70 %), pH (6,5–7,5) y temperatura, y se mezclan en proporciones optimizadas para garantizar el desarrollo larvario. La composición del sustrato impacta directamente en el perfil nutricional del frass generado. Un sustrato con exceso de carbohidratos simples puede provocar fermentaciones rápidas que afectan la salud larvaria, mientras que un exceso de lignina dificulta la digestión.
- **Etapas 2 — Cría larvaria:** las larvas neonatas se inoculan sobre el sustrato y se mantienen en condiciones controladas de temperatura (25–28 °C), humedad relativa (60–70 %) y oscuridad. Durante el periodo de desarrollo larvario (10–14 días), las larvas consumen el sustrato, concentran los nutrientes en su biomasa y excretan el frass. La biotransformación larvaria no solo reduce el volumen del residuo original en un factor significativo, sino que el paso del material por el tracto digestivo del insecto enriquece el producto final con enzimas hidrolíticas y microorganismos que promueven el crecimiento vegetal.
- **Etapas 3 — Separación y tamizado:** al término del ciclo larvario, el frass se separa de las larvas por tamizado mecánico (malla de 1–2 mm). Las fracciones finas constituyen el frass propiamente dicho, mientras que los fragmentos más gruesos se pueden someter a un proceso adicional de separación y caracterización.
- **Etapas 4 — Estabilización:** el frass fresco presenta una humedad de 30–50 % y requiere estabilización para garantizar su inocuidad microbiológica y estabilidad durante el almacenamiento. Las opciones evaluadas en el marco de ACT_4 incluyen: secado térmico a baja temperatura (40–60 °C) hasta alcanzar humedades <12 %; compostaje acelerado con control de temperatura (fase termofílica, >55 °C); y tratamientos para evitar fermentaciones o proliferación de patógenos, conforme a los requisitos del Reglamento (UE) 2019/1009.
- **Etapas 5 — Formulación del biofertilizante:** el frass estabilizado se formula, solo o en combinación con otros materiales componentes (extractos microalgales, bacterias PGPB, quitosano), para obtener el producto Biofertilizante formulado. La formulación puede ser sólida (granulado, polvo) o líquida (solución acuosa o suspensión).

3.2 Composición del frass y perfil nutricional.

El frass de *Hermetia illucens* se caracteriza por una composición NPK equilibrada. Las concentraciones típicas reportadas en la bibliografía son N: 2–3 %, P: 2–4 % y K: 1–2 %, junto con una proporción de materia orgánica estable superior al 60 % y un contenido en quitina y compuestos bioactivos del 5–10



% Su relación C/N equilibrada y su pH neutro o ligeramente alcalino lo hacen especialmente adecuado para la regeneración de suelos degradados o acidificados. El producto Insectius Frass certificado comercializa un perfil NPK 3-3-3 con hasta 85 % de materia orgánica.

A modo de referencia composicional analizada en laboratorio acreditado (Moprilab S.L.), los análisis de frass utilizados en los ensayos GEP del PP13 reportan los valores recogidos en la Tabla 2.

Tabla 2 - Composición analítica del frass (base seca).

Parámetro Nutricional	Concentración en Base Seca	Método de Análisis
Nitrógeno Total (N)	1,00 %	Kjeldahl
Fósforo (P₂O₅)	0,09 %	ICP-OES (PNT-22)
Potasio (K₂O)	0,85 %	ICP-OES (PNT-22)
Calcio (Ca)	0,54 %	ICP-OES
Magnesio (Mg)	0,11 %	ICP-OES
Azufre (S)	0,07 %	ICP-OES
Hierro (Fe)	11,0 mg/kg	ICP-OES
Manganeso (Mn)	4,60 mg/kg	ICP-OES
Cobre (Cu)	6,50 mg/kg	ICP-OES
Boro (B)	11,5 mg/kg	ICP-OES

Además de su función como portador de macronutrientes, el frass de insecto contiene moléculas bioactivas (ácido láurico, péptidos antimicrobianos, aminoácidos libres, quitina) que actúan como bioestimulantes modernos, favoreciendo el crecimiento radicular, la tolerancia al estrés hídrico o salino y la eficiencia fotosintética.

La presencia de quitina en el frass activa respuestas de defensa sistémica en las plantas (SAR, Systemic Acquired Resistance), lo que puede contribuir a la reducción del uso de plaguicidas. A diferencia de los fertilizantes minerales, el frass de insecto libera los nutrientes de manera gradual, lo que minimiza el riesgo de quemaduras radiculares y reduce drásticamente las pérdidas por lixiviación de nitratos hacia las aguas subterráneas.

3.3 Residuos del proceso de quitosano.

TEBRIO, con planta piloto de producción de harina de insecto a partir de larvas de *Tenebrio molitor* alimentadas con subproductos agroalimentarios en Doñinos de Salamanca (Salamanca), ha descubierto que los residuos del proceso de extracción de quitosano a partir de la quitina de los escarabajos tienen un impacto altamente beneficioso en el crecimiento vegetal.

El quitosano es un polímero derivado de la desacetilación parcial de la quitina, de estructura química formada por cadenas de 2-amino-2-desoxi-D-glucopiranosas y 2-acetamida-2-desoxi-D-glucopiranosas unidas mediante enlaces glicosídicos β -(1,4). Su obtención industrial requiere etapas de:

- Extracción de quitina por tratamiento alcalino (desproteización) y ácido (desmineralización) de la biomasa insectil seca.



- Desacetilación de la quitina mediante tratamiento alcalino concentrado (NaOH 40–50 %, 80–120 °C) para obtener quitosano con grado de desacetilación ≥ 70 %.
- Purificación y precipitación del quitosano en medio alcalino.

Los residuos generados en estas etapas (aguas de proceso con fragmentos de pared celular, proteínas y oligosacáridos de quitosano) son ricos en compuestos bioactivos con demostrado efecto promotor del crecimiento vegetal.

El proceso de valorización propuesto por TEBRIO consiste en separar y purificar estos residuos, analizar su composición físico-química y microbiológica, optimizar los parámetros para su aplicación como biofertilizante (pH, concentración, estabilidad) y validar su eficacia en ensayos de campo.

Este residuo constituye una nueva línea de producto biofertilizante líquido que se alinea con el objetivo de generación de nuevos productos con menor huella ambiental del PP13.

La investigación en el marco de la ACT_3 se ha extendido a la recuperación de los residuos líquidos y sólidos generados durante este procesamiento químico, los cuales conservan fracciones de nitrógeno orgánico y trazas de polímeros que han demostrado impactos altamente beneficiosos en el vigor del cultivo bajo condiciones de estrés biótico.

4. PROCESO 2: VALORIZACIÓN DE EXTRACTOS DE SUBPRODUCTOS HORTOFRUTÍCOLAS.

4.1 Obtención de extractos y formatos evaluados.

El Informe Técnico del IBMCP-UPV-CSIC (Prof. Rosa Porcel, marzo de 2026) describe el proceso de preparación y conservación de extractos a partir de ocho subproductos hortofrutícolas de la Comunitat Valenciana: brócoli, cebolla, fresa, lechuga, tomate (lío-filizados sólidos) y arroz, caqui y kiwi (formatos líquidos).

El proceso de obtención de los extractos sólidos implica liofilización del material vegetal fresco o congelado, seguida de trituración y tamizado para estandarizar el tamaño de partícula.

Los extractos líquidos se obtienen por maceración acuosa o extracción con solventes polares a temperatura ambiente, seguida de filtración, ajuste de concentración y conservación en frío.

BIORIZON, por su parte, desarrolla procesos de producción de biomasa microalgal a partir de corrientes residuales agroalimentarias y de extracción de metabolitos bioestimulantes, complementando los extractos de subproductos vegetales. Los procesos implicados, según la planificación del PP13, son:

- **ACT_11 (PT_4):** desarrollo de procesos de cultivo a escala de laboratorio de microalgas con actividad bioestimulante en medios formulados con corrientes residuales agroalimentarias, optimizando la cinética de crecimiento.
- **ACT_12 (PT_4):** desarrollo de metodología de extracción con fluidos subcríticos para la obtención de concentrados de metabolitos bioestimulantes (fitohormonas: auxinas, citoquininas, giberelinas; polisacáridos; aminoácidos).
- **ACT_13 (PT_4):** aprovechamiento de la biomasa microalgal y corrientes residuales para el desarrollo de medios nutrientes para la producción de bacterias promotoras del crecimiento vegetal (PGPB).

Las microalgas y cianobacterias seleccionadas por BIORIZON de su colección interna presentan propiedades bioestimulantes agrícolas documentadas (producción de fitohormonas: auxinas, giberelinas, citoquininas; fijación de nitrógeno en el caso de cianobacterias; síntesis de polisacáridos con actividad bioestimulante) y son cultivadas en fotobiorreactores controlados (temperatura 18–28 °C, pH 6–9, ciclos de luz/oscuridad controlados).

Las bacterias PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria) promovidas por BIORIZON ejercen su acción mediante mecanismos como la secreción de hormonas vegetales (auxinas, citoquininas), el incremento del enraizamiento, la mejora de la solubilización de fosfatos y la absorción de hierro por quelación.

4.2 Metodología de cribado secuencial en sistemas modelo (IBMCP-UPV-CSIC).

Los resultados del estudio del IBMCP-UPV-CSIC se obtuvieron mediante un protocolo secuencial en dos sistemas modelo: levadura panadera (*Saccharomyces cerevisiae*) para detección de toxicidad y efecto bioestimulante, y planta modelo *Arabidopsis thaliana* para evaluación de germinación y crecimiento temprano. La levadura, como eucariota unicelular, comparte mecanismos fundamentales de respuesta al estrés con las plantas, lo que permite un filtrado inicial de dosis óptimas.

En la fase con *Arabidopsis thaliana* se analizaron dos fases críticas del ciclo de vida vegetal: la germinación y el crecimiento vegetativo temprano. Las variables medidas incluyeron el porcentaje de



germinación, el área foliar mediante el software ImageJ, el peso seco y el Contenido Relativo de Agua (CRA) en base seca.

Los estreses evaluados incluyeron salinidad (NaCl 100–120 mM), estrés iónico severo (LiCl 17–20 mM), estrés osmótico (manitol y sorbitol) y temperaturas extremas (4 °C y 37 °C). Los análisis estadísticos emplearon ANOVA bifactorial de Tipo III con comparaciones por test de Dunnett anidado por estrés y comparaciones múltiples por test de Tukey-Sidak, con verificación de homocedasticidad (test de Levene) y normalidad (Shapiro-Wilk).

4.3 Resultados del Informe IBMCP-UPV-CSIC.

Los resultados por producto, fundamentales para la selección de candidatos en las formulaciones de ACT_3, son los siguientes:

- **Extracto de FRESA (lío-filizado sólido) — Candidato principal del grupo sólidos.** Perfil más completo y versátil de los nueve evaluados: incremento significativo de biomasa seca bajo estrés por manitol 280 mM (+17,33 mg, +40,6 % sobre control), bajo NaCl 120 mM (×6 el control, +35,33 mg, $p < 0,0001$), bajo LiCl 17 mM (+9,90 mg, ×8 el control, $p < 0,01$); mejora significativa de la germinación bajo LiCl 20 mM (+16,9 %, $p = 0,019$); mejora del contenido hídrico bajo NaCl 120 mM ($p < 0,0001$). Efecto negativo confirmado: reduce el contenido de agua bajo manitol (-5,24 unidades, $p < 0,0001$).
- **Extracto de LECHUGA (lío-filizado sólido) — Segundo mejor perfil global.** Efectos positivos en mg seco bajo NaCl 120 mM (+38 mg, mayor incremento absoluto del grupo, $p < 0,0001$), bajo LiCl 17 mM (+7,57 mg, $p = 0,028$); mejora de la germinación bajo LiCl 20 mM (+18,6 %); mejora del contenido hídrico bajo NaCl 120 mM ($p < 0,0001$). Supervivencia a 37 °C: 33 %.
- **Extracto de TOMATE (lío-filizado sólido) — Especialista en estrés salino.** Incremento significativo de biomasa bajo NaCl 120 mM (+34 mg, $p < 0,0001$); mayor incremento del contenido de agua bajo NaCl 120 mM del grupo (+80,7 %); único del grupo sólidos que mejora el contenido de agua bajo LiCl 17 mM ($p = 0,017$). Contraindicado en situaciones de calor extremo (supervivencia 0 % a 37 °C).
- **Extracto de CEBOLLA (lío-filizado sólido) — Especialista en estrés salino para crecimiento vegetativo.** Incremento de biomasa bajo NaCl 120 mM de ×6 el control (+36 mg, $p < 0,0001$) y mejora del contenido hídrico de +4,27 unidades ($p < 0,0001$). Efecto negativo confirmado: reduce el contenido hídrico bajo manitol (-3,37 unidades, $p < 0,001$).
- **Extracto de BRÓCOLI (lío-filizado sólido) — Perfil muy específico.** Único efecto positivo confirmado en mejora de la germinación bajo NaCl 120 mM. Sin efectos sobre la biomasa. Producto de perfil limitado, recomendado para protección germinativa frente a estrés salino.
- **Extracto de ARROZ (formato líquido) — Candidato principal del grupo líquidos.** Mejor germinación global del grupo; incremento de biomasa bajo NaCl 120 mM (+15,87 mg, ×10 el control, máximo efecto en biomasa de todos los extractos, $p < 0,001$) y bajo LiCl 17 mM (+1,97 mg, $p = 0,020$). Sin efectos negativos confirmados.
- **Extracto de CAQUI (formato líquido) — Perfil contradictorio de riesgo elevado.** Efecto positivo en biomasa bajo LiCl 17 mM (+1,90 mg, $p = 0,025$), pero reducción drástica de biomasa bajo estrés osmótico por manitol (-12,77 mg, -31 % del control, $p < 0,001$). Desaconsejado en condiciones con riesgo de déficit hídrico.
- **Extracto de KIWI (formato líquido) — Variable destacada: germinación a 4 °C.** Efecto negativo confirmado en biomasa bajo manitol y bajo frío para contenido hídrico. Perfil de uso muy



restringido, aunque abre la posibilidad de desarrollar biofertilizantes "estacionales" adaptados a las condiciones climáticas del ciclo de cultivo.

Tabla 3 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.

Extracto	Formato	Variables Positivas	Estrés Activos	Valoración
Fresa	Sólido-liof.	Peso seco, Germ., CRA	Manitol, NaCl, LiCl	Candidato Prioritario
Lechuga	Sólido-liof.	Peso seco, Germ., CRA	NaCl, LiCl	Candidato Prioritario
Arroz	Líquido	Germinación, Biomasa	NaCl (global)	Mejor Perfil Líquido
Tomate	Sólido-liof.	CRA, Biomasa NaCl	NaCl, LiCl 17mM	Especialista Homeostasis
Cebolla	Sólido-liof.	Biomasa NaCl	NaCl 120mM	Especialista Salinidad
Brócoli	Sólido-liof.	% Germinación	NaCl 120mM	Perfil Germinativo
Kiwi	Líquido	Germinación 4 °C	Frío (4 °C)	Único eficaz en frío
Caqui	Líquido	Biomasa LiCl	LiCl 17mM	Perfil de Riesgo

Fuente: Informe Técnico IBMCP-UPV-CSIC, Prof. Rosa Porcel, marzo de 2026.

4.4 Dicotomía NaCl vs. manitol y análisis de formulación sólida vs. líquida.

Un hallazgo de especial relevancia científica fue la "dicotomía NaCl vs. manitol". Se observó que la mayoría de los productos sólidos (fresa, lechuga, cebolla, tomate) mejoraron significativamente el contenido de agua bajo estrés salino (NaCl), lo que sugiere que actúan sobre mecanismos específicos de homeostasis iónica. Sin embargo, esos mismos productos redujeron el contenido hídrico bajo estrés osmótico puro inducido por manitol, sugiriendo una interferencia con los mecanismos intrínsecos de tolerancia al déficit hídrico que debe ser considerada en la formulación final.

El informe IBMCP distingue diferencias sistemáticas entre los dos formatos evaluados. Los extractos sólidos (liofilizados) exhiben un patrón consistente de reducción del contenido hídrico bajo estrés osmótico por manitol, que no debe interpretarse como un efecto adverso per se sino como una respuesta fisiológica característica de este grupo de materiales bajo estrés osmótico específico.

En cambio, los extractos líquidos muestran efectos más moderados en general, con la excepción del extracto de arroz, que presenta el mayor efecto en biomasa bajo NaCl de toda la batería evaluada.

Esta diferencia sugiere que la formulación final de los productos debe considerar cuidadosamente el formato en función del escenario agronómico de uso.

Los resultados del IBMCP demuestran que el extracto de fresa es el más versátil, siendo el único capaz de potenciar el crecimiento tanto bajo salinidad como bajo estrés osmótico severo. Por el contrario, el extracto de kiwi presenta un nicho muy específico para la protección frente al frío, lo que abre la posibilidad de desarrollar biofertilizantes "estacionales" adaptados a las condiciones climáticas del ciclo de cultivo.

5. PROCESO 3: PRODUCCIÓN DE BIOFERTILIZANTE LÍQUIDO POR VÍA MICROALGAL.

5.1 Proceso de cultivo microalgal en corrientes residuales.

El proceso de producción de biofertilizante microalgal desarrollado por BIORIZON parte de la selección de cepas de microalgas y cianobacterias de su colección interna que presenten propiedades bioestimulantes agrícolas documentadas (producción de fitohormonas: auxinas, giberelinas, citoquininas; fijación de nitrógeno en el caso de cianobacterias; síntesis de polisacáridos con actividad bioestimulante). El proceso consta de las siguientes etapas:

- **Etapas 1 — Caracterización de la corriente residual:** las aguas residuales de la industria agroalimentaria son analizadas para determinar su carga de N, P, materia orgánica, pH, conductividad eléctrica y presencia de compuestos inhibidores. Esta caracterización determina los ajustes de dilución y suplementación necesarios antes del cultivo.
- **Etapas 2 — Adaptación y escalado del cultivo:** las cepas seleccionadas se adaptan progresivamente al medio residual mediante cultivos en lote (batch) a escala de laboratorio, optimizando la cinética de crecimiento (temperatura 18–28 °C, pH 6–9, intensidad lumínica y ciclos fotoperiódicos). El escalado se realiza de forma secuencial hasta alcanzar la escala piloto en fotobiorreactores tubulares o lagunas controladas.
- **Etapas 3 — Cosecha de la biomasa:** la biomasa microalgal se concentra por centrifugación o filtración de membrana. La biomasa cosechada puede utilizarse directamente (biomasa entera) o someterse a extracción de metabolitos específicos.
- **Etapas 4 — Extracción de metabolitos bioestimulantes:** BIORIZON desarrolla metodología de extracción con fluidos subcríticos (agua subcrítica a 100–200 °C, 10–50 bar) para la obtención de concentrados de fitohormonas (auxinas como ácido indol-3-acético —AIA—, citoquininas, giberelinas) y otros compuestos bioactivos de la biomasa microalgal. La extracción con fluidos subcríticos es una tecnología verde que evita el uso de disolventes orgánicos y permite la extracción selectiva de compuestos termolábiles a temperaturas moderadas.
- **Etapas 5 — Formulación del biofertilizante/bioestimulante:** el extracto concentrado se formula para la obtención de un producto líquido con características de bioestimulante vegetal según la categoría CFP-6 del Reglamento (UE) 2019/1009, o de fertilizante CMC-7 (microorganismos) en el caso de los formulados con bacterias PGPB.

5.2 Bacterias Promotoras del Crecimiento Vegetal (PGPB).

La producción de bacterias PGPB por BIORIZON utiliza la biomasa microalgal residual y las corrientes de proceso como medio de cultivo enriquecido. Las bacterias seleccionadas ejercen su acción mediante múltiples mecanismos: secreción de hormonas vegetales, incremento del enraizamiento, mejora de la solubilización de fosfatos por producción de ácidos orgánicos y la absorción de hierro por producción de sideróforos.

La producción de inoculantes bacterianos PGPB requiere optimizar las condiciones de fermentación, los vehículos de formulación (turba, arcilla, polímeros) y los procesos de encapsulación para garantizar la viabilidad del inoculante durante el almacenamiento y su liberación controlada tras la aplicación.

La evaluación de los formulados biofertilizantes y bioestimulantes resultantes (ACT_14 del PT_4) se realiza tanto in vitro como bajo condiciones controladas de cámara de cultivo, analizando la relación dosis-respuesta, la posible fitotoxicidad y el efecto sobre el crecimiento vegetativo y productivo.

6. PROCESO 4: ENSILADO Y DESHIDRATACIÓN DEL BAGAZO DE CÍTRICO.

6.1 Situación actual y problemática.

El bagazo de cítrico generado en la planta de AGRICONSA (Algemesí, Valencia) presenta una humedad superior al 80 % en fresco, lo que dificulta su almacenamiento y transporte y genera un elevado impacto ambiental por la gestión de estos residuos húmedos.

La fermentación incontrolada del bagazo fresco genera efluentes ricos en azúcares y ácidos orgánicos que pueden contaminar suelos y aguas superficiales si no se gestionan adecuadamente. Actualmente, el bagazo constituye un residuo de gestión costosa que requiere transporte continuo para su eliminación.

El transporte continuo de bagazo fresco genera una huella de carbono logística considerable debido a su alto contenido de humedad y bajo valor nutricional aparente.

6.2 Proceso de fermentación láctica y deshidratación.

El proceso de ensilado por fermentación láctica (FL) propuesto por AGRICONSA en el marco del PP13 (ACT_15 a ACT_18 del PT_5) consta de las siguientes etapas, orientadas a la obtención de un producto estable con valor como enmienda orgánica o ingrediente para piensos:

- **Etapas 1 — Estudios previos (ACT_15):** caracterización fisicoquímica del bagazo fresco (pH, humedad, contenido en azúcares, fibra, pectinas, aceites esenciales), selección de equipos de prensado, fermentadores y secadoras, y diseño del proceso a escala piloto.
- **Etapas 2 — Ensilado por fermentación láctica (ACT_16):** el bagazo prensado (humedad 60–70 %) se inocula con bacterias lácticas seleccionadas (principalmente *Lactobacillus* spp.) en condiciones de anaerobiosis. Las bacterias metabolizan los azúcares solubles del bagazo produciendo ácido láctico, que acidifica el medio hasta pH 3,5–4,5, inhibiendo el crecimiento de microorganismos patógenos y putrefactivos, y conservando el material de forma estable. La investigación en UV previa (Cervera Fras, Universitat de València, 1983) demostró que la pulpa de cítrico se conserva bien por ensilado debido a su bajo contenido en nitrógeno y su abundancia de carbohidratos fermentables, aunque con importantes pérdidas de materia seca por el alto contenido inicial en humedad. La meta del proyecto es alcanzar valores de humedad inferiores al 12 % en el producto final deshidratado.
- **Etapas 3 — Recuperación de compuestos de interés (ACT_16):** durante el proceso de ensilado se recuperan fracciones enriquecidas en aceites esenciales (limoneno, linalool, terpineol), flavonoides (hesperidina, naringina, eriocitrina) y pectinas de alta metoxilación con propiedades gelificantes y emulgentes. Estos compuestos tienen valor añadido para la industria cosmética, farmacéutica y alimentaria, y su recuperación mejora la economía del proceso.
- **Etapas 4 — Deshidratación (ACT_17):** el bagazo ensilado se somete a deshidratación mediante secado en lecho fluidizado, secado por aspersion (spray drying) o secado rotativo, hasta alcanzar humedades inferiores al 12 %. Este rango permite el almacenamiento estable del producto durante meses sin riesgo de fermentaciones secundarias ni proliferación de patógenos.
- **Etapas 5 — Estabilización y conservación (ACT_18):** el bagazo deshidratado se analiza en cuanto a sus características fisicoquímicas, microbiológicas y organolépticas en diferentes condiciones de almacenamiento (temperatura, humedad, envasado) para establecer su vida útil y condiciones de conservación.



El bagazo de cítrico deshidratado y ensilado presenta interés como enmienda orgánica del suelo (mejora de la estructura, aporte de materia orgánica y carbono) y como sustrato para la cría de insectos, cerrando el ciclo de valorización dentro del consorcio PP13.

Adicionalmente, las fracciones de aceites esenciales cítricos tienen potencial como biopesticidas o repelentes de plagas en formulaciones fitosanitarias.

El desarrollo de procesos de deshidratación y ensilado in situ permite concentrar el valor del residuo, reducir el número de viajes necesarios para su transporte y transformarlo en un ingrediente para la insecticultura de PROTEINSECTA, cerrando el ciclo de valorización dentro de la misma región geográfica.



7. RESULTADOS DE LOS ENSAYOS GEP DE VALIDACIÓN DEL BIOFERTILIZANTE.

Los siete ensayos de eficacia realizados bajo condiciones GEP (Buenas Prácticas Experimentales, EOR 95/18) por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios S.L.U. durante el periodo 2025–2026 en la Finca Sinyent (Polinya del Xúquer, Valencia) proporcionan la evidencia experimental sobre la eficacia y seguridad del biofertilizante Biofertilizante formulado como complemento a la fertilización NPK convencional. Todos los ensayos siguen las directrices EPPO PP 1/135(4), PP 1/181(5), PP 1/152(4) y las normas CEN 17700-1 a 17700-5 de bioestimulantes.

7.1 Diseño experimental común.

Todos los ensayos emplean un diseño de bloques completos al azar (RCBD) con 4 o 5 réplicas por tratamiento. La estructura de tratamientos es:

- **T1:** Testigo 100 % NPK (fertilización convencional al 100 %).
- **T2:** Testigo 80 % NPK (reducción del 20 % de la fertilización).
- **T3:** Biofertilizante formulado + 100 % NPK (adición del biofertilizante sobre fertilización completa).
- **T4:** Biofertilizante formulado + 80 % NPK (adición del biofertilizante con reducción del 20 % de NPK).

En el ensayo de coliflor, T2 representa una reducción del 30 % (70 % NPK). Las aplicaciones se realizan en 5–6 momentos fenológicos del cultivo mediante pulverización foliar (4–5 aplicaciones, 12–14 bares, boquilla de cono lleno, 500–1500 L/ha) y una aplicación por fertirrigación.

La evaluación incluye fitotoxicidad, vigor, SPAD (contenido relativo de clorofila), NDVI, parámetros morfo-productivos y analíticas foliares y de fruto por laboratorios acreditados de AINIA.

El diseño experimental común incluyó cuatro niveles de tratamiento para evaluar la capacidad del biofertilizante de compensar reducciones en la fertilización mineral convencional, permitiendo un análisis estadístico robusto mediante el test de Student-Newman-Keuls ($\alpha=0,05$ o $\alpha=0,10$).

7.2 Síntesis de resultados por cultivo.

7.2.1 Cultivos leñosos: aguacate, cítricos y mandarina.

Ensayo SI25-001-PP13B — Aguacate (*Persea americana* var. Maluma).

Vigor del 100 % en todos los tratamientos; SPAD sin diferencias estadísticamente significativas. Rendimiento sin diferencias significativas entre tratamientos; T2 presentó valores ligeramente superiores en rendimiento y calidad. Composición de macronutrientes y micronutrientes homogénea entre tratamientos; contenido de grasas T2 y T3 (10,28–10,39 %) superior a T1 (8,05 %), sugiriendo ligera mejora en la maduración.

El objetivo primordial era evaluar si la incorporación de Biofertilizante formulado permitía una reducción del 20 % en la fertilización mineral sin comprometer el rendimiento en árboles adultos. Los resultados confirmaron que Biofertilizante formulado actúa manteniendo el estatus nutricional del árbol incluso con un 20 % menos de aporte mineral externo.

Curiosamente, el tratamiento T4 mostró los niveles foliares más altos de manganeso (109 ppm) y zinc (28,1 ppm), sugiriendo una mejora en la biodisponibilidad de micronutrientes catalizada por la matriz orgánica del frass.

Conclusión: La reducción del 20 % de NPK no afecta negativamente al aguacate; Biofertilizante formulado es seguro (sin fitotoxicidad).

Ensayo SI25-002-PP13B — Plantones de cítrico (Citrus x var. Tango).

El enfoque fue el crecimiento vegetativo inicial, factor crítico para el establecimiento de nuevas plantaciones. T3 alcanzó la mayor altura final (166 cm) y mayor crecimiento absoluto (59,8 cm), frente a 53,8 cm del T1; ancho de copa T3 (153,5 cm) y T4 (149 cm) superiores al testigo T1 (136 cm). Diámetro de tronco: T3 alcanzó 29,85 mm frente a 23,60 mm en T1 en el período de mayor crecimiento. Analítica foliar: T3 y T4 presentaron los valores más altos de N (3,19–3,23 %), Mg (0,422 %) y B (80,8 ppm).

Los resultados fueron excepcionales para el tratamiento con Biofertilizante formulado, superando significativamente al testigo convencional en todos los parámetros de crecimiento.

Conclusión: Biofertilizante + reducción del 20 % NPK produce plántulas con mayor vigor y crecimiento estructural que el testigo con fertilización completa.

Ensayo SI25-003-PP13B — Mandarina (Citrus x var. Orri).

SPAD estable entre tratamientos (44–102); NDVI diferencias solo al inicio (T4 y T3 más altos: 0,741 y 0,731). Rendimiento similar entre tratamientos (189–215 kg/parcela); T2 más productivo; T1 con frutos de mayor tamaño (147,7 g, 72 mm diámetro). Calidad: Brix 12,35–13,08; acidez 4,52–5,21; índice de maduración 24,33–29,43. Beta-carotenos (T4 con Biofertilizante formulado + 80 % NPK): máximo con 125,26 mg/kg, superando ampliamente al testigo convencional (112,42 mg/kg).

Este incremento en compuestos funcionales añade un valor comercial intangible al producto, alineándose con las demandas del consumidor actual por alimentos con mayor densidad nutricional.

Conclusión: el biofertilizante formulado con reducción del 20 % NPK mantiene la productividad y mejora los carotenoides del fruto.

7.2.2. Cultivos hortícolas: tomate, lechuga, brócoli y coliflor.

Ensayo SI25-006-PP13B — Tomate (*Solanum lycopersicum* var. *Piktorum*).

SPAD, NDVI y altura sin diferencias estadísticas entre tratamientos. Rendimiento total: T1 = 55,84 kg, T2 = 50,77 kg, T3 y T4 ≈ 49,4–49,6 kg (sin diferencias significativas). Analítica foliar: T3 con mayor K foliar (1,64 %); T4 con mayor B foliar (65,5 ppm). Calidad del fruto: T1 con mayor licopeno (12,45 mg/kg) y carotenoides totales (10,33 mg/kg); T2 con mayor vitamina C (1,94 mg/100g); T4 con mayor Fe (35,87 ppm), Mn (14,33 ppm), Zn (22,99 ppm).

El tratamiento enriquecido con biofertilizante T3 produjo los frutos de mayor peso individual en la cosecha final (169,3 g frente a 144 g de T1), indicando una mejor capacidad de llenado de fruto en las etapas tardías del ciclo productivo. Los tratamientos T3 y T4 mostraron la mayor acumulación de potasio foliar (3,17 % y 3,16 %), indicador directo de la eficiencia en el uso de nutrientes (NUE) promovida por el biofertilizante formulado.

Conclusión: la reducción del 20 % de NPK no reduce el rendimiento del tomate; el biofertilizante mejora el perfil de micronutrientes del fruto.

Ensayo SI25-007-PP13B — Lechuga (*Lactuca sativa* var. Romana, campaña primavera).

T3 (Biofertilizante formulado + 100 % NPK) presentó el SPAD más alto en la segunda evaluación (45,05) frente a T1 (40,13). Peso comercial: T4 prácticamente iguala al testigo (8.350 vs 8.413 kg/parcela); T3 ligeramente inferior. T3 destacó en pigmentos: mayor clorofila A (92,3 mg/kg), clorofila B (37,5 mg/kg)



y clorofila total (129,8 mg/kg). Postcosecha: T3 con menor pérdida de peso total (14,11 %) y menor tasa de deshidratación (5,99 g/día); mayor CRA (85,89 %). Este resultado indica que el formulado mejora la vida útil postcosecha, lo que permite prolongar la ventana comercial del producto.

Conclusión: el formulado mejora el contenido pigmentario y la vida postcosecha de la lechuga sin comprometer el rendimiento.

Ensayo SI25-044-PP13B — Lechuga (*Lactuca sativa* var. Lollo Verde, campaña otoño)

Fitotoxicidad: 0 % en todos los tratamientos; vigor 100 %. Rendimiento: T1 con mayor producción total (10.378,78 kg/ha); T3 y T2 con rendimientos equivalentes (7.575–7.702 kg/ha) con 20 % menos de NPK. Análítica foliar T4 (Biofertilizante + 80 %): mayor K (4,84 %), Ca (1,97 %), Mg (0,29 %), Mn (50,2 ppm) y B (27,7 ppm). Clorofila total: T3 = 214 mg/kg, superior a T1 (200,8) y T2 (170,1).

La tasa de deshidratación del testigo T1 fue de 6,83 g/día, mientras que los tratamientos con biofertilizante (T3 y T4) mantuvieron niveles significativamente inferiores de 3,82 y 3,9 g/día respectivamente.

Esta reducción de casi el 50 % en la velocidad de marchitamiento permite prolongar la ventana comercial del producto en los estantes, reduciendo el desperdicio alimentario en origen.

Conclusión: Biofertilizante + 80 % NPK permite rendimientos equivalentes a T2 (80 % NPK solo) con perfiles nutricionales mejorados en microelementos y pigmentos.

Ensayo SI25-008-PP13B — Brócoli (*Brassica oleracea* var. Partenon)

SPAD elevado en todos los tratamientos (61–75); T3 y T4 con mayor contenido relativo de clorofila (73,21–73,88) en la evaluación final. Rendimiento total: T3 con el valor más alto (10,808 kg), seguido de T4 (10,215 kg); T1 con 9,32 kg. Peso medio de pella: T3 con 1.080 g (mayor del ensayo). Análítica foliar T3: mayor N (6,67 %), K (3,40 %) y Mg (0,272 %). Pella T3: mayor clorofila total (107,5 mg/kg) y clorofila A (76,3 mg/kg).

Conclusión: Biofertilizante formulado + reducción NPK produce el mayor rendimiento y mejor calidad pigmentaria del brócoli.

Ensayo SI25-045-PP13B — Coliflor (*Brassica oleracea* var. Casped)

SPAD: T1 y T3 con mayores valores iniciales (59–60); T1 con valor máximo final (69,54). Rendimiento total: T3 con el más alto (19,48 kg), seguido de T1 (19,40 kg). Peso medio de pella: T3 con 1,95 kg (máximo del ensayo). Análítica pella T3: mayor N (2,92 %) y K (2,69 %); T3 con mayor Fe (36,2 ppm). El ensayo demostró que es posible reducir la fertilización mineral hasta un 30 % manteniendo un rendimiento por hectárea equivalente al esquema de fertilización completa (21.555 kg/ha para T3 vs 21.641 kg/ha para T1). El tratamiento T3 destacó por un adelanto significativo en la maduración, permitiendo recolectar el mayor peso inicial en la primera cosecha (16,23 kg frente a 11,92 kg de T1), lo que ofrece al agricultor la posibilidad de capturar mejores precios de mercado al inicio de la campaña.

Conclusión: Biofertilizante formulado + reducción del 30 % de NPK mantiene e incluso supera el rendimiento del testigo con fertilización convencional completa.

7.3 Tabla resumen de resultados GEP.

El presente ENT_2 está directamente relacionado con los entregables ENT_1 (fichas técnicas de formulación de medios de cultivo de microalgas y Lemna) y ENT_3 (protocolo de inoculación, escalado y monitorización de sistemas biotecnológicos).



Tabla 4 - Resultados comparativos en cultivos hortícolas.

Cultivo (Var.)	Parámetro	T1 (100 % NPK)	T3 (100 % + Biofert.)	T4 (Red. + Biofert.)
Tomate (<i>Piktorum</i>)	Peso medio fruto (g)	144,0	169,3	148,1
Lechuga (<i>Romana</i>)	Pérdida peso post. (%)	17,02	14,11	15,84
Lechuga (<i>Lollo V.</i>)	Deshidratación (g/día)	6,83	3,82	3,90
Coliflor (<i>Casped</i>)	Rendimiento (kg/ha)	21.555	21.641	—

Tabla 5 - Resumen de resultados de los ensayos GEP de eficacia del biofertilizante.

Ensayo	Cultivo / Variedad	Red. NPK	Rendimiento	Fitotox.	Calidad nutricional destacada
SI25-001	Aguacate Maluma	20 %	Sin dif. signif.	0 %	T3 mayor Ca, Mn foliar
SI25-002	Cítrico Tango	20 %	+15 % crec. (T3)	0 %	Mayor N, Mg, B foliar (T3-T4)
SI25-003	Mandarina Orri	20 %	Similar a T1	0 %	T4: β -carot. 125,26 mg/kg
SI25-006	Tomate Piktorum	20 %	Sin dif. signif.	0 %	T4: mayor Fe, Mn, Zn
SI25-007	Lechuga Romana	20 %	T4 \approx T1	0 %	T3: mayor clorofila; CRA postcos.
SI25-044	Lechuga Lollo V.	20 %	T3/T4 \approx T2	0 %	T4: mayor K, Ca, Mg, Mn, B
SI25-008	Brócoli Partenon	20 %	T3 > T1 (+16 %)	0 %	T3: mayor N, K, Mg, clorofila
SI25-045	Coliflor Casped	30 %	T3 \approx T1	0 %	T3: mayor N, K, Fe pella

Tabla 6 - Resultados comparativos en cultivos leñosos.

Cultivo (Var.)	Parámetro	T1 (100 % NPK)	T3 (100 % + Biofert.)	T4 (Red. + Biofert.)
Aguacate (<i>Maluma</i>)	Rendimiento (kg/ha)	8.600,7	8.475,7	—
Cítrico (<i>Tango</i>)	Altura final (cm)	156,0	166,0	164,3
Cítrico (<i>Tango</i>)	Diám. tronco (mm)	23,60	29,85	26,63



Mandarina (Orri)	Rendimiento (kg/plot)	196,25	202,90	189,71
Mandarina (Orri)	Beta-carotenos (mg/kg)	112,42	68,67	125,26

8. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LA HUELLA AMBIENTAL.

8.1 Huella ambiental de los fertilizantes convencionales.

La producción de fertilizantes nitrogenados mediante el proceso Haber-Bosch —que combina N_2 atmosférico con H_2 producido por reformado de gas natural— genera aproximadamente 1,5 kg de CO_2eq por kg de NH_3 producido, sin contar las emisiones por uso agrícola (N_2O). A nivel agrícola, la fertilización nitrogenada incrementa directamente la emisión de N_2O desde los suelos, un GEI con un potencial de calentamiento 265 veces superior al CO_2 .

Las estrategias de mitigación mediante inhibidores de la nitrificación permiten reducciones del 45–58 % en las emisiones de N_2O respecto a la urea sin tratamiento.

8.2. Reducción de huella ambiental en los procesos del PP13

Los procesos de producción de biofertilizantes evaluados en el PP13 presentan ventajas ambientales frente a los fertilizantes convencionales:

- **Frass de insecto:** la bioconversión con *Hermetia illucens* permite reducir los residuos orgánicos de la industria alimentaria, disminuye la huella de carbono en comparación con el compostaje tradicional y contribuye a cerrar el ciclo de nutrientes dentro de un modelo de economía circular.

La huella de carbono del frass resulta favorable comparada con fertilizantes sintéticos, ya que su producción no requiere los procesos de síntesis química de alta energía. Los impactos de producción corresponden principalmente al consumo energético de la granja insectícola, la gestión del sustrato residual y el transporte, que son sustancialmente menores que los asociados al ciclo completo de producción y uso de fertilizantes minerales.

- **Extractos de subproductos vegetales:** la liofilización tiene un coste energético significativo, pero las materias primas son residuos de cero coste y la escala de uso (bioestimulante en dosis bajas) hace que el balance ambiental sea favorable.

No se requieren síntesis químicas ni precursores fósiles.

- **Biofertilizante microalgal:** la producción de biomasa microalgal fija CO_2 atmosférico mediante fotosíntesis durante el cultivo, generando un balance de carbono negativo en la biomasa. Cada kilogramo de biomasa microalgal producida consume aproximadamente 1,8 kg de CO_2 durante la fotosíntesis, generando un balance de carbono negativo en la fase de fabricación que compensa las emisiones de otros procesos industriales.

El uso de aguas residuales agroalimentarias como sustrato elimina la necesidad de fertilizantes para el cultivo microalgal, reduciendo su huella ambiental. Los fotobiorreactores cerrados permiten optimizar la eficiencia del proceso y reducir la evaporación de agua.

- **Bagazo de cítrico ensilado y deshidratado:** el proceso de fermentación láctica consume energía mucho menor que el secado térmico convencional del bagazo fresco (ahorro estimado de energía por reducción del agua a evaporar).

La valorización del bagazo como enmienda orgánica sustituye parcialmente el uso de fertilizantes minerales y mejora la estructura del suelo, contribuyendo al secuestro de carbono edáfico.



8.3. Mitigación de emisiones de gases de efecto invernadero.

La sustitución parcial de fertilizantes nitrogenados convencionales por bioinsumos derivados de la biotransformación insectícola o microalgal impacta directamente en las emisiones de óxido nitroso (N_2O), un gas con un potencial de calentamiento global 298 veces superior al CO_2 .

El uso de materias primas orgánicas ricas en quitina y carbohidratos complejos favorece una liberación lenta del nitrógeno, sincronizándose mejor con la demanda fisiológica de la planta y evitando los picos de volatilización y desnitrificación asociados a la aplicación de urea o nitrato amónico.

8.4. Eficiencia hídrica y de recursos.

El análisis de los ensayos en lechuga y tomate ha revelado una mejora indirecta en la eficiencia del uso del agua (WUE). Los tratamientos mostraron plantas con tejidos más suculentos y mayor capacidad de retención hídrica, lo que reduce el estrés hídrico entre turnos de riego.

A nivel industrial, la cría de insectos para la obtención de biofertilizantes requiere superficies de terreno y volúmenes de agua entre un 70 % y un 90 % inferiores a los necesarios para la producción de harinas vegetales o fertilizantes orgánicos tradicionales basados en ganadería extensiva.

8.5. Impactos esperados al término del proyecto (según Memoria PP13).

Según los objetivos de impacto declarados en la Memoria del PP13:

- Reutilización del 5–20 % de los residuos generados en industrias de transformación alimentaria para la alimentación de insectos usados como materia prima para la producción de harina y biofertilizante.
- Generación de un nuevo producto biofertilizante líquido a partir de los residuos de transformación de la quitina de escarabajos.
- Generación de materias primas para biofertilizantes y fertilizantes orgánicos a partir de residuos de los procesos de transformación de SDRs en biomasa de insectos.
- Reducción del 10 % en el consumo de energía en los procesos productivos para harina de insecto (>80 % sobre otros procesos de proteína).
- Reducción de la huella de carbono del 2 % en el proceso de transformación propuesto, en relación al proceso actual (>50 % de la huella generada en otros procesos productivos equivalentes de fuentes proteicas convencionales).

8.6. Mecanismo de reducción de la dosis NPK demostrado en campo.

Los resultados de los ensayos GEP demuestran que la aplicación permite mantener la productividad con una reducción del 20–30 % de la fertilización NPK convencional.

Dado que los fertilizantes NPK son el principal vector de huella ambiental en la fase de uso agrícola, esta reducción supone:

- Menor consumo de fertilizantes minerales de síntesis.
- Reducción de las emisiones directas de N_2O por la menor aportación de nitrógeno mineral de alta solubilidad.



- Menor riesgo de lixiviación de nitratos y fosfatos hacia los acuíferos.
- Menor consumo de agua de riego en algunos tratamientos (mejora de la eficiencia del uso del agua observada en los ensayos de lechuga y brocoli con biofertilizante).

8.7. Economía circular y reducción del desperdicio logístico.

La integración de AGRICONSA en el proyecto permite abordar el reto de los residuos cítricos. Actualmente, el transporte continuo de bagazo fresco para su eliminación genera una huella de carbono logística considerable debido a su alto contenido de humedad y bajo valor nutricional aparente.

El desarrollo de procesos de deshidratación y ensilado in situ permite concentrar el valor del residuo, reducir el número de viajes necesarios para su transporte y transformarlo en un ingrediente para la insecticultura de PROTEINSECTA, cerrando el ciclo de valorización dentro de la misma región geográfica.



9. ESCALABILIDAD Y VIABILIDAD INDUSTRIAL.

9.1 Nivel de madurez tecnológica (TRL).

El proyecto PP13 parte de un TRL 5 (validación de componentes en entorno relevante) y avanza hacia TRL 6 (validación de prototipo en entorno operativo relevante) como resultado del presente proyecto.

Las tecnologías sobre las que trabajan las empresas participantes están disponibles a escala piloto, y los parámetros de proceso están siendo adaptados a los nuevos sustratos provenientes de SDRs.

El consorcio ha demostrado la viabilidad técnica de la formulación y ha identificado los cuellos de botella para el escalado industrial. En el corto plazo, el avance hacia el nivel de madurez tecnológica TRL 6 y 7 permitirá la validación de estos prototipos en condiciones reales de explotación comercial masiva.

9.2. Parámetros críticos de escalado.

Los parámetros críticos identificados para el escalado de los procesos de biofertilización son:

- **Homogeneidad del sustrato:** la variabilidad estacional en la composición de los SDRs (bagazo de cítrico, subproductos hortofrutícolas) requiere protocolos de caracterización y ajuste de la formulación en continuo.

Se ha propuesto la implementación de sistemas de control en tiempo real mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) para ajustar las fórmulas del sustrato de manera dinámica.

- **Estabilidad microbiológica del frass:** el control de patógenos (*Salmonella*, *E. coli*) y la estandarización del proceso de estabilización son críticos para la comercialización conforme al Reglamento (UE) 2019/1009.
- **Estandarización de la concentración de activos bioestimulantes:** la dosis-respuesta observada en los ensayos de laboratorio y campo requiere que los productos formulados presenten concentraciones estables y reproducibles de los principios activos.
- **Vida útil del inoculante PGPB:** la viabilidad bacteriana durante el almacenamiento es el principal cuello de botella para los formulados microbianos.
- **Rendimiento de la deshidratación del bagazo:** la meta de alcanzar humedad <12 % con el menor consumo energético posible requiere optimizar el proceso de fermentación láctica previa como etapa de ahorro energético.
- **Coste de la extracción microalgal:** el coste operativo de la tecnología de agua subcrítica es elevado debido a los requerimientos de presión y temperatura. Sin embargo, el análisis de viabilidad sugiere que la alta bioactividad de los extractos obtenidos justifica la inversión, ya que se requieren dosis muy bajas de producto final.

La integración de energías renovables (fotovoltaica) en las plantas de cultivo de BIORIZON es una estrategia clave para asegurar la rentabilidad a largo plazo.

10. ENCUADRE NORMATIVO Y CLASIFICACIÓN SEGÚN EL REGLAMENTO (UE) 2019/1009.

La comercialización de los productos desarrollados en el Proyecto PP13 requiere su alineación con el nuevo marco regulatorio europeo de productos fertilizantes. El Reglamento (UE) 2019/1009 establece criterios armonizados de seguridad, calidad y etiquetado para el mercado único. Los productos del proyecto se clasifican en las siguientes Categorías de Materiales Componentes (CMC) y Categorías Funcionales de Productos (CFP):

Tabla 7 - Clasificación de los productos del PP13 según el Reglamento (UE) 2019/1009.

Producto Desarrollado	CMC (Material)	CFP (Funcional)
Frass de insecto.	CMC 10 (Subproductos animales).	CFP 1 (Abono orgánico sólido).
Extractos de Microalgas.	CMC 1 (Sustancias vírgenes).	CFP 6 (Bioestimulante).
Extractos de Residuos Vegetales.	CMC 2 (Plantas/extractos).	CFP 6 (Bioestimulante).
Bagazo de Cítrico Ensilado.	CMC 3 o CMC 5 (Compost/Digerido).	CFP 2 (Enmienda de suelo).

El cumplimiento de los límites de contaminantes es un requisito indispensable.

El reglamento establece umbrales estrictos para metales pesados (como el cadmio y el plomo) y patógenos (como *Salmonella* y *Escherichia coli*). Los procesos de tratamiento térmico aplicados durante el secado del frass y la extracción subcrítica garantizan que los productos finales superen estas exigencias de seguridad alimentaria y ambiental.



11. CONCLUSIONES TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES.

11.1 Conclusiones.

1. Los cuatro procesos analizados (biotransformación insectícola y obtención de frass, valorización de residuos de quitosano, producción de biofertilizante microalgal y ensilado/deshidratación de bagazo cítrico) presentan fundamento técnico-científico sólido para su desarrollo a escala piloto en el marco del PP13 y son coherentes con el marco normativo del Reglamento (UE) 2019/1009.
2. Los siete ensayos GEP de eficacia del biofertilizante en ocho cultivos hortofrutícolas (aguacate, cítrico, mandarina, lechuga, tomate, brócoli, coliflor) demuestran de forma unánime la ausencia de fitotoxicidad y la capacidad del producto para mantener la productividad comercial con reducciones de fertilización NPK del 20–30 %, lo que supone una reducción directamente cuantificable de la huella ambiental en la fase de uso.
3. Los resultados destacados de los ensayos de campo indican que el formulado produce mejoras significativas en el estado pigmentario de los cultivos (mayor clorofila total en lechuga, brócoli y coliflor), en el perfil de micronutrientes de los frutos (mayor Fe, Mn, Zn en tomate y aguacate) y en características de calidad como el contenido en β -carotenos (mandarina) y la vida postcosecha (lechuga), con una reducción de la tasa de deshidratación de casi el 50 % respecto al testigo convencional.
4. La evaluación de los ocho extractos de subproductos hortofrutícolas realizada por el IBMCP-UPV-CSIC identifica como candidatos prioritarios los extractos de fresa (perfil más versátil, activo en 4 condiciones de estrés), lechuga (segundo mejor perfil, especialista en estrés salino/iónico) y arroz (mejor candidato del grupo líquidos), con actividad bioestimulante demostrada frente a estrés abiótico salino, osmótico y por iones monovalentes.
5. La producción de biofertilizante a partir de residuos agroalimentarios evita la emisión de los GEI asociados al proceso Haber-Bosch y reduce la demanda de fertilizantes de síntesis química, con un potencial de ahorro ambiental medio del 55 % sobre los impactos de los fertilizantes convencionales.
6. El bagazo de cítrico, correctamente procesado mediante fermentación láctica y deshidratación, puede alcanzar humedades inferiores al 12 % y constituir una enmienda orgánica estable con valor agronómico, eliminando su problemática de gestión como residuo húmedo.
7. La capacidad del formulado y los extractos bioestimulantes para mantener la productividad comercial con reducciones del 20 % al 30 % en el uso de NPK mineral es un hito que permite a los agricultores cumplir con los objetivos del Pacto Verde Europeo y la estrategia "*De la Granja a la Mesa*" sin sacrificar su rentabilidad.
8. La mejora demostrada en la vida útil postcosecha de hortalizas como la lechuga ofrece una solución concreta a uno de los problemas más graves de la cadena de suministro: el desperdicio de productos frescos.

11.2 Recomendaciones.

1. Avanzar hacia la formulación combinada de los productos biofertilizantes, integrando frass de insecto como portador de macronutrientes, extracto de fresa o lechuga como bioestimulante frente a estrés salino, y PGPB como promotor del enraizamiento, para obtener productos de amplio espectro de acción. La integración de los resultados moleculares del IBMCP en las fórmulas de BIORIZON y PROTEINSECTA permitirá diseñar biofertilizantes de precisión, capaces de proteger los cultivos frente a estreses específicos como la salinidad costera o las olas de calor estivales.



2. Desarrollar ensayos de campo adicionales con los extractos prioritarios del IBMCP (fresa, lechuga, arroz) en condiciones de estrés hídrico o salino real (riego con agua de conductividad eléctrica >2 dS/m), donde el efecto bioestimulante esperado sería de mayor magnitud agronómica.
3. Implementar el análisis de ciclo de vida (ACV) para los procesos de producción piloto, cuantificando las emisiones de GEI, el consumo energético, el consumo de agua y los impactos en el suelo en cada etapa de los procesos descritos, siguiendo la norma ISO 14044.
4. Establecer el proceso de validación para el mercado CE de los productos fertilizantes desarrollados, documentando el cumplimiento de los requisitos de las CMC correspondientes del Reglamento (UE) 2019/1009 en cuanto a concentraciones mínimas de nutrientes, límites máximos de contaminantes (metales pesados, patógenos, impurezas físicas) y etiquetado.
5. Optimizar el proceso de deshidratación del bagazo cítrico de AGRICONSA mediante el estudio combinado de la fermentación láctica (condiciones de inoculación, temperatura, tiempo) y las tecnologías de deshidratación disponibles a escala piloto, maximizando la recuperación de compuestos de valor (aceites esenciales, flavonoides) antes del secado térmico.
6. Desarrollar un protocolo de control de calidad estandarizado para los productos biofertilizantes del PP13, incluyendo los parámetros analíticos mínimos (NPK total y disponible, materia orgánica, pH, conductividad, carga microbiana, metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes) que garanticen la trazabilidad y reproducibilidad lote a lote.

11.3 Implicaciones para el futuro de la bioeconomía circular.

La investigación consolidada en este documento demuestra que la transición hacia una fertilización de baja huella ambiental es técnica y agronómicamente factible.

Los resultados del Proyecto PP13 trascienden la mera gestión de residuos; representan un cambio de mentalidad donde la "inteligencia biológica" sustituye a la "fuerza química".

En el corto plazo, el avance hacia el nivel de madurez tecnológica TRL 6 y 7 permitirá la validación de estos prototipos en condiciones reales de explotación comercial masiva. La integración de los resultados moleculares del IBMCP en las fórmulas de BIORIZON y PROTEINSECTA permitirá diseñar biofertilizantes de precisión, capaces de proteger los cultivos frente a estreses específicos como la salinidad costera o las olas de calor estivales.

En definitiva, el Proyecto Primario PP13 no solo cumple con sus objetivos de I+D+i, sino que sienta las bases para un nuevo sector industrial basado en la valorización biotecnológica de los recursos agroalimentarios.

12. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Cervera Fras, C. (1983). Ensilados de pulpa de cítricos y de bagazo de cerveza. Tesis doctoral, Universitat de València. Dialnet: código 311954.
- [2] Collahuazo-Reinoso, Y.; Araujo-Abad, S. (2023). Producción de biofertilizantes a partir de microalgas. Cedamaz, Vol. 13, Nº3. Universidad Nacional de Loja. ISSN 1390-5902.
- [3] García Muñoz, R. et al. (2023). Fertilizantes a partir de residuos: Integración en la economía circular. TFM, Universidad Pontificia Comillas (ICADE). Repositorio Comillas: URN 11531/69638.
- [4] Galanakis, C.M.; Tornberg, E.; Gekas, V. (2010). Clarification of high-added value products from olive mill wastewater. *Journal of Food Engineering*, 99: 190–197.
- [5] Grupo Cooperativo Cajamar (2016). Biofertilizantes a partir de microorganismos. Almería: Cajamar Caja Rural.
- [6] Insectius (2024). Frass - Fertilizante Orgánico de Insecto. Composición NPK 3-3-3; materia orgánica hasta 85 %; quitina 5–10 %. Disponible en: <https://insectius.com/es/store/product/frass/>
- [7] Jimena de Dios, P.C. (2018). Efecto de diferentes estrategias de fertilización sobre la emisión de N₂O. TFC, Universidad Politécnica de Madrid. Repositorio UPM: OA.UPM.ES/51623.
- [8] JULCA, A.; MENESES, L.; BLAS, R.; BELLO, S. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia*, 24(1): 49–61.
- [9] CARTER, M.; SANDERSON, J.; MACLEOD, J. (2003). Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. *Journal of Soil Science*, 84: 211–218.
- [10] Mediavilla Pérez, C.B. (2016). Uso de tecnologías emergentes en la revalorización de los subproductos de la industria alimentaria. TFG, Universidad Complutense de Madrid.
- [11] Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020). Informe del Desperdicio Alimentario en la Industria y la Distribución en España, 2020. Madrid: MAPA.
- [12] Pons, A. (2016). Piensos a base de subproductos agroindustriales. CSIC, Delegación Andalucía.
- [13] Porcel, R. (2026, marzo). Valorización de residuos y subproductos hortofrutícolas generados en cultivos de la Comunitat Valenciana, para la obtención y formulación de productos con actividad biofertilizante y bioestimulante. Informe Técnico IBMCP-UPV-CSIC.
- [14] Revalorización de subproductos de la Industria Agroalimentaria. XIA — Xarxa d'innovació alimentària. Disponible en: <https://xia.cat/>
- [15] Saporta, R.; Bou, C.; Frías, V.; Mulet, J.M. (2019). A Method for a Fast Evaluation of the Biostimulant Potential of Different Natural Extracts for Promoting Growth or Tolerance against Abiotic Stress. *Agronomy*, 9(3): 143.
- [16] Scielo Costa Rica (2024). Desarrollo de un protocolo para producir quitosano a partir de la exuvia larval de *Tenebrio molitor*. *Revista de Biología Tropical*, 72(S3): e52509.
- [17] Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios S.L.U. (2026, enero–marzo). Informes de Ensayo GEP PP13-B: SI25-001 a SI25-045. EOR acreditación nº 95/18, MAPA.
- [18] Unión Europea (2019). Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019. DOUE L 170, 25.6.2019, pp. 1–114.



- [19] Universidad de la Concepción (2025). Microalgas como fuente de bioestimulantes agrícolas: una revisión. Repositorio UdeC.
- [20] Verchilab S.L. (2025–2026). Informes de análisis foliares de ensayos PP13-B. ENAC ISO 17025 Nº 458/LE871.
- [21] Moprilab S.L. (2025–2026). Informes de análisis agroalimentario de ensayos PP13-B. Laboratorio registrado en la Consejería de Sanidad y Consumo.
- [22] Fertihouse (2025). Hermetia illucens: el insecto que transforma residuos en biofertilizante y proteína sostenible.
- [23] FAO (2019). The State of Food and Agriculture: Moving Forward on Food Loss and Waste Reduction. Roma: FAO.
- [24] PROTEINSECTA S.L.; TEBRIO S.L.; AGRICONSA S.A.; BIORIZON BIOTECH S.L. (2023). PP13 — Memoria del Proyecto Primario. Línea de I+D+i del PERTE AccelerEAT.
- [25] DOUE-L-2019-81081 Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo. BOE.es. Disponible en: <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=DOUE-L-2019-81081>
- [26] Resumen de los puntos clave del Reglamento (UE) 2019/1009. Sun Chemicals Services. Disponible en: <https://sunchemicals.eu/es/resumen-de-los-puntos-clave-del-reglamento-ue-2019-1009/>
- [27] Reglamento Productos Fertilizantes UE. MAPA. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/>
- [28] Registro de bioestimulantes bajo Reglamento (UE) 2019/1009. NEVAL. Disponible en: <https://www.ne-val.com/registro-de-bioestimulantes-bajo-reglamento-ue-2019-1009/>



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.

PP13: Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.

ANEXO-ENT_002

ENT_2: ANÁLISIS DE PROCESOS A PARTIR DE RESIDUOS AGROALIMENTARIOS PARA LA OBTENCIÓN DE FERTILIZANTES CON MENOR HUELLA AMBIENTAL.

Entidades participantes:

PROTEINSECTA S.L., TEBRIO S.L., BIORIZON BIOTECH S.L., AGRICONSA S.A.

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

1. Introducción	1
2. Material y Métodos.....	2
2.1. Procesado de muestras.....	2
2.2. Realización de ensayo	2
3. Resultados.....	3
4. Conclusiones.....	6

1. Introducción

En Europa, una parte importante de los alimentos se pierde antes de llegar al consumidor: un 12% durante la manipulación y almacenamiento, 5% en el procesado y 9% en la distribución. En España, las pérdidas en 2018 alcanzaron casi 25 millones de euros, según el MAPA, pese a disponer solo de datos de la mitad de las empresas, lo que supone 0,0057 € por kg o litro producido. Además, la gestión actual de subproductos y residuos (SDRs) sigue infravalorando su potencial dentro de la economía circular, especialmente como fuente para crear bioinsumos, lo que convierte el problema en un reto económico, ambiental y ético.

En paralelo, la necesidad de nuevos ingredientes para alimentación animal es creciente: la producción de carne usa el 70% de las tierras agrícolas mundiales, y más del 80% de las proteínas para pienso en la UE son importadas. Reducir esta dependencia y la presión ecológica requiere investigar nuevas materias primas.

La situación es similar en el ámbito de los fertilizantes. La producción mundial, unos 185 millones de toneladas anuales, depende mayoritariamente de síntesis química, con una alta huella ambiental y uso de materias primas fósiles. Su aplicación excesiva genera contaminación, eutrofización y degradación del suelo. Por ello, se necesitan alternativas más sostenibles, como biofertilizantes procedentes de subproductos orgánicos.

2. Material 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:

- Tenebrio hoja Aguacate
- Tenebrio Levadura

Se han determinado los siguientes parámetros:

- Cenizas
- Humedad
- Extracto seco
- Proteínas
- Hidratos de carbono totales
- Grasa
- Energía (Kcal/KJ)
- Azufre
- Fósforo total
- Potasio

3. Resultados

El frass, formado por los desechos generados en la cría de insectos (restos de alimento, mudas y excrementos), se considera un insumo orgánico de gran interés dentro de los modelos de producción circular. Su perfil mineral varía en función del tipo de subproducto vegetal utilizado como sustrato en la alimentación de las larvas.

Dentro de estos nutrientes, el fósforo destaca especialmente. En muchos casos, el frass puede ofrecer niveles de fósforo disponible para las plantas superiores a los de algunos fertilizantes minerales, gracias a su notable proporción de fósforo inorgánico fácilmente asimilable. Hay estudios que incluso indican que ciertos frass aportan bastante más fósforo disponible que estiércoles tradicionales.

El potasio también está presente como macronutriente fundamental, aunque su concentración depende tanto del insecto como del subproducto alimentario empleado. Aun cuando su nivel pueda ser menor que el de otros estiércoles animales, suele ser suficiente para complementar el aporte de nitrógeno y fósforo y contribuir al equilibrio nutricional del suelo. Además, incluso en suelos con niveles elevados de P y K, el frass continúa mostrando efectos positivos sobre el desarrollo vegetal, lo que demuestra que su contribución en potasio, aunque moderada, forma parte del impacto global del biofertilizante.

En cuanto al azufre, su presencia se ve condicionada directamente por la composición del sustrato vegetal, ya que muchos residuos agrícolas contienen compuestos orgánicos que incorporan este mineral, el cual acaba reflejándose en el frass. Aunque las cantidades de azufre suelen ser más bajas que en determinados estiércoles convencionales, resultan adecuadas para mejorar el perfil mineral del producto final.

A continuación, se muestran los resultados obtenidos en la caracterización nutricional de los dos residuos analizados.

Tabla 1

Composición centesimal y minerales de interés.

Parámetros (g/100g)	Tenebrio Levadura	Tenebrio hoja Aguacate
Cenizas	8,7	8
Humedad	11,2	8.5
Extracto seco	88,8	91,5
Proteínas	17	15,2
Hidratos de carbono	61,5	65,6
Grasa	1,6	2,7
Energía Kcal	328	348
Energía KJ	1393	1474
Azufre	0.0533	0.2288
Fósforo total (mg/100g)	1562	1203
Potasio (mg/100g)	2300	1682

La composición obtenida para los dos residuos de *Tenebrio molitor* permite valorar su potencial como biofertilizantes. El nivel de cenizas, que indica la cantidad total de minerales, es muy similar entre ambos materiales, lo que sugiere que los dos ofrecen un aporte relevante de nutrientes inorgánicos al suelo.

Las diferencias en humedad y extracto seco muestran que el frass procedente de hoja de aguacate es ligeramente más concentrado que el generado con levadura, algo que puede traducirse en un producto más estable y con mayor proporción de nutrientes por unidad de peso. En cuanto a la fracción orgánica, ambos presentan cantidades moderadas de proteínas y grasas, mientras que los carbohidratos son mayoritarios. Esta composición favorece la actividad microbiana del suelo y permite una liberación progresiva de nutrientes, además de contribuir al aporte de carbono estructural.

Respecto a los minerales de interés, el fósforo destaca especialmente en el frass elaborado con levadura, que contiene valores significativamente más altos. Esto lo convierte en una opción interesante para suelos pobres en este elemento. El potasio, esencial para el equilibrio hídrico de las plantas y su tolerancia al estrés, aparece en concentraciones útiles en ambos residuos, con valores notablemente superiores en el frass con levadura. Ambos productos, por tanto, pueden ser incorporados en formulaciones N–P–K de origen orgánico.

El azufre, aunque minoritario, también muestra diferencias claras: el frass obtenido a partir de hoja de aguacate contiene más cantidad, lo que puede ser



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,
Transformación y Resiliencia



beneficioso para cultivos con mayores requerimientos de este micronutriente, como crucíferas o liliáceas.

En conjunto, ambos materiales presentan un perfil nutricional adecuado para su uso como biofertilizantes, aunque con matices: Tenebrio con levadura destaca por su mayor concentración de fósforo y potasio, mientras que Tenebrio con hoja de aguacate aporta más azufre y un extracto seco algo superior.

4. Conclusiones

- Ambos residuos de Tenebrio molitor muestran un equilibrio adecuado entre fracción orgánica y contenido mineral, lo que los sitúa como opciones viables para su incorporación en programas de fertilización orgánica.
- El frass obtenido a partir de dieta con levadura se caracteriza por niveles especialmente elevados de fósforo y potasio, nutrientes clave para la productividad de los cultivos y muy valorados en la formulación de biofertilizantes.
- Por el contrario, el frass procedente de hoja de aguacate presenta una concentración menor de humedad y una mayor presencia de azufre, lo que puede resultar beneficioso en cultivos con mayores necesidades de este micronutriente o en suelos donde este elemento sea limitante.
- Las diferencias detectadas permiten orientar su uso: el frass de levadura resulta más adecuado cuando se busca maximizar el aporte de P y K, mientras que el de hoja de aguacate es más interesante en aplicaciones donde se valore un producto más seco, con mejor estabilidad y un complemento mineral más diverso.
- En conjunto, ambos materiales pueden utilizarse de manera individual o combinada, en función de los objetivos agronómicos, ofreciendo alternativas orgánicas que contribuyen a una fertilización más sostenible y alineada con principios de economía circular.

PERTE AGROALIMENTARIO ACCELEREAT.

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

PP13: Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.

ENT_003

ENT_3: INFORME DE APLICACIÓN Y VALORACIÓN DE USO DE PRODUCTOS DERIVADOS DE INSECTOS EN LA FORMULACIÓN DE PIENSOS.

Entidades participantes:

PROTEINSECTA S.L., TEBRIO S.L., BIORIZON BIOTECH S.L., AGRICONSA S.A.

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. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.	6
1.1 Contexto del uso de insectos en alimentación animal.	7
1.2 Problemática de las fuentes proteicas convencionales.....	7
1.3 Objetivos del entregable.....	8
1.4 Alcance y metodología.....	8
2. PRODUCTOS DERIVADOS DE INSECTOS: COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES NUTRICIONALES.	10
2.1 Especies principales para producción de piensos.....	10
2.2 Harina de larva de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>).	10
2.3 Harina de gusano de la harina (<i>Tenebrio molitor</i>).....	11
2.4 Perfil de aminoácidos esenciales.	11
2.5 Ácidos grasos y perfil lipídico.	12
2.6 Contenido de quitina y fibra.	13
2.7 Compuestos bioactivos.	13
2.8 Comparación nutricional integral con fuentes convencionales.....	14
3. APLICACIONES EN FORMULACIÓN DE PIENSOS POR ESPECIE ANIMAL.	15
3.1 Acuicultura.	15
3.1.1 Salmón del Atlántico (<i>Salmo salar</i>).	15
3.1.2 Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	15
3.1.3 Dorada (<i>Sparus aurata</i>) y lubina (<i>Dicentrarchus labrax</i>).	15
3.1.4 Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).	16
3.2 Avicultura.	16
3.2.1 Pollos de engorde (broilers).....	16
3.2.2 Gallinas ponedoras.....	17
3.3 Porcino.	17
3.4. Mascotas (perros y gatos).....	17
3.5. Estudios de digestibilidad por especie.	18
4. VALORACIÓN DE USO Y RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS.	19
4.1 Estudios de eficacia en campo.	19
4.2 Índices de conversión alimenticia (FCR).	19
4.3 Salud intestinal y microbiota.....	19
4.4 Calidad de productos finales.....	20
4.5 Análisis coste-beneficio para productores.....	20



5. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.	21
5.1 Sistemas de cría en masa.	21
5.1.1 Instalaciones y equipamiento.	21
5.1.2 Control ambiental.	21
5.1.3. Densidades de cría y automatización.	21
5.2. Sustratos y alimentación de los insectos.	22
5.3. Procesamiento postcosecha.	22
5.4. Bioseguridad y control de calidad.	23
6. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INDUSTRIALIZACIÓN.	24
6.1 Plantas industriales existentes en Europa.	24
6.2 Capacidades productivas actuales y proyectadas.	24
6.3. Análisis de costes de producción.	25
6.4. Barreras tecnológicas y cuellos de botella.	26
6.5. Nivel de Madurez Tecnológica (TRL).	26
6.6. Escalabilidad: de piloto a industrial.	26
7. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y HUELLA AMBIENTAL.	27
7.1 Análisis de Ciclo de Vida (LCA).	27
7.2 Huella de carbono comparativa.	27
7.3 Uso de agua y tierra.	27
7.4. Contribución a la economía circular y valorización de residuos.	28
8. ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE MERCADO.	29
8.1 Tamaño actual del mercado global y europeo.	29
8.2. Proyecciones de crecimiento 2025-2035.	29
8.3. Segmentación por aplicación.	29
8.4. Precios y competitividad.	30
8.5. Cadena de valor y barreras de mercado.	30
9. PERSPECTIVAS DE FUTURO E INNOVACIONES EMERGENTES.	31
9.1 Tendencias tecnológicas.	31
9.1.1 Mejora genética de insectos.	31
9.1.2. Automatización avanzada e Inteligencia Artificial.	31
9.1.3. Biorrefinerías de insectos.	31
9.2. Nuevas especies en evaluación.	32
9.3. Marco político y de apoyo.	32
9.3.1. Estrategia "De la Granja a la Mesa" (Farm to Fork).	32
9.3.2. Pacto Verde Europeo (European Green Deal).	32
9.3.3. Programas de financiación.	33



9.4. Aceptación del mercado y comunicación.	33
9.5. Integración en economía circular.	33
9.6. Inversiones y financiación del sector.	33
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	35
10.1. Síntesis de hallazgos principales.	35
10.2. Análisis DAFO del sector.	35
10.3. Recomendaciones para el sector.	36
10.4. Recomendaciones para el proyecto PP13.	36
11. BIBLIOGRAFÍA.	38

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 - Perfil comparativo de aminoácidos esenciales de harinas de insectos y fuentes convencionales (g/100g de proteína cruda). PC = Proteína cruda. Rangos basados en revisión de literatura científica.....	12
Tabla 2 - Perfil de ácidos grasos de harinas de insectos comparado con harina de pescado y aceite de soja (% del total de ácidos grasos). SFA = Saturados; MUFA = Monoinsaturados; PUFA = Poliinsaturados.	13
Tabla 3 - Comparación nutricional integral entre harinas de insectos y fuentes proteicas convencionales. MS = Materia seca. Dig. = Digestibilidad.....	14
Tabla 4 - Resumen de resultados del uso de harina de insectos en acuicultura. HP = Harina de pescado; FCR = Índice de conversión alimenticia.	16
Tabla 5 - Coeficientes de digestibilidad aparente de harinas de insectos en diferentes especies animales (%). BSF = <i>Hermetia illucens</i> ; TM = <i>Tenebrio molitor</i>	18
Tabla 6 - Principales empresas productoras de proteína de insectos en Europa. BSF = <i>H. illucens</i> ; TM = <i>T. molitor</i>	25
Tabla 7 - Comparación de indicadores ambientales entre harina de insectos y fuentes convencionales. GWP = Potencial de calentamiento global.	28
Tabla 8 - Comparación de precios de fuentes proteicas para piensos y proyecciones para harina de insectos.	30
Tabla 9 - Análisis DAFO del sector de proteína de insectos para piensos.	35



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.

El presente documento constituye el Entregable 3 del Proyecto PP13, enmarcado dentro del PERTE Agroalimentario AccelerEAT, y aborda de forma exhaustiva la aplicación, valoración de uso y perspectivas de futuro de los productos derivados de insectos en la formulación de piensos para animales de producción.

Este informe técnico-científico integra el conocimiento actual sobre la composición nutricional, la eficacia zootécnica, el marco regulatorio, la viabilidad industrial y la sostenibilidad ambiental de la harina de insectos como ingrediente alternativo en la alimentación animal.

La creciente demanda global de proteínas para alimentación animal, unida a las limitaciones medioambientales y económicas de las fuentes proteicas convencionales — harina de pescado y harina de soja —, ha impulsado la investigación y desarrollo de alternativas sostenibles. Los insectos, y en particular las especies *Hermetia illucens* (mosca soldado negra) y *Tenebrio molitor* (gusano de la harina), han emergido como una de las opciones más prometedoras.

Su perfil nutricional, con contenidos de proteína cruda entre el 35% y el 63%, un excelente balance de aminoácidos esenciales y la presencia de compuestos bioactivos como péptidos antimicrobianos y ácido láurico, los posiciona como ingredientes de alto valor funcional.

El marco regulatorio europeo, articulado principalmente a través del Reglamento (UE) 2017/893 y sus sucesivas ampliaciones, ha establecido las condiciones para la utilización segura de proteínas animales procesadas (PAP) derivadas de insectos en acuicultura, avicultura y porcicultura. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha desempeñado un papel determinante en la evaluación de riesgos y la autorización de especies y sustratos. Actualmente, ocho especies de insectos están autorizadas para la producción de piensos en la Unión Europea.

Los ensayos de eficacia realizados en diversas especies animales han demostrado resultados altamente favorables. En acuicultura, la harina de insectos puede sustituir hasta el 100% de la harina de pescado en salmón del Atlántico sin comprometer el crecimiento. En avicultura, se han registrado mejoras superiores al 3% en peso corporal y producción de huevos. Los beneficios funcionales sobre la salud intestinal, la modulación de la microbiota y el refuerzo del sistema inmunológico añaden un valor diferencial significativo respecto a las fuentes convencionales.

Desde la perspectiva industrial, el sector se encuentra en una fase de escalado acelerado. Empresas pioneras como Protix, Ynsect e InnovaFeed están desarrollando plantas de producción con capacidades que alcanzan las decenas de miles de toneladas anuales, incorporando tecnologías de automatización, inteligencia artificial y conceptos de biorrefinería. No obstante, el coste de producción — actualmente entre 3.500 y 6.000 USD/tonelada — sigue siendo el principal obstáculo para la adopción generalizada, aunque las proyecciones indican una convergencia progresiva con los precios de la harina de pescado a medida que se consoliden las economías de escala.

El mercado global de proteína de insectos para alimentación animal se proyecta con una Tasa de Crecimiento Anual Compuesta (TCAC) del 15,02%, alcanzando un valor estimado de 12.980 millones de dólares para 2035. Las perspectivas de futuro son sólidas, sustentadas por el apoyo político del Pacto Verde Europeo y la estrategia "De la Granja a la Mesa", la integración en modelos de economía circular, las innovaciones en mejora genética y procesamiento, y un creciente flujo de inversiones.

El presente informe concluye que la proteína de insectos representa no solo una alternativa viable, sino una plataforma tecnológica con potencial transformador para el sistema de producción de piensos en la Unión Europea.

1.1 Contexto del uso de insectos en alimentación animal.

La seguridad alimentaria global y la sostenibilidad de los sistemas de producción animal constituyen dos de los mayores desafíos del siglo XXI. La creciente población mundial — que se prevé alcance los 10.000 millones de personas para 2050 — y el aumento sostenido del consumo de productos de origen animal ejercen una presión sin precedentes sobre los recursos naturales necesarios para producir piensos, especialmente sobre las fuentes de proteínas convencionales como la harina de pescado y la harina de soja.

En este contexto, la búsqueda de fuentes de proteínas alternativas, sostenibles y nutritivas se ha convertido en una prioridad estratégica para la industria de la alimentación animal. Los insectos emergen como una solución prometedora, fundamentada en razones ecológicas, nutricionales y económicas.

Su cría requiere significativamente menos tierra, agua y alimento en comparación con la ganadería tradicional, y pueden ser cultivados utilizando subproductos y residuos orgánicos, contribuyendo directamente a una economía circular.

Históricamente, los insectos han formado parte de la dieta natural de numerosas especies animales de producción, incluyendo aves de corral, peces y cerdos. La domesticación y producción industrial de insectos como ingrediente para piensos representa, por tanto, una formalización y optimización de procesos ecológicos naturales.

Las especies más estudiadas y desarrolladas comercialmente incluyen la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), la mosca doméstica (*Musca domestica*) y diversas especies de grillos (*Acheta domesticus*, *Gryllos sigillatus*).

El sector de la proteína de insectos para alimentación animal ha experimentado un crecimiento exponencial en la última década, impulsado por avances regulatorios, inversiones significativas en I+D y la creciente concienciación sobre la necesidad de diversificar las fuentes proteicas.

La Unión Europea ha liderado este proceso mediante la aprobación progresiva de marcos regulatorios específicos que permiten el uso de proteínas animales procesadas (PAP) derivadas de insectos en diferentes categorías de animales de producción.

1.2 Problemática de las fuentes proteicas convencionales.

La industria de la alimentación animal depende fundamentalmente de dos fuentes proteicas principales: la harina de pescado y la harina de soja. Ambas presentan limitaciones significativas que comprometen la sostenibilidad a largo plazo del sector.

La harina de pescado, tradicionalmente considerada la fuente proteica de referencia para acuicultura y otras producciones animales intensivas, se enfrenta a restricciones crecientes derivadas de la sobreexplotación de los caladeros marinos. La producción mundial de harina de pescado ha permanecido relativamente estable en torno a 5 millones de toneladas anuales, mientras que la demanda continúa en aumento, lo que ha provocado un incremento sostenido de los precios que actualmente se sitúan entre 1.400 y 1.800 USD/tonelada. Esta situación genera una dependencia económica problemática y plantea serias preocupaciones sobre la sostenibilidad de los ecosistemas marinos.

Por su parte, la harina de soja — que representa la principal fuente de proteína vegetal para piensos a nivel global — está asociada a impactos ambientales significativos: deforestación de ecosistemas tropicales, elevado consumo de agua, uso intensivo de agroquímicos y una huella de carbono

considerable derivada del transporte intercontinental. La Unión Europea importa anualmente más de 30 millones de toneladas de soja y derivados, generando una dependencia estratégica de mercados terceros que compromete la autonomía proteica del continente.

Estas limitaciones han catalizado la búsqueda activa de fuentes de proteínas alternativas que puedan complementar o sustituir parcialmente a las fuentes convencionales, manteniendo estándares nutricionales equivalentes con un menor impacto ambiental y una mayor independencia de las cadenas de suministro globales.

1.3 Objetivos del entregable.

El presente Entregable 3 tiene como objetivo principal proporcionar un informe técnico-científico exhaustivo sobre la aplicación y valoración de uso de productos derivados de insectos en la formulación de piensos para animales de producción. Los objetivos específicos son:

- Caracterizar la composición nutricional detallada de las principales harinas de insectos autorizadas en la Unión Europea, con especial énfasis en *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*.
- Analizar el marco regulatorio europeo vigente para el uso de PAP de insectos en alimentación animal, incluyendo requisitos de seguridad, trazabilidad y especies autorizadas.
- Evaluar la eficacia zootécnica de la harina de insectos en las principales especies de producción: acuicultura, avicultura, porcino y mascotas.
- Valorar los rendimientos productivos, la salud animal y la calidad de los productos finales derivados del uso de piensos con ingredientes de insectos.
- Evaluar la capacidad de industrialización del sector, analizando las tecnologías de producción, los costes, las barreras tecnológicas y el nivel de madurez tecnológica.
- Realizar un análisis de sostenibilidad ambiental comparativo mediante metodología de Análisis de Ciclo de Vida (LCA).
- Examinar la dinámica del mercado global y europeo, incluyendo proyecciones de crecimiento, segmentación y competitividad de precios.
- Identificar las perspectivas de futuro, tendencias tecnológicas emergentes, marco político de apoyo e integración en la economía circular.
- Formular conclusiones y recomendaciones para el avance del proyecto PP13 y del sector en general.

1.4 Alcance y metodología.

Este informe abarca el estado del arte y las perspectivas del sector de la proteína de insectos para alimentación animal en el ámbito de la Unión Europea, con referencias al contexto global cuando resulta pertinente. El alcance temporal de la revisión se extiende desde la aprobación del Reglamento (UE) 2017/893 hasta mayo de 2026, incorporando los desarrollos regulatorios, científicos, tecnológicos y de mercado más recientes.

La metodología empleada se basa en una revisión sistemática de la literatura científica publicada en revistas de referencia indexadas (Web of Science, Scopus, PubMed), complementada con el análisis de documentos regulatorios oficiales de la Unión Europea, informes de mercado de consultoras especializadas, publicaciones de la EFSA y documentación técnica de empresas del sector. Se han



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,
Transformación y Resiliencia



consultado más de 100 fuentes bibliográficas que proporcionan la base evidencial de las afirmaciones y datos presentados en este documento.

El documento se estructura en trece capítulos temáticos que abordan secuencialmente los aspectos regulatorios, nutricionales, aplicados, industriales, ambientales, económicos y prospectivos del uso de insectos en la formulación de piensos. Cada capítulo integra datos cuantitativos, tablas comparativas y análisis crítico para proporcionar una visión completa y rigurosa del estado actual y el potencial futuro del sector.



2. PRODUCTOS DERIVADOS DE INSECTOS: COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES NUTRICIONALES.

2.1 Especies principales para producción de piensos.

La viabilidad de la harina de insectos como ingrediente para piensos depende fundamentalmente de su perfil nutricional, que debe ser competitivo con las fuentes proteicas tradicionales.

Las dos especies más estudiadas y prometedoras para la producción a escala industrial son la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*, en adelante BSF) y el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*, en adelante TM).

Aunque su composición puede variar considerablemente en función del sustrato de cría, la etapa de desarrollo larvario y los métodos de procesamiento, ambas ofrecen un alto valor nutritivo que las posiciona como alternativas reales a las fuentes convencionales.

Además de estas dos especies dominantes, existen otras con potencial para la producción de piensos, como la mosca doméstica (*Musca domestica*), el gusano de seda (*Bombyx mori*) y diversas especies de grillos (*Acheta domesticus*, *Grylloides sigillatus*).

No obstante, la mayoría de la investigación publicada y el desarrollo industrial se han concentrado en BSF y TM, que son las especies con mayor volumen de producción comercial en Europa.

2.2 Harina de larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

La harina de larva de mosca soldado negra (BSFL) es reconocida por su perfil nutricional completo y versátil. Su contenido de proteína cruda es elevado, oscilando generalmente entre el 35% y el 61% en base a materia seca, pudiendo alcanzar concentraciones del 60% al 70% tras el desengrasado.

Este perfil proteico se complementa con un excelente balance de aminoácidos esenciales (AAE), con una notable presencia de leucina (hasta 7,9% de la proteína), lisina (hasta 6,8%), valina (hasta 6,5%) e histidina (hasta 3,5%).

El contenido de lípidos es sustancial, pudiendo representar hasta un 50% de la materia seca en larvas completas. El perfil de ácidos grasos está dominado por ácidos grasos saturados de cadena media, especialmente el ácido láurico (C12:0), que puede constituir entre el 20% y el 60% del total de ácidos grasos. El ácido láurico es conocido por su actividad antimicrobiana, particularmente contra bacterias Gram-positivas como *Clostridium perfringens* y *Staphylococcus aureus*, lo que confiere a la harina de BSF propiedades funcionales que van más allá de su valor nutricional básico.

La harina de BSFL es además una fuente importante de micronutrientes, incluyendo vitaminas del grupo B (B1, B2, B12), vitamina C y minerales esenciales.

Destaca especialmente por su contenido en calcio (hasta 7,56% en materia seca) y una excelente relación calcio-fósforo, lo que constituye una ventaja significativa respecto a otras fuentes proteicas alternativas. También contiene cantidades relevantes de potasio, zinc y hierro.

Un componente distintivo de la harina de BSF es la quitina, el principal polisacárido del exoesqueleto del insecto. La quitina actúa como una fibra dietética insoluble con propiedades prebióticas y bacteriostáticas documentadas. Aunque concentraciones elevadas (superiores al 2-3% de la dieta) pueden afectar negativamente la digestibilidad de otros nutrientes, niveles moderados pueden ejercer efectos beneficiosos sobre la salud intestinal y la modulación de la microbiota.



La composición de la harina puede ser modulada mediante la selección del sustrato de cría, lo que constituye una herramienta de "bioingeniería nutricional". Por ejemplo, la cría de larvas en sustratos enriquecidos con algas marinas puede incrementar los niveles de ácidos grasos omega-3 de cadena larga (EPA y DHA), mientras que sustratos ricos en carotenoides pueden mejorar el contenido de provitamina A.

Adicionalmente, la presencia de péptidos antimicrobianos (AMP) naturales en la harina ha demostrado mejorar la salud intestinal y modular positivamente el microbioma de los animales alimentados con piensos que la contienen.

2.3 Harina de gusano de la harina (*Tenebrio molitor*).

El gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) presenta una composición nutricional de alto valor, con características distintas a las de la BSF. El contenido de proteína cruda es muy variable y depende en gran medida del sustrato alimenticio, fluctuando entre un 28% y un 68% en base a materia seca. Dietas ricas en proteínas, como las basadas en harina de fabas, pueden maximizar este contenido, alcanzando hasta un 49,46%. Tras el desengrasado, la fracción proteica puede superar el 70% en materia seca.

El contenido lipídico es igualmente variable, situándose entre el 14% y el 39,91%. A diferencia de la BSF, el perfil lipídico de TM es más rico en ácidos grasos insaturados, particularmente en ácido oleico (C18:1, omega-9) y ácido linoleico (C18:2, omega-6), cuyos niveles pueden superar a los encontrados en el pescado. Esta composición lipídica hace que el aceite de TM sea especialmente interesante para aplicaciones donde se busca un perfil de ácidos grasos más insaturado.

La harina de TM es una fuente destacada de aminoácidos esenciales, con contenidos elevados de metionina, fenilalanina y tirosina. Sin embargo, a diferencia de la BSF, generalmente se considera una fuente relativamente pobre en calcio, con contenidos que oscilan entre el 0,03% y el 0,20%, un factor importante a tener en cuenta en la formulación de dietas y que puede requerir la suplementación con otras fuentes de calcio.

La elección del sustrato es crucial no solo para la composición nutricional sino también para optimizar la producción. Sustratos a base de cereales como el salvado de trigo, la harina de avena y la sémola favorecen el desarrollo larvario y la producción de biomasa, mientras que harinas de leguminosas como el garbanzo y la lenteja pueden mejorar la eficiencia de conversión del alimento.

Estudios recientes han demostrado que *Tenebrio molitor* posee la capacidad de seleccionar alimentos y equilibrar su ingesta de macronutrientes, lo que subraya la importancia de una formulación dietética precisa para maximizar tanto el crecimiento como el valor nutricional final.

2.4 Perfil de aminoácidos esenciales.

El perfil de aminoácidos esenciales es uno de los parámetros más relevantes para evaluar la calidad proteica de una fuente destinada a la formulación de piensos.

Las harinas de insectos presentan perfiles de aminoácidos que, en general, son comparables o superiores a los de la harina de soja en varios aminoácidos limitantes, y se aproximan a los de la harina de pescado.

Perfil comparativo de aminoácidos esenciales de harinas de insectos y fuentes convencionales (g/100g de proteína cruda). PC = Proteína cruda. Rangos basados en revisión de literatura científica.



Tabla 1 - Perfil comparativo de aminoácidos esenciales de harinas de insectos y fuentes convencionales (g/100g de proteína cruda). PC = Proteína cruda. Rangos basados en revisión de literatura científica.

Aminoácido	BSF (g/100g PC)	TM (g/100g PC)	H. Soja (g/100g PC)	H. Pescado (g/100g PC)
Lisina	5,2 – 6,8	5,1 – 6,5	6,1 – 6,3	7,5 – 8,0
Metionina	1,8 – 2,5	1,5 – 2,0	1,3 – 1,4	2,8 – 3,0
Treonina	3,5 – 4,2	3,8 – 4,5	3,8 – 4,0	4,2 – 4,5
Leucina	6,5 – 7,9	7,0 – 8,5	7,5 – 7,8	7,2 – 7,8
Isoleucina	4,0 – 5,0	4,5 – 5,5	4,5 – 4,6	4,3 – 4,6
Valina	5,5 – 6,5	5,8 – 6,8	4,7 – 4,8	5,0 – 5,5
Histidina	2,8 – 3,5	3,0 – 3,8	2,5 – 2,7	2,3 – 2,5
Fenilalanina	3,8 – 4,5	3,5 – 4,2	5,0 – 5,2	4,0 – 4,3
Triptófano	0,8 – 1,2	0,9 – 1,3	1,3 – 1,4	1,0 – 1,1
Arginina	4,5 – 5,5	4,8 – 5,5	7,2 – 7,4	6,0 – 6,5

Como puede observarse en la Tabla, los niveles de metionina en las harinas de insectos son generalmente superiores a los de la harina de soja, lo que representa una ventaja significativa dado que la metionina es frecuentemente un aminoácido limitante en las dietas avícolas y acuícolas.

Los niveles de lisina son comparables entre las diferentes fuentes, aunque inferiores a los de la harina de pescado.

Un aspecto a considerar es que los niveles de arginina en las harinas de insectos son inferiores a los de la harina de soja, lo que podría requerir suplementación en dietas para gallinas ponedoras, donde la arginina es un aminoácido crítico.

2.5 Ácidos grasos y perfil lipídico.

El contenido y perfil de ácidos grasos de las harinas de insectos presenta diferencias significativas entre especies y constituye un factor determinante para su aplicación en la formulación de piensos. La fracción lipídica de los insectos puede representar entre el 14% y el 50% de la materia seca, y su composición puede ser modulada mediante la selección del sustrato de cría.

La harina de BSF se caracteriza por un perfil lipídico dominado por ácidos grasos saturados, especialmente el ácido láurico (C12:0), que puede representar entre el 20% y el 60% del total.

Este perfil la diferencia marcadamente de la harina de pescado (rica en EPA y DHA) y de la harina de soja (rica en ácido linoleico). El elevado contenido en ácido láurico confiere a la grasa de BSF propiedades antimicrobianas documentadas, que pueden contribuir a la salud intestinal de los animales.

Por su parte, la harina de TM presenta un perfil lipídico más insaturado, con predominancia de ácido oleico (C18:1, hasta el 35-40%) y ácido linoleico (C18:2, hasta el 25-35%).

Este perfil es más próximo al de los aceites vegetales y puede resultar ventajoso en formulaciones donde se busca reducir la proporción de ácidos grasos saturados.



Tabla 2 - Perfil de ácidos grasos de harinas de insectos comparado con harina de pescado y aceite de soja (% del total de ácidos grasos). SFA = Saturados; MUFA = Monoinsaturados; PUFA = Poliinsaturados.

Ácido graso	BSF (%)	TM (%)	H. Pescado (%)	Aceite de soja (%)
Láurico (C12:0)	20 – 60	< 1	< 1	< 0,5
Mirístico (C14:0)	5 – 12	2 – 4	7 – 10	< 0,5
Palmítico (C16:0)	10 – 18	15 – 20	18 – 25	10 – 12
Esteárico (C18:0)	2 – 5	3 – 5	3 – 5	3 – 5
Oleico (C18:1)	8 – 20	35 – 45	15 – 20	20 – 25
Linoleico (C18:2)	3 – 10	25 – 35	1 – 3	50 – 55
Linolénico (C18:3)	< 2	1 – 3	1 – 2	6 – 9
EPA (C20:5)	< 0,5	< 0,1	8 – 15	< 0,1
DHA (C22:6)	< 0,5	< 0,1	10 – 18	< 0,1
SFA total	50 – 80	25 – 35	30 – 40	15 – 18
MUFA total	10 – 25	35 – 50	20 – 30	22 – 28
PUFA total	5 – 15	28 – 40	30 – 40	55 – 65

2.6 Contenido de quitina y fibra.

La quitina es un polisacárido nitrogenado (poli-N-acetil-D-glucosamina) que constituye el principal componente estructural del exoesqueleto de los insectos. Su contenido en las harinas de insectos varía según la especie, la etapa de desarrollo y el método de procesamiento, situándose típicamente entre el 5% y el 15% de la materia seca.

En la harina de BSF, el contenido de quitina suele oscilar entre el 5% y el 10%, mientras que en TM puede alcanzar el 5% al 12%.

La quitina presenta una dualidad funcional en la nutrición animal. Por un lado, actúa como una fibra dietética insoluble que puede reducir la digestibilidad aparente de otros nutrientes — especialmente proteínas y lípidos — cuando su concentración en la dieta supera el 2-3%.

Por otro lado, niveles moderados de quitina ejercen efectos prebióticos documentados, promoviendo el crecimiento de bacterias beneficiosas como Lactobacillus y Bifidobacterias en el tracto digestivo, y efectos bacteriostáticos contra patógenos intestinales.

Adicionalmente, la quitina y sus derivados, particularmente el quitosano (obtenido por desacetilación de la quitina), poseen propiedades inmuno estimuladoras que han demostrado mejorar la respuesta inmune innata en diversas especies animales. Estas propiedades funcionales convierten a la quitina en un componente de valor añadido que diferencia a las harinas de insectos de las fuentes proteicas convencionales.

2.7 Compuestos bioactivos.

Más allá de su valor nutricional como fuente de proteínas, lípidos y micronutrientes, las harinas de insectos contienen una serie de compuestos bioactivos que pueden ejercer efectos funcionales beneficiosos en los animales de producción. Los principales compuestos bioactivos identificados incluyen:

- **Péptidos antimicrobianos (AMP):** los insectos producen una amplia gama de AMP como parte de su sistema inmune innato. Estos péptidos han demostrado actividad contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, hongos y virus, y pueden contribuir a mejorar la salud intestinal y reducir la dependencia de antibióticos promotores del crecimiento.
- **Ácido láurico y derivados:** el ácido láurico, predominante en la grasa de BSF, y su monoglicérido (monolaurina) poseen actividad antimicrobiana demostrada, particularmente contra *Clostridium perfringens*, una de las principales causas de enteritis necrótica en aves de corral.
- **Melanina:** presente en el exoesqueleto de varias especies de insectos, la melanina posee propiedades antioxidantes y fotoprotectoras que pueden contribuir a la calidad de los productos finales.
- **Compuestos fenólicos y flavonoides:** identificados en menor concentración, estos compuestos contribuyen a la capacidad antioxidante total de las harinas de insectos.

2.8 Comparación nutricional integral con fuentes convencionales.

Tabla 3 - Comparación nutricional integral entre harinas de insectos y fuentes proteicas convencionales. MS = Materia seca. Dig. = Digestibilidad.

Parámetro	BSF (<i>H. illucens</i>)	TM (<i>T. molitor</i>)	Harina de soja	Harina de pescado
Proteína cruda (%MS)	35 – 61	28 – 68	44 – 48	60 – 72
Proteína (desengrasada)	60 – 70	65 – 75	—	—
Lípidos totales (%MS)	15 – 50	14 – 40	1 – 2	8 – 12
Fibra cruda (%MS)	7 – 15	5 – 12	5 – 7	< 1
Cenizas (%MS)	10 – 20	3 – 6	5 – 7	15 – 25
Calcio (%MS)	1,5 – 7,6	0,03 – 0,20	0,25 – 0,35	3,0 – 6,0
Fósforo (%MS)	0,6 – 1,5	0,70 – 0,90	0,60 – 0,70	2,5 – 3,5
Energía bruta (MJ/kg)	20 – 25	25 – 28	18 – 19	20 – 22
Quitina (%MS)	5 – 10	5 – 12	0	0
Dig. proteica (aves) (%)	75 – 85	80 – 90	85 – 90	85 – 92

La Tabla evidencia que las harinas de insectos son nutricionalmente competitivas con las fuentes convencionales. Su contenido proteico, especialmente tras el desengrasado, puede igualar o superar al de la harina de pescado. Las principales diferencias residen en el contenido lipídico (significativamente mayor en insectos), el perfil de ácidos grasos, el contenido de quitina (exclusivo de insectos) y las variaciones en minerales (especialmente el elevado calcio de BSF y el bajo calcio de TM).



3. APLICACIONES EN FORMULACIÓN DE PIENSOS POR ESPECIE ANIMAL.

3.1 Acuicultura.

La acuicultura ha sido el primer sector de producción animal en el que se ha autorizado y evaluado extensivamente el uso de PAP de insectos, motivado por la necesidad urgente de encontrar alternativas sostenibles a la harina de pescado. Los resultados de la investigación en las principales especies acuícolas son altamente prometedores.

3.1.1 Salmón del Atlántico (*Salmo salar*).

El salmón del Atlántico constituye una de las especies acuícolas más intensamente estudiadas en relación con el uso de harina de insectos. Diversas investigaciones han demostrado que la harina de BSFL puede reemplazar hasta el 100% de la harina de pescado en la dieta de post-smolts sin comprometer significativamente el crecimiento, la ingesta de alimento o la composición corporal. En un estudio de referencia, salmones alimentados con dietas donde la harina de BSF reemplazó progresivamente la harina de pescado (25%, 50%, 75% y 100%) no mostraron diferencias significativas en peso final ni en tasa de crecimiento específico a niveles de inclusión de hasta el 50%.

Aunque en algunos casos se observó una ligera disminución en la ingesta voluntaria de pienso con mayores niveles de inclusión, la mejora en el índice de conversión alimenticia (FCR) compensó esta reducción, resultando en un crecimiento neto equivalente. Los FCR obtenidos con dietas basadas en insectos (1,05-1,15) fueron comparables a los de dietas convencionales basadas en harina de pescado (1,00-1,10).

La digestibilidad aparente de la proteína cruda se mantiene en niveles altos (85-90%) con inclusiones de hasta el 25% de harina de BSF, aunque puede disminuir ligeramente (80-85%) con niveles superiores, principalmente debido al incremento del contenido de quitina en la dieta. La digestibilidad de los lípidos y aminoácidos individuales permanece generalmente por encima del 85% en todos los niveles de inclusión evaluados.

Un aspecto relevante es la calidad nutricional del filete. La sustitución de harina de pescado por harina de BSF reduce el contenido de ácidos grasos omega-3 de cadena larga (EPA y DHA) en el músculo del salmón, lo que puede afectar al valor nutricional del producto para el consumidor humano. Esta limitación puede mitigarse parcialmente mediante la cría de larvas de BSF en sustratos enriquecidos con algas marinas ricas en omega-3, o mediante la suplementación del pienso con aceite de pescado o aceites de microalgas.

3.1.2 Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

Los estudios en trucha arcoíris han mostrado resultados similares a los obtenidos en salmón. La harina de BSF puede reemplazar entre el 25% y el 50% de la harina de pescado sin efectos negativos significativos sobre el crecimiento, el FCR o la composición corporal. Niveles de inclusión del 20-25% de harina de BSF en la dieta total han mostrado resultados particularmente consistentes, con rendimientos productivos equivalentes a los controles.

La harina de TM también ha sido evaluada en trucha arcoíris con resultados positivos. Estudios reportan que inclusiones de hasta el 25-30% de harina de TM pueden realizarse sin efectos adversos sobre el crecimiento, y algunos trabajos han documentado mejoras en la morfología intestinal y la diversidad de la microbiota, asociadas a los efectos prebióticos de la quitina.

3.1.3 Dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*).

En especies mediterráneas como la dorada y la lubina, la harina de BSF ha demostrado poder sustituir entre el 30% y el 50% de la proteína de harina de pescado sin comprometer los parámetros



productivos. En dorada, estudios con niveles de inclusión del 25% de harina de BSF desengrasada han reportado rendimientos productivos equivalentes a los controles, con FCR de 1,5-1,7.

En lubina, la inclusión de hasta un 20-25% de harina de BSF ha mostrado resultados positivos, aunque niveles superiores pueden resultar en una reducción moderada del crecimiento, atribuida tanto al contenido de quitina como a diferencias en la palatabilidad del pienso.

3.1.4 Tilapia (*Oreochromis niloticus*).

La tilapia, como especie omnívora con menores requerimientos de proteína animal en su dieta, presenta una excelente tolerancia a la inclusión de harinas de insectos. Estudios han demostrado que la harina de BSF puede sustituir hasta el 75-100% de la harina de pescado en dietas para tilapia sin efectos negativos sobre el crecimiento, el FCR o la supervivencia. La naturaleza omnívora de la tilapia y su eficiente capacidad para digerir quitina contribuyen a estos resultados favorables.

Tabla 4 - Resumen de resultados del uso de harina de insectos en acuicultura. HP = Harina de pescado; FCR = Índice de conversión alimenticia.

Especie	Sustitución máx. HP	FCR con insectos	Efecto en crecimiento	Observaciones
Salmón Atlántico	Hasta 100%	1,05 – 1,15	Sin diferencias (<50%)	Reducción omega-3 en filete
Trucha arcoíris	25 – 50%	1,10 – 1,25	Sin diferencias	Mejora microbiota intestinal
Dorada	30 – 50%	1,50 – 1,70	Equivalente (<30%)	Mejor con BSF desengrasada
Lubina	20 – 25%	1,40 – 1,60	Equivalente	Palatabilidad a monitorizar
Tilapia	75 – 100%	1,30 – 1,50	Sin diferencias	Excelente tolerancia

3.2 Avicultura.

3.2.1 Pollos de engorde (broilers).

La harina de insectos se posiciona como un sustituto potencial de la harina de soja y la harina de pescado en la alimentación avícola, ofreciendo beneficios tanto nutricionales como funcionales. Estudios en pollos de engorde han mostrado mejoras significativas en el rendimiento zootécnico con la inclusión de harinas de insectos en la dieta.

La inclusión creciente de harina de TM (de 0,1% a 0,3%) ha resultado en un aumento significativo del peso corporal y una mejora en el índice de conversión alimenticia. Estudios con niveles de inclusión del 5-10% de harina de BSF como sustituto parcial de harina de soja han reportado rendimientos equivalentes o superiores a los controles. En general, se estima que diversas especies de insectos tienen el potencial de mejorar el rendimiento de crecimiento de los pollos de engorde en más de un 3%.

Un aspecto funcional clave es la presencia de péptidos antimicrobianos y el ácido láurico en la harina de BSF. Estos compuestos han demostrado mejorar la salud intestinal, fortalecer la función inmunológica y reducir la incidencia de enteritis necrótica causada por *Clostridium perfringens*, una de las patologías más costosas en la producción avícola. Estos beneficios funcionales pueden traducirse en una reducción del uso de antibióticos promotores del crecimiento, alineándose con los objetivos regulatorios de la UE.

La calidad de la carne de los pollos alimentados con piensos que contienen harina de insectos ha sido evaluada en múltiples estudios, sin detectarse diferencias significativas en los parámetros sensoriales (color, textura, sabor) respecto a los controles alimentados con dietas convencionales.

3.2.2 Gallinas ponedoras.

En gallinas ponedoras, la inclusión de harina de insectos ha mostrado un impacto positivo en la producción de huevos, con algunos estudios reportando aumentos superiores al 3% en la tasa de puesta. La harina de gusano de seda (*Bombyx mori*) ha demostrado mejorar la producción de huevos en codornices ponedoras sin afectar negativamente la calidad de los mismos.

La calidad del huevo — incluyendo peso del huevo, grosor de la cáscara, unidades Haugh, color de la yema e índice de yema — no se ve afectada negativamente con inclusiones de hasta el 10-15% de harina de insectos. Algunos estudios han reportado incluso mejoras en la pigmentación de la yema, particularmente con harinas de insectos que contienen carotenoides naturales.

Un punto a considerar en gallinas ponedoras es el contenido de arginina en la dieta. Dado que las harinas de insectos presentan niveles de arginina inferiores a los de la harina de soja, puede ser necesaria la suplementación con arginina sintética cuando los niveles de inclusión de harina de insectos superen el 10-15% de la dieta total.

3.3 Porcino.

La autorización del uso de PAP de insectos en la alimentación porcina (Reglamento UE 2021/1372) ha abierto un mercado significativo para el sector. Los estudios realizados hasta la fecha se han centrado principalmente en lechones, donde la harina de insectos ha demostrado efectos particularmente beneficiosos.

En lechones destetados, la inclusión de harina de BSF como sustituto parcial de la harina de soja (5-10% de la dieta) ha mostrado mejoras en la ganancia de peso diaria y el FCR, asociadas a efectos positivos sobre la salud intestinal. El ácido láurico presente en la harina de BSF ha demostrado reducir la incidencia de diarreas post-destete, un problema sanitario de primera magnitud en la producción porcina.

En cerdos de engorde, los estudios disponibles son más limitados, pero los resultados preliminares indican que inclusiones del 5-8% de harina de insectos son compatibles con rendimientos productivos equivalentes a los de las dietas convencionales. Se necesitan más investigaciones a largo plazo para establecer los niveles óptimos de inclusión en las diferentes fases productivas.

3.4. Mascotas (perros y gatos).

El mercado de alimentación para mascotas representa un segmento de especial interés para la industria de la proteína de insectos, tanto por sus elevados márgenes de beneficio como por la disposición de los propietarios a pagar más por productos novedosos, sostenibles e hipoalergénicos.

La harina de insectos, particularmente de BSF y TM, ha demostrado ser una fuente proteica altamente digestible y palatabilidad adecuada para perros y gatos. Un atributo diferencial especialmente valorado es su carácter hipoalergénico: al tratarse de una fuente proteica novedosa, la harina de insectos puede ser utilizada en dietas de eliminación y dietas para animales con alergias o intolerancias alimentarias a las proteínas convencionales (pollo, vacuno, pescado, soja).

Varios fabricantes europeos de alimentos para mascotas ya han lanzado líneas de productos basados en proteína de insectos, posicionándolos como opciones premium sostenibles. Los estudios de digestibilidad en perros muestran coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína superiores al 80%, comparables a los de fuentes proteicas convencionales de alta calidad.

3.5. Estudios de digestibilidad por especie.

Tabla 5 - Coeficientes de digestibilidad aparente de harinas de insectos en diferentes especies animales (%).
BSF = *Hermetia illucens*; TM = *Tenebrio molitor*.

Especie animal	Tipo de harina	Dig. proteína (%)	Dig. lípidos (%)	Dig. energía (%)
Salmón Atlántico	BSF	78 – 88	85 – 92	80 – 87
Trucha arcoíris	BSF / TM	80 – 90	87 – 93	82 – 88
Dorada	BSF desgrasada	82 – 88	88 – 92	83 – 87
Pollo de engorde	BSF	75 – 85	82 – 90	78 – 85
Pollo de engorde	TM	80 – 90	85 – 92	82 – 88
Gallina ponedora	BSF / TM	78 – 86	83 – 90	80 – 86
Lechón	BSF	76 – 84	80 – 88	78 – 84
Perro	BSF / TM	80 – 88	85 – 92	82 – 88
Gato	BSF / TM	78 – 85	83 – 90	80 – 86



4. VALORACIÓN DE USO Y RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS.

4.1 Estudios de eficacia en campo.

Los estudios de eficacia realizados bajo condiciones controladas y semi-comerciales han proporcionado evidencia sólida sobre la viabilidad del uso de harinas de insectos como ingrediente funcional en piensos para las principales especies de producción. La convergencia de resultados positivos procedentes de múltiples centros de investigación y en diversas condiciones experimentales refuerza la confianza en la aplicabilidad práctica de estos ingredientes.

Un meta-análisis publicado recientemente, que integró datos de más de 80 estudios individuales sobre el efecto de las harinas de insectos en peces, concluyó que la inclusión de harina de insectos como sustituto parcial de la harina de pescado no produce efectos negativos significativos sobre el crecimiento cuando los niveles de inclusión se mantienen por debajo del 25-30% de la proteína total de la dieta. Los efectos sobre la salud intestinal y la modulación de la microbiota fueron consistentemente positivos.

En avicultura, los ensayos de campo con dietas que contienen entre un 5% y un 15% de harina de insectos (BSF o TM) han demostrado rendimientos productivos equivalentes o superiores a los de las dietas control basadas en harina de soja, con beneficios adicionales en salud intestinal y función inmunológica. Los resultados más consistentes se obtienen con niveles de inclusión del 5-10% de la dieta total, que representan el rango óptimo desde el punto de vista coste-beneficio.

4.2 Índices de conversión alimenticia (FCR).

El índice de conversión alimenticia (FCR) es uno de los parámetros zootécnicos más relevantes para evaluar la eficiencia económica de un pienso. Los resultados obtenidos con harinas de insectos son altamente competitivos. En salmón del Atlántico, los FCR con dietas basadas en harina de BSF (1,05-1,15) son comparables a los obtenidos con dietas convencionales de harina de pescado (1,00-1,10). En pollos de engorde, los FCR con inclusiones del 5-10% de harina de insectos se sitúan en el rango de 1,50-1,70, equivalentes a los controles.

Es importante destacar que los FCR pueden verse afectados por el nivel de inclusión, el tipo de harina (entera vs. desengrasada), la especie animal y la formulación global de la dieta. Los mejores resultados se obtienen cuando la harina de insectos se integra de forma equilibrada en la formulación, compensando las diferencias en perfil nutricional mediante ajustes en otros ingredientes.

4.3 Salud intestinal y microbiota.

Uno de los beneficios más consistentemente documentados del uso de harinas de insectos en piensos es su efecto positivo sobre la salud intestinal y la composición de la microbiota. Los mecanismos implicados incluyen la acción prebiótica de la quitina, los efectos antimicrobianos del ácido láurico y los péptidos antimicrobianos, y la modulación de la respuesta inmune intestinal.

En peces, la inclusión de harina de BSF ha demostrado aumentar la diversidad microbiana intestinal, promover el crecimiento de bacterias beneficiosas del género *Lactobacillus* y reducir la abundancia de patógenos potenciales. Estos cambios en la microbiota se asocian con mejoras en la morfología intestinal (mayor altura de vellosidades, menor profundidad de criptas) y con un refuerzo de la barrera intestinal.

En aves, los efectos sobre la microbiota son igualmente positivos. El ácido láurico de la harina de BSF ha demostrado reducir significativamente las poblaciones de *Clostridium perfringens* en el intestino,



contribuyendo a la prevención de la enteritis necrótica. Estudios en pollos de engorde han reportado reducciones del 40-60% en las poblaciones de Clostridium y aumentos del 20-30% en las de Lactobacillus con inclusiones del 5-10% de harina de BSF.

4.4 Calidad de productos finales.

La calidad de los productos animales finales (carne, huevos, pescado) obtenidos de animales alimentados con piensos que contienen harina de insectos ha sido evaluada extensivamente, con resultados generalmente favorables.

En carne de pollo, los análisis sensoriales (paneles de catadores entrenados y pruebas de consumidores) no han detectado diferencias significativas en color, textura, jugosidad o sabor entre pollos alimentados con dietas convencionales y aquellos alimentados con dietas que contienen hasta un 15% de harina de insectos. La composición proximal de la carne (proteína, grasa, cenizas, humedad) tampoco se ve afectada de forma significativa.

En huevos, la calidad externa (peso, grosor de cáscara) e interna (unidades Haugh, color de yema, contenido nutricional) se mantiene dentro de los estándares comerciales. En pescado de acuicultura, el principal efecto observado es una modificación del perfil de ácidos grasos del filete, con una reducción del contenido de EPA y DHA proporcional al nivel de sustitución de harina de pescado, que puede ser parcialmente mitigada mediante estrategias de enriquecimiento del sustrato de los insectos.

4.5 Análisis coste-beneficio para productores.

Desde la perspectiva del productor, la adopción de piensos con harina de insectos requiere un análisis coste-beneficio que considere no solo el precio del ingrediente, sino también los beneficios indirectos en salud animal, reducción del uso de antibióticos, y el potencial de diferenciación del producto final en el mercado.

El coste actual de la harina de insectos (3.500-6.000 USD/tonelada) es significativamente superior al de la harina de soja (400-500 USD/tonelada) y moderadamente superior al de la harina de pescado (1.400-1.800 USD/tonelada). Sin embargo, cuando se consideran los beneficios funcionales — mejora de la salud intestinal, reducción de mortalidad, menor uso de antibióticos y mejora del FCR —, el balance económico puede resultar favorable, especialmente en producciones de alto valor como la acuicultura premium y la alimentación de mascotas.

Las proyecciones indican que los costes de producción de harina de insectos se reducirán significativamente a medida que la industria escale sus operaciones y optimice sus procesos. Se estima que para 2030 los precios podrían descender hasta el rango de 1.500-2.500 USD/tonelada, lo que convertiría a la harina de insectos en una alternativa económicamente competitiva con la harina de pescado para una amplia gama de aplicaciones.

5. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.

5.1 Sistemas de cría en masa.

5.1.1 Instalaciones y equipamiento.

La producción industrial de insectos para piensos requiere instalaciones especializadas diseñadas para maximizar la eficiencia productiva manteniendo estrictos estándares de bioseguridad. Las plantas modernas se configuran típicamente como sistemas de cría en vertical (vertical farming), que permiten una alta densidad de producción en espacios relativamente reducidos.

Las instalaciones constan de varias áreas funcionales diferenciadas: zona de reproducción (para los adultos reproductores), zona de incubación y eclosión, zona de cría larvaria (que ocupa la mayor superficie), zona de procesamiento (sacrificio, secado, desengrasado, molienda) y zonas de almacenamiento y logística. Las plantas más avanzadas incorporan también laboratorios de control de calidad y áreas de I+D.

Los sistemas de bandejas apilables son el diseño predominante para la cría de larvas de BSF y TM. Las bandejas, fabricadas típicamente en polipropileno de grado alimentario, se disponen en estanterías verticales con separaciones controladas que permiten la ventilación adecuada. Los sistemas más modernos utilizan bandejas de gran formato (hasta 60x40 cm) con capacidades de carga de hasta 10-15 kg de biomasa por bandeja.

5.1.2 Control ambiental.

La producción industrial de insectos para piensos requiere instalaciones especializadas diseñadas para maximizar la eficiencia productiva manteniendo estrictos estándares de bioseguridad. Las plantas modernas se configuran típicamente como sistemas de cría en vertical (vertical farming), que permiten una alta densidad de producción en espacios relativamente reducidos.

El control preciso de las condiciones ambientales es crítico para optimizar el crecimiento, la supervivencia y la calidad nutricional de los insectos. Los parámetros clave incluyen temperatura, humedad relativa, ventilación y fotoperiodo, cuyos valores óptimos varían según la especie y la etapa de desarrollo.

Para *Hermetia illucens*, las condiciones óptimas de cría larvaria se sitúan en un rango de temperatura de 25-30°C, con humedad relativa del 60-80% y una ventilación controlada que mantenga niveles de CO₂ por debajo de 3.000 ppm. Para los adultos reproductores, las condiciones difieren: temperaturas de 25-28°C, humedad del 50-70% y un fotoperiodo de 12-16 horas de luz necesario para estimular la oviposición.

Para *Tenebrio molitor*, las temperaturas óptimas de cría se sitúan entre 25-28°C, con humedad relativa del 60-70%. El gusano de la harina es más tolerante a variaciones de temperatura que la BSF, pero requiere un control estricto de la humedad para evitar el desarrollo de hongos y ácaros.

Los sistemas de control ambiental modernos incorporan sensores IoT que monitorizan en tiempo real todos los parámetros críticos y algoritmos de IA que ajustan automáticamente los sistemas de climatización para mantener las condiciones óptimas, optimizando simultáneamente el consumo energético.

5.1.3. Densidades de cría y automatización.

Las densidades de cría óptimas representan un equilibrio entre la maximización de la producción por unidad de superficie y la prevención de problemas asociados al hacinamiento (canibalismo, estrés, reducción del crecimiento, aumento de mortalidad). Para larvas de BSF, las densidades recomendadas



se sitúan entre 2 y 5 larvas por cm^2 , dependiendo del estadio de desarrollo y las condiciones de ventilación. Para TM, las densidades típicas son de 0,5-2,0 larvas por cm^2 .

La automatización es un factor diferencial en la competitividad de las plantas industriales modernas. Los sistemas automatizados abarcan: alimentación automática (suministro preciso de sustrato según especie, etapa de desarrollo y densidad); cribado y clasificación (separación de insectos por tamaño y estado de desarrollo); cosecha automatizada; transporte interno robotizado; y sistemas de limpieza y desinfección automatizados.

Las empresas más avanzadas del sector están implementando plataformas de gestión integrada basadas en IA que coordinan todos los procesos productivos, desde la planificación de la producción hasta el control de calidad del producto final. Estos sistemas permiten la trazabilidad completa, la optimización continua de los procesos y la detección temprana de problemas sanitarios o de producción.

5.2. Sustratos y alimentación de los insectos.

La selección y gestión de los sustratos de cría es uno de los factores más determinantes tanto para la eficiencia productiva como para la calidad nutricional y la seguridad del producto final. Los insectos destinados a la producción de piensos deben ser alimentados exclusivamente con sustratos autorizados por la normativa europea.

Los sustratos más utilizados incluyen: subproductos de la industria cerealista (salvado de trigo, harinillas, cascarillas); subproductos de la industria cervecera (bagazo de cerveza); residuos de frutas y verduras (descartados de cadenas de distribución); subproductos de la industria harinera y panadera; y piensos formulados específicos para insectos.

La eficiencia de conversión alimenticia (FCR) de los insectos varía según la especie y el sustrato. Las larvas de BSF presentan FCR de 1,5:1 a 2,0:1 (kg de sustrato seco por kg de biomasa fresca), lo que las convierte en uno de los sistemas de producción de proteína más eficientes conocidos. En comparación, el FCR de la harina de pescado es de 3,5:1 y el de la harina de soja de 4,2:1.

La trazabilidad de los sustratos es un requisito regulatorio esencial. Los operadores deben documentar el origen, composición y análisis de seguridad de cada lote de sustrato utilizado, garantizando la ausencia de contaminantes prohibidos (pesticidas, metales pesados, micotoxinas, patógenos) en niveles superiores a los establecidos por la normativa.

5.3. Procesamiento postcosecha.

El procesamiento postcosecha de los insectos comprende una serie de etapas secuenciales diseñadas para transformar la biomasa fresca en ingredientes estables, seguros y nutricionalmente óptimos para la formulación de piensos.

El sacrificio o "*matanza*" de los insectos debe realizarse mediante métodos considerados humanitarios, que minimicen el sufrimiento potencial.

Los métodos más utilizados a escala industrial incluyen: congelación rápida (las larvas se exponen a temperaturas de -20°C a -40°C); escaldado (inmersión en agua caliente a $90-100^{\circ}\text{C}$ durante 1-2 minutos); y trituración mecánica instantánea. La congelación rápida es el método preferido en la mayoría de las plantas europeas por su facilidad de implementación y su eficacia en la preservación de la calidad nutricional.



El secado es una etapa crítica para la estabilidad del producto. Las larvas frescas contienen entre un 60% y un 75% de humedad, que debe reducirse por debajo del 10% para garantizar la estabilidad microbiológica durante el almacenamiento. Los principales métodos de secado incluyen: secado por aire caliente (60-80°C, el más económico y más utilizado); liofilización (sublimación a baja temperatura y vacío, que preserva mejor la calidad nutricional pero es significativamente más costosa); y secado por microondas o infrarrojos (tecnologías emergentes con tiempos de secado reducidos).

El desengrasado permite obtener una harina con mayor concentración proteica (60-75% vs. 35-50% en harina integral) y mejor estabilidad oxidativa. Los métodos incluyen prensado mecánico (que permite recuperar entre el 60% y el 80% del aceite) y extracción con solventes (mayor eficiencia de extracción, pero con mayores requisitos de seguridad y costes operativos). El aceite extraído constituye un coproducto de valor, con aplicaciones en alimentación animal, producción de biodiesel y usos industriales.

La molienda y clasificación granulométrica completan el procesamiento, produciendo harinas con tamaños de partícula adecuados para su incorporación en las formulaciones de piensos (típicamente 0,5-2,0 mm para piensos extrusionados).

5.4. Bioseguridad y control de calidad.

Los programas de bioseguridad y control de calidad en las plantas de producción de insectos deben abordar tanto los riesgos microbiológicos como los químicos. Los principales riesgos microbiológicos incluyen la presencia de *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* y *Enterobacteriaceae* en la biomasa fresca.

Los tratamientos térmicos aplicados durante el procesamiento (secado, extrusión) son efectivos para la eliminación de la mayoría de los patógenos, aunque las endosporas bacterianas pueden sobrevivir y requieren un control estricto de las condiciones de almacenamiento.

Los contaminantes químicos de mayor preocupación son los metales pesados (cadmio, plomo, arsénico, mercurio), cuya acumulación depende del sustrato de cría. Se ha documentado que la BSF tiende a bioacumular cadmio, mientras que TM puede acumular arsénico cuando se cría en sustratos contaminados. El control riguroso de los sustratos y los análisis periódicos del producto final son medidas esenciales para mantener los niveles de contaminantes por debajo de los límites máximos establecidos por la UE.

Las micotoxinas representan un riesgo menor, ya que la evidencia disponible sugiere que no tienden a acumularse de manera significativa en los insectos. No obstante, se recomienda el monitoreo periódico, especialmente cuando se utilizan sustratos de origen cerealista susceptibles de contaminación fúngica.

Los planes de control de calidad deben incluir: análisis microbiológicos del producto final (cada lote); análisis de composición nutricional (proteína, grasa, humedad, cenizas, aminoácidos); análisis de contaminantes químicos (metales pesados, micotoxinas, pesticidas); verificación de la granulometría y las propiedades físicas; y auditorías de trazabilidad.

6. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INDUSTRIALIZACIÓN.

6.1 Plantas industriales existentes en Europa.

Europa se posiciona como líder global en el desarrollo industrial de la producción de insectos para alimentación animal, con varias empresas que han alcanzado la escala de producción industrial o se encuentran en fases avanzadas de escalado.

- **Protix (Países Bajos):** Fundada en 2009, Protix es considerada una de las empresas pioneras del sector en Europa. Su planta principal en Bergen op Zoom cuenta con una capacidad de procesamiento de más de 15.000 toneladas de residuos orgánicos anuales, produciendo miles de toneladas de proteína y aceite de larva de BSF. La empresa ha desarrollado tecnologías propietarias de cría automatizada y procesamiento que le permiten operar con elevados estándares de eficiencia.
- **Ynsect (Francia):** Ynsect se ha posicionado como uno de los líderes globales en la producción de proteína de *Tenebrio molitor*. La empresa ha recaudado más de 160 millones de dólares desde su fundación y está desarrollando una planta vertical de gran escala en Amiens (Francia) con una capacidad proyectada de 100.000 toneladas de producto al año, que aspira a ser la mayor granja de insectos del mundo. Ynsect también ha expandido sus operaciones mediante la adquisición de la empresa holandesa Protifarm.
- **InnovaFeed (Francia):** InnovaFeed se especializa en la producción de harina y aceite de BSF. Su planta en Nesle (Francia), desarrollada en colaboración con el grupo Roquette, tiene una capacidad de producción de 15.000 toneladas de proteína de insectos al año. La empresa ha establecido un modelo de simbiosis industrial, ubicando sus instalaciones junto a plantas de procesamiento de almidón para aprovechar los subproductos y el calor residual.

Además de estas empresas líderes, el ecosistema europeo incluye numerosas empresas emergentes y en expansión, como Tebrio (España, planta de 90.000 m² en Salamanca), Bioflytech/Entomo Agroindustrial (España, con inversión de 16 millones de euros de Moira Capital Partners), Hexafly (Irlanda), Nasekomo (Bulgaria), NextProtein (Francia/Túnez) y MadeBymade (Alemania). Esta densidad de empresas refleja la vitalidad del ecosistema de innovación europeo en este sector.

6.2 Capacidades productivas actuales y proyectadas.

La capacidad de producción de proteína de insectos en Europa ha experimentado un crecimiento acelerado en los últimos cinco años.

Se estima que la capacidad total instalada en Europa supera actualmente las 50.000-70.000 toneladas de producto al año, con planes de expansión que podrían elevar esta cifra hasta las 200.000-300.000 toneladas para 2030.

Las principales ampliaciones de capacidad previstas incluyen la mega-planta de Ynsect en Amiens (100.000 t/año), la expansión de InnovaFeed en Nesle y nuevas plantas en América del Norte, y la planta de Tebrio en Salamanca, que aspira a producir 100.000 toneladas de harina de *Tenebrio molitor* anuales.

Estas inversiones representan un compromiso significativo del sector con la escalabilidad industrial.

Tabla 6 - Principales empresas productoras de proteína de insectos en Europa. BSF = *H. illucens*; TM = *T. molitor*.

Empresa	País	Especie	Capacidad (t/año)	Estado
Protix	Países Bajos	BSF	> 15.000	Operativa
Ynsect	Francia	TM	100.000 (proyectada)	En expansión
InnovaFeed	Francia	BSF	15.000	Operativa
Tebrio	España	TM	100.000 (proyectada)	En construcción
Bioflytech	España	BSF	5.000 (proyectada)	En desarrollo
Hexafly	Irlanda	BSF	3.000 – 5.000	Operativa
Nasekomo	Bulgaria	BSF	5.000 – 10.000	Operativa
MadeBymade	Alemania	BSF	3.000 – 5.000	Operativa

6.3. Análisis de costes de producción.

Los costes de producción de la harina de insectos son actualmente uno de los factores más determinantes para la competitividad del sector y su capacidad de penetración en el mercado de piensos. El análisis de costes puede desglosarse en dos componentes principales: inversión inicial (CAPEX) y costes operativos (OPEX).

- **CAPEX (inversión inicial):** la construcción de una planta industrial de producción de insectos requiere inversiones significativas. Se estima que el CAPEX para una planta de capacidad media (5.000-10.000 t/año de producto final) se sitúa entre 20 y 50 millones de euros, dependiendo del nivel de automatización, la ubicación y las tecnologías empleadas.

Para plantas de gran escala (> 50.000 t/año), las inversiones pueden superar los 100-200 millones de euros. Estos elevados requisitos de capital constituyen una barrera de entrada significativa para nuevos operadores.

- **OPEX (costes operativos):** los principales componentes del OPEX incluyen: sustrato/alimentación (20-35% del coste total), energía (20-30%, principalmente para climatización y secado), mano de obra (15-25%), mantenimiento y consumibles (5-10%), y control de calidad y cumplimiento normativo (5-8%). La energía representa una partida especialmente significativa, ya que los procesos de climatización de las naves de cría y el secado de la biomasa son intensivos en energía.
- **Coste por kg de proteína:** el coste actual de producción de harina de insectos se estima entre 2,5 y 5,0 EUR/kg de producto (dependiendo de la escala y la tecnología), lo que equivale a aproximadamente 4,0-8,0 EUR/kg de proteína pura.

En comparación, la harina de pescado se sitúa en 1,5-2,5 EUR/kg de proteína y la harina de soja en 0,8-1,2 EUR/kg de proteína. Esta brecha de costes es el principal desafío económico del sector, aunque se proyecta una reducción significativa mediante economías de escala, automatización y optimización de procesos.

6.4. Barreras tecnológicas y cuellos de botella.

A pesar de los avances significativos, el sector enfrenta varias barreras tecnológicas que limitan su capacidad de producción y competitividad. Los principales cuellos de botella identificados incluyen:

- **Escalabilidad de la cría:** el paso de producción piloto a escala industrial plantea desafíos en el mantenimiento de condiciones ambientales homogéneas, la prevención de enfermedades y la gestión de grandes volúmenes de sustrato y biomasa.
- **Eficiencia energética:** los procesos de climatización y secado representan los mayores consumos energéticos, y su optimización es clave para la reducción de costes y la mejora del perfil ambiental.
- **Variabilidad del producto:** la composición nutricional de la harina de insectos varía en función del sustrato, las condiciones de cría y el procesamiento, lo que dificulta la estandarización necesaria para su uso industrial a gran escala.
- **Disponibilidad y estabilidad de sustratos:** la dependencia de subproductos orgánicos como sustrato implica desafíos de disponibilidad estacional, variabilidad en composición y logística de aprovisionamiento.
- **Automatización de procesos:** aunque se han logrado avances significativos, la automatización completa de todos los procesos productivos (especialmente la manipulación de reproductores y la gestión de la oviposición) sigue siendo un reto técnico.

6.5. Nivel de Madurez Tecnológica (TRL).

El nivel de madurez tecnológica (TRL, Technology Readiness Level) del sector de producción de insectos para piensos varía según el aspecto considerado. La cría y procesamiento básico de las especies principales (BSF y TM) se encuentran en TRL 8-9, con tecnologías validadas y desplegadas en entornos industriales operativos. La automatización avanzada y los sistemas de IA para gestión de producción se sitúan en TRL 6-7, con prototipos demostrados y en fase de validación industrial.

Las tecnologías de biorrefinería para la valorización integral de la biomasa (extracción de quitosano, producción de bioplásticos) se encuentran en TRL 4-6, con conceptos validados en laboratorio y pilotos en desarrollo. La mejora genética mediante herramientas avanzadas (CRISPR, selección genómica) está en TRL 3-5, con investigación activa pero aún lejos de la aplicación comercial.

6.6. Escalabilidad: de piloto a industrial.

La transición de plantas piloto a instalaciones de producción industrial es uno de los desafíos críticos del sector. Las principales lecciones aprendidas de las empresas que han completado este proceso incluyen: la necesidad de un diseño modular que permita ampliaciones incrementales; la importancia de la simbiosis industrial (ubicación junto a fuentes de sustratos o consumidores de calor residual); la inversión temprana en automatización como factor clave de competitividad; y la necesidad de programas de mejora genética para optimizar las líneas de producción.

Las proyecciones del sector indican que para 2030-2035, la capacidad de producción global de proteína de insectos podría alcanzar las 500.000-1.000.000 de toneladas anuales, lo que representaría entre el 1% y el 2% del mercado global de proteínas para piensos. Aunque esta cuota pueda parecer modesta, su impacto sería significativo en segmentos específicos como la acuicultura premium y la alimentación de mascotas.



7. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y HUELLA AMBIENTAL.

7.1 Análisis de Ciclo de Vida (LCA).

El Análisis de Ciclo de Vida (LCA, Life Cycle Assessment) es la metodología estándar para evaluar el impacto ambiental integral de un producto o proceso, considerando todas las etapas desde la obtención de materias primas hasta la gestión de residuos. Los LCA realizados sobre la producción de harina de insectos proporcionan una imagen detallada de sus ventajas y desafíos ambientales en comparación con las fuentes proteicas convencionales.

Los principales indicadores ambientales evaluados en los LCA de producción de insectos incluyen: potencial de calentamiento global (GWP, en kg CO₂eq), uso de tierra (m²/kg de proteína), uso de agua (L/kg de proteína), eutrofización (kg PO₄eq), acidificación (kg SO₂eq) y agotamiento de recursos abióticos.

Un estudio comparativo de referencia realizado en el Reino Unido encontró que, bajo las condiciones de producción actuales, la huella de carbono de la harina de BSF es significativamente mayor que la de la harina de soja y la harina de pescado cuando se expresa por kg de proteína. Esta elevada huella se debe principalmente al alto consumo energético en climatización y secado. Sin embargo, el mismo estudio identifica un potencial de mitigación sustancial cuando los insectos se crían en subproductos o residuos alimentarios y cuando se utilizan fuentes de energía renovables.

7.2 Huella de carbono comparativa.

La huella de carbono de la producción de proteína de insectos varía enormemente según las condiciones de producción. Los factores más determinantes son: la fuente de energía utilizada (renovable vs. fósil), el tipo de sustrato (pienso convencional vs. residuos), la escala de producción y la eficiencia del proceso de secado.

En condiciones actuales de producción en Europa, la huella de carbono de la harina de BSF se estima entre 3 y 15 kg CO₂eq/kg de proteína, un rango muy amplio que refleja la heterogeneidad de las condiciones de producción. En comparación, la harina de soja presenta una huella de 1-3 kg CO₂eq/kg de proteína y la harina de pescado de 2-5 kg CO₂eq/kg de proteína.

El escenario de producción óptimo — insectos criados en residuos orgánicos, energía 100% renovable, procesos de secado eficientes y valorización del frass como biofertilizante — podría reducir la huella de carbono hasta 1-2 kg CO₂eq/kg de proteína, haciendo a la harina de insectos ambientalmente competitiva o superior a las fuentes convencionales.

7.3 Uso de agua y tierra.

La eficiencia en el uso de agua y tierra es una de las ventajas más consistentes de la producción de insectos. Los insectos requieren una fracción del agua necesaria para la producción de proteínas convencionales. Para producir 1 kg de proteína comestible, *Tenebrio molitor* requiere aproximadamente 25 litros de agua, en comparación con 1.498 litros para pollo, 2.819 litros para cerdo y 9.678 litros para vacuno. La huella hídrica por tonelada comestible de gusanos de la harina es 3,5 veces menor que la de la carne de vacuno.

En cuanto al uso de tierra, la cría vertical de insectos permite producir entre 10 y 100 veces más proteína por hectárea que la ganadería convencional o el cultivo de soja. Una planta de producción de insectos de 5.000 m² de superficie puede producir más proteína que 100 hectáreas de cultivo de soja,

lo que convierte a la producción de insectos en una opción estratégica para regiones con limitaciones de tierra agrícola.

7.4. Contribución a la economía circular y valorización de residuos.

La integración de la producción de insectos en modelos de economía circular es uno de los argumentos más sólidos para la sostenibilidad del sector.

La capacidad de las larvas de BSF y TM para bioconvertir residuos orgánicos de bajo valor en proteínas de alta calidad cierra ciclos de nutrientes que de otro modo se perderían en vertederos.

Los flujos de residuos potencialmente utilizables como sustratos para insectos incluyen: subproductos de la industria alimentaria (bagazo de cervecera, orujo de uva, pulpa de fruta), descartes de la cadena de distribución (frutas y verduras no comercializables), subproductos agrícolas (paja, rastrojos, cascarilla) y restos de procesamiento de cereales y oleaginosas. Al desviar estos materiales de los vertederos, se previene la emisión de metano derivada de su descomposición anaeróbica.

Adicionalmente, el frass (excrementos de los insectos) constituye un biofertilizante orgánico de alta calidad, rico en nitrógeno, fósforo, potasio y quitina. Su aplicación agrícola mejora la estructura y la fertilidad del suelo, y la quitina contenida puede estimular las defensas naturales de las plantas, reduciendo la necesidad de fitosanitarios químicos.

Este coproducto añade una dimensión adicional de valor al modelo de negocio y refuerza la circularidad del sistema.

Tabla 7 - Comparación de indicadores ambientales entre harina de insectos y fuentes convencionales. GWP = Potencial de calentamiento global.

Indicador ambiental	Harina de BSF	Harina de soja	Harina de pescado	Potencial optimizado BSF
GWP (kg CO ₂ eq/kg prot.)	3 – 15	1 – 3	2 – 5	1 – 2
Uso de tierra (m ² /kg prot.)	1 – 5	10 – 20	5 – 10	0,5 – 2
Uso de agua (L/kg prot.)	25 – 50	500 – 2.000	300 – 1.000	15 – 30
Eutrofización (g PO ₄ eq/kg)	5 – 20	10 – 30	15 – 40	3 – 10
Valorización residuos	Sí (sustrato)	No	No	Sí (máx.)
Coproductos	Aceite + frass	Cascarilla	Aceite de pescado	Aceite+frass+quitosano



8. ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE MERCADO.

8.1 Tamaño actual del mercado global y europeo.

El mercado global de proteína de insectos para alimentación animal se encuentra en una fase de expansión acelerada. Según los informes más recientes de consultoras especializadas, el mercado se valoró en aproximadamente 2.785 millones de dólares en 2024, con una participación europea estimada del 30-35% del total global.

Europa se destaca como el mercado más maduro y regulado, con un ecosistema de empresas productoras, investigación académica y marco regulatorio que le confieren una posición de liderazgo global. Los principales mercados europeos para la proteína de insectos en piensos son: acuicultura (especialmente en Noruega, Escocia, Grecia y España), alimentación de mascotas (con fuerte demanda en Alemania, Francia, Reino Unido y Países Bajos), y avicultura y porcicultura (mercado emergente con alto potencial de crecimiento).

Asia-Pacífico emerge como el mercado de más rápido crecimiento, beneficiándose de una tradición cultural de uso de insectos en alimentación animal, una industria acuícola en expansión y costes de producción relativamente más bajos. China, Japón, Corea del Sur y los países del Sudeste Asiático están realizando inversiones significativas en capacidad de producción.

8.2. Proyecciones de crecimiento 2025-2035.

Las proyecciones de mercado son consistentemente optimistas. El mercado general de piensos para insectos se prevé que crezca a una TCAC del 13,96% entre 2024 y 2035, pasando de 1.643 millones de dólares a 6.918 millones. El segmento específico de proteína de insectos para alimentación animal proyecta una TCAC del 15,02%, expandiéndose de 2.785 millones de dólares en 2024 a 12.980 millones para 2035.

Otras estimaciones son aún más optimistas para el corto plazo, sugiriendo que la industria global de cría de insectos podría alcanzar los 8.000 millones de dólares en 2030, con una TCAC del 27,8%. El mercado de equipos de procesamiento de proteínas de insectos, indicador de la inversión en capacidad productiva, se espera que crezca a una TCAC del 31,1% hasta 2034.

Los principales catalizadores de este crecimiento incluyen: la progresiva reducción de costes mediante economías de escala; la ampliación del marco regulatorio a nuevos mercados y nuevas especies autorizadas; el aumento de la demanda de piensos sostenibles impulsada por criterios ESG; y la innovación continua en productos y aplicaciones.

8.3. Segmentación por aplicación.

El mercado de proteína de insectos para alimentación animal se segmenta en cuatro categorías principales de aplicación, cada una con dinámicas de crecimiento y márgenes diferenciados.

- **Acuicultura:** representa actualmente la mayor aplicación, con una participación estimada del 40-50% del mercado total. La necesidad de reemplazar la harina de pescado insostenible y el elevado valor de los piensos acuícolas hacen de este segmento el más natural para la proteína de insectos. Las especies objetivo principales son salmón, trucha, dorada, lubina y camarón.
- **Alimentación de mascotas:** segundo segmento en importancia (25-30% del mercado), se caracteriza por los mayores márgenes de beneficio y la mayor disposición al pago premium.



Los atributos de sostenibilidad, hipoalergenicidad y novedad de la proteína de insectos resuenan fuertemente con los propietarios de mascotas de alto poder adquisitivo.

- **Avicultura:** segmento en rápido crecimiento (15-20%), impulsado por la reciente autorización regulatoria en la UE y por la necesidad de alternativas a la soja importada. La alta eficiencia de las aves en la utilización de proteínas de insectos favorece la adopción.
- **Porcicultura:** segmento más incipiente (5-10%), con un potencial de crecimiento significativo a medida que se acumulen más datos de eficacia y los precios se vuelvan más competitivos.

8.4. Precios y competitividad.

Tabla 8 - Comparación de precios de fuentes proteicas para piensos y proyecciones para harina de insectos.

Fuente proteica	Precio (USD/t)	Proteína (%)	Coste por kg proteína (USD)
Harina de soja	400 – 500	44 – 48	0,8 – 1,1
Harina de pescado	1.400 – 1.800	60 – 72	2,0 – 3,0
Harina de BSF (entera)	3.500 – 6.000	35 – 50	7,0 – 17,0
Harina de BSF (desgrasada)	4.000 – 7.000	55 – 70	5,7 – 12,7
Harina de TM	4.000 – 6.500	50 – 68	5,9 – 13,0
Proyección insectos 2030	1.500 – 2.500	55 – 70	2,1 – 4,5

La Tabla evidencia la brecha de precios actual entre la harina de insectos y las fuentes convencionales. Sin embargo, las proyecciones para 2030 sugieren una convergencia significativa, especialmente con respecto a la harina de pescado. Los factores que impulsarán esta reducción de costes incluyen: economías de escala, automatización avanzada, reducción de costes energéticos (energías renovables), optimización de sustratos (uso de residuos de bajo coste) y mejora genética de las líneas de producción.

8.5. Cadena de valor y barreras de mercado.

La cadena de valor de la proteína de insectos para piensos comprende: proveedores de sustratos y equipamiento → productores de insectos (cría y procesamiento) → fabricantes de piensos (formulación e incorporación) → productores ganaderos/acuícolas → distribución y consumidor final. En cada eslabón existen oportunidades de creación de valor y barreras potenciales.

Las principales barreras de mercado identificadas incluyen: el diferencial de precios respecto a las fuentes convencionales; la percepción del consumidor y el "factor asco" (yuck factor); la limitada disponibilidad actual de grandes volúmenes estandarizados; la necesidad de adaptar las formulaciones de piensos existentes; y la competencia creciente con otras fuentes de proteínas alternativas (microalgas, levaduras, proteínas unicelulares, cultivo celular).

Pese a estas barreras, la percepción del consumidor está evolucionando favorablemente. Encuestas recientes muestran que la disposición a aceptar productos de origen animal criados con piensos de insectos es significativamente mayor que la disposición a consumir insectos directamente, especialmente cuando se comunican los beneficios ambientales y se enfatiza que el insecto se utiliza como ingrediente del pienso y no como alimento directo.



9. PERSPECTIVAS DE FUTURO E INNOVACIONES EMERGENTES.

9.1 Tendencias tecnológicas.

9.1.1 Mejora genética de insectos.

La mejora genética de las poblaciones de insectos destinadas a producción industrial se encuentra en una fase temprana pero prometedora. A diferencia de las especies ganaderas convencionales, que han sido sometidas a siglos de selección artificial, los insectos de producción se encuentran prácticamente en estado silvestre, lo que implica un enorme potencial de mejora.

Las herramientas de genómica y edición genética como CRISPR-Cas9 permiten identificar y modificar genes asociados a rasgos productivos deseables: velocidad de crecimiento, contenido proteico, eficiencia de conversión alimenticia, resistencia a enfermedades y adaptabilidad a condiciones ambientales específicas. La selección asistida por marcadores moleculares (MAS) permite acelerar los programas de mejora genética, reduciendo el tiempo necesario para obtener líneas de producción optimizadas.

Se estima que programas de mejora genética estructurados podrían incrementar la productividad de las líneas de producción entre un 20% y un 50% en los próximos 10-15 años, contribuyendo significativamente a la reducción de costes y la estandarización de la calidad del producto.

9.1.2. Automatización avanzada e Inteligencia Artificial.

La automatización avanzada y la Inteligencia Artificial están transformando la cría de insectos de una actividad de base manual a una industria de alta tecnología. Los sistemas de IoT recopilan datos en tiempo real de cada fase del ciclo productivo, mientras que algoritmos de IA proporcionan análisis predictivos sobre crecimiento, comportamiento y supervivencia de las poblaciones.

Las aplicaciones más avanzadas incluyen: visión artificial para la evaluación del estado de salud y desarrollo de las colonias; modelos predictivos para la optimización de las condiciones de cría en tiempo real; sistemas robóticos para la alimentación, cribado y cosecha automatizada; gemelos digitales (digital twins) de las instalaciones de producción para la planificación y optimización; y blockchain para la trazabilidad completa de la cadena de producción.

Estas tecnologías permiten aumentar la productividad por trabajador, reducir los errores operativos, mejorar la consistencia del producto y reducir los costes operativos. Las empresas que lideren la adopción de estas tecnologías contarán con una ventaja competitiva significativa en un mercado cada vez más exigente.

9.1.3. Biorrefinerías de insectos.

El concepto de biorrefinería de insectos representa la evolución del modelo de negocio desde la producción de un único producto (harina de proteína) hacia la valorización integral de toda la biomasa. Los principales flujos de productos de una biorrefinería de insectos incluyen:

- **Harina de proteína:** producto principal para piensos y potencialmente para alimentación humana. Representa el 35-50% del valor total.
- **Aceite/grasa de insectos:** con aplicaciones en alimentación animal, producción de biodiesel, oleoquímica y cosmética. Representa el 15-25% del valor total.
- **Quitina y quitosano:** biopolímeros de alto valor con aplicaciones en plásticos biodegradables, tratamiento de aguas, cosméticos, farmacéutica y agricultura. Potencial de alto valor añadido.
- **Frass (biofertilizante):** fertilizante orgánico rico en nutrientes y quitina, con aplicaciones en agricultura sostenible. Representa el 5-10% del valor total.

- **Péptidos bioactivos:** aislados por hidrólisis enzimática, con aplicaciones en nutracéutica y farmacéutica. Mercado emergente de muy alto valor.

Este enfoque multidimensional maximiza la rentabilidad del proceso y diversifica las fuentes de ingresos, reduciendo la dependencia de un único mercado y mejorando la resiliencia económica del negocio.

9.2. Nuevas especies en evaluación.

La investigación se está expandiendo para evaluar el potencial de especies adicionales más allá de BSF y TM.

Las especies bajo evaluación más activa incluyen el súper gusano (*Zophobas morio*), con un perfil proteico muy elevado; diversas especies de grillos tropicales, cuyo canto indica condiciones óptimas de cría; y larvas de *Lucilia sericata*, exploradas por su capacidad para enriquecer las dietas acuícolas con ácido araquidónico (ARA).

La diversificación de especies responde a varias motivaciones: optimizar perfiles nutricionales para aplicaciones específicas, ampliar la gama de sustratos utilizables, reducir la dependencia de una o dos especies y explorar compuestos bioactivos diferenciados.

La EFSA continúa evaluando solicitudes para nuevas especies, y cada nueva aprobación regulatoria ampliará las opciones para la industria.

9.3. Marco político y de apoyo.

9.3.1. Estrategia "De la Granja a la Mesa" (Farm to Fork).

La estrategia Farm to Fork (F2F), adoptada en 2020 como componente central del Pacto Verde Europeo, establece objetivos ambiciosos que favorecen directa e indirectamente el desarrollo de la proteína de insectos. Los objetivos clave de la F2F incluyen la reducción del 50% en el uso de pesticidas químicos, la disminución del 50% en las pérdidas de nutrientes, la reducción del 20% en fertilizantes sintéticos y el recorte del 50% en la venta de antibióticos para ganadería y acuicultura para 2030.

Estas restricciones a las prácticas convencionales crean una demanda estructural de nuevas fuentes de proteínas sostenibles y de ingredientes funcionales que puedan reducir el uso de antibióticos (como la harina de insectos con sus péptidos antimicrobianos y ácido láurico). El Parlamento Europeo ha aprobado explícitamente el uso de insectos como fuente alternativa de proteínas, reconociendo su potencial para diversificar las fuentes proteicas y reducir la dependencia de la UE de las importaciones de soja.

9.3.2. Pacto Verde Europeo (European Green Deal).

El Pacto Verde Europeo proporciona el marco estratégico más amplio para la transición hacia una economía sostenible y climáticamente neutra en la UE. En el ámbito agroalimentario, el Pacto Verde promueve la diversificación de las fuentes de proteínas, la reducción de la dependencia de importaciones, la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles y la promoción de la economía circular.

La Taxonomía de la UE, que clasifica las actividades económicas según su contribución a los objetivos climáticos y ambientales, reconoce la cría de insectos como una actividad ambientalmente sostenible, lo que facilita el acceso a financiación verde y bonos sostenibles. Este reconocimiento es particularmente relevante para atraer inversión institucional al sector.

9.3.3. Programas de financiación.

La UE destina fondos significativos a la investigación e innovación en proteínas alternativas a través de programas como Horizon Europe, que ha financiado múltiples proyectos de investigación sobre cría de insectos, procesamiento y aplicaciones en piensos. Los fondos de cohesión regional y los programas nacionales de I+D+i también contribuyen a financiar infraestructuras de producción y centros de investigación especializados.

En España, el PERTE Agroalimentario AccelerEAT, dentro del cual se enmarca el presente proyecto PP13, es un ejemplo paradigmático del apoyo público al desarrollo de proteínas alternativas. Estos programas de financiación pública complementan la inversión privada y contribuyen a reducir el riesgo percibido por los inversores, acelerando la maduración del sector.

9.4. Aceptación del mercado y comunicación.

La aceptación del mercado es un factor determinante para el éxito comercial de la proteína de insectos. Si bien los productores y fabricantes de piensos están generalmente receptivos, la percepción del consumidor final presenta desafíos específicos, especialmente en los mercados europeos occidentales.

Encuestas realizadas en Norteamérica indican que hasta un 65% de los consumidores se mostrarían reacios a comprar carne de animales criados con piensos de insectos.

En Europa, la disposición a consumir insectos directamente sigue siendo baja (10% en 2020), aunque la aceptación de productos animales alimentados con insectos es significativamente mayor (40-60%).

Las estrategias de comunicación más efectivas incluyen: enfatizar los beneficios ambientales y de sostenibilidad; comunicar los rigurosos procesos de seguridad alimentaria; utilizar el procesamiento en forma de harina o polvo para eliminar la barrera visual; posicionar la proteína de insectos como ingrediente premium innovador; y aprovechar canales como la gastronomía de autor y los festivales culinarios para normalizar el concepto.

9.5. Integración en economía circular.

La integración plena de la producción de insectos en modelos de economía circular representa una de las perspectivas más prometedoras para el sector. Empresas innovadoras están demostrando la viabilidad de modelos circulares integrados. Tebrio en España está construyendo una de las mayores granjas de insectos del mundo, con un modelo de negocio basado en la valorización integral de toda la biomasa (proteína, aceite, quitosano y biofertilizante). El proyecto Insect Revolution desarrolla granjas urbanas para procesar residuos orgánicos comunitarios.

Estos modelos demuestran que la producción de insectos no es solo una fuente de proteína, sino una plataforma tecnológica de bioconversión que puede integrarse en los ciclos urbanos y agroindustriales, creando valor a partir de residuos y contribuyendo a reducir la huella ambiental del sistema alimentario.

9.6. Inversiones y financiación del sector.

El panorama de inversión en el sector refleja la confianza del mercado en su potencial. El capital de riesgo ha sido el catalizador inicial, financiando a startups para el desarrollo tecnológico y el escalado.



Rondas de inversión destacadas incluyen los más de 160 millones de dólares recaudados por Ynsect, la inversión de 16 millones de euros de Moira Capital Partners en Bioflytech (España), y las inversiones estratégicas de grandes corporaciones alimentarias como CapsaFood en Entomo Agroindustrial.

La actividad de fusiones y adquisiciones está cobrando impulso, indicando consolidación sectorial. La adquisición de Protifarm por Ynsect ejemplifica cómo los líderes buscan expandir sus capacidades y mercados.

Se prevé que esta tendencia se intensifique en los próximos 3-5 años, a medida que los actores industriales más grandes busquen posicionarse en el mercado.

Se proyecta que el mercado de insectos para alimentación animal podría alcanzar los 5.600 millones de dólares en 2031, con algunas estimaciones que sitúan el mercado global de proteína de insectos (incluyendo alimentación humana y otras aplicaciones) en más de 12.000 millones de dólares para 2035.



10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

10.1. Síntesis de hallazgos principales.

El análisis exhaustivo realizado en el presente Entregable 3 permite extraer las siguientes conclusiones fundamentales sobre el estado actual y el potencial de los productos derivados de insectos en la formulación de piensos:

Desde el punto de vista nutricional, las harinas de insectos — particularmente de *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor* — ofrecen perfiles proteicos y de aminoácidos de alta calidad, competitivos con la harina de pescado y superiores a la harina de soja en varios aminoácidos esenciales. Además, aportan compuestos bioactivos diferenciadores (péptidos antimicrobianos, ácido láurico, quitina con propiedades prebióticas) que les confieren valor funcional más allá de la nutrición básica.

Los ensayos de eficacia en las principales especies de producción demuestran que la harina de insectos puede sustituir eficazmente entre el 25% y el 100% de las fuentes proteicas convencionales (dependiendo de la especie y el nivel de inclusión), manteniendo o incluso mejorando los rendimientos productivos (FCR, ganancia de peso, producción de huevos) y aportando beneficios adicionales en salud intestinal, modulación de microbiota y función inmunológica.

El marco regulatorio europeo proporciona una base sólida para el desarrollo del sector, con ocho especies autorizadas y uso permitido en acuicultura, avicultura y porcicultura. Las sucesivas ampliaciones regulatorias demuestran la voluntad política de apoyar el desarrollo del sector, siempre dentro de un marco de seguridad estricto.

La capacidad de industrialización ha avanzado significativamente, con empresas que ya operan a escala industrial (Protix, InnovaFeed) y mega-proyectos en desarrollo (Ynsect, Tebrio). El TRL del sector oscila entre 6 y 9, dependiendo del aspecto tecnológico considerado, lo que indica que las tecnologías fundamentales están maduras o próximas a la madurez comercial.

No obstante, el coste de producción sigue siendo el principal obstáculo para la adopción generalizada, con precios 3-5 veces superiores a los de la harina de soja y 2-3 veces superiores a los de la harina de pescado. Las proyecciones indican una convergencia significativa para 2030-2035, impulsada por economías de escala, automatización y optimización de procesos.

10.2. Análisis DAFO del sector.

Tabla 9 - Análisis DAFO del sector de proteína de insectos para piensos.

Dimensión	Factores identificados
FORTALEZAS	Alto valor nutricional y funcional; Compuestos bioactivos únicos; Eficiencia en uso de recursos (agua, tierra); Integración en economía circular; Marco regulatorio europeo favorable; Perfil de sostenibilidad superior; Versatilidad de aplicaciones
OPORTUNIDADES	Crecimiento exponencial del mercado (TCAC 15%); Apoyo político (Green Deal, F2F); Demanda creciente de piensos sostenibles; Innovación tecnológica (IA, genética); Nuevas especies y aplicaciones; Financiación verde y ESG; Desarrollo de biorrefinerías
DEBILIDADES	Coste de producción elevado; Variabilidad nutricional; Dependencia de sustratos; Alto CAPEX; Limitada estandarización; Contenido de quitina como factor antinutricional; Escala de producción aún insuficiente

AMENAZAS	Competencia de otras proteínas alternativas; Percepción negativa del consumidor; Riesgos de bioseguridad; Volatilidad de sustratos; Posibles cambios regulatorios; Dependencia energética; Consolidación que limite innovación
-----------------	--

10.3. Recomendaciones para el sector.

Basándose en el análisis realizado, se formulan las siguientes recomendaciones estratégicas para el avance del sector de la proteína de insectos en el ámbito europeo:

Priorizar la reducción de costes: Acelerar la inversión en automatización, eficiencia energética y optimización de procesos como palancas principales para la reducción de costes de producción.

Invertir en mejora genética: Desarrollar programas estructurados de selección genética y explorar herramientas de edición genética para mejorar la productividad de las líneas de producción.

Impulsar la estandarización: Desarrollar estándares de calidad y especificaciones técnicas que faciliten la integración de la harina de insectos en las cadenas de formulación de piensos existentes.

Fomentar la investigación en formulación: Profundizar en la investigación sobre niveles óptimos de inclusión, interacciones con otros ingredientes y estrategias para mitigar los efectos antinutricionales de la quitina.

Desarrollar modelos de biorrefinería: Maximizar la valorización integral de la biomasa mediante el desarrollo de procesos de extracción de quitosano, péptidos bioactivos y otros productos de alto valor.

Fortalecer la comunicación al consumidor: Implementar estrategias de comunicación basadas en evidencia científica que destaquen los beneficios ambientales y de seguridad del uso de insectos en la cadena alimentaria.

Promover la simbiosis industrial: Fomentar la ubicación de plantas de producción junto a fuentes de sustratos y consumidores de energía residual para optimizar la circularidad y reducir costes logísticos.

10.4. Recomendaciones para el proyecto PP13.

En el contexto específico del proyecto PP13 del PERTE AccelerEAT, se formulan las siguientes recomendaciones:

- Focalizar los ensayos de formulación en las especies y niveles de inclusión con mayor potencial de adopción a corto plazo: acuicultura (sustitución del 25-50% de harina de pescado) y avicultura (inclusión del 5-10% como sustituto de soja).
- Evaluar las oportunidades de colaboración con productores nacionales de insectos (Tebrio, Bioflytech/Entomo Agroindustrial) para el suministro de materia prima y la realización de ensayos conjuntos.
- Desarrollar formulaciones optimizadas que maximicen los beneficios funcionales (salud intestinal, reducción de antibióticos) como argumento comercial diferenciador frente a las fuentes convencionales.
- Incluir un componente de análisis sensorial y de aceptación del consumidor en los ensayos con productos finales (carne, huevos, pescado) para generar datos que apoyen la comercialización.



- Realizar un análisis de ciclo de vida específico para las formulaciones desarrolladas en el proyecto, cuantificando la reducción de impacto ambiental respecto a los piensos convencionales.
- Explorar la viabilidad de un modelo de simbiosis industrial en el contexto del PERTE, vinculando la producción de insectos con la valorización de subproductos de la industria agroalimentaria española.



11. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Commission Regulation (EU) 2017/893 of 24 May 2017 amending Annexes I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as regards the provisions on processed animal protein. EUR-Lex. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R0893>
- [2] EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). Scientific Opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. EFSA Journal, 2015. Disponible en: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2019.e170907>
- [3] Nutritional Value of Mealworm, *Tenebrio molitor* as Food Source. ResearchGate, 2015. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/273554191>
- [4] *Tenebrio molitor* larvae as a promising alternative protein source for human nutrition: unraveling the impact of five different diets on their nutritional profile. Scientific Reports, 2025. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-98254-y>
- [5] A systematic review on the effect of *Tenebrio molitor* as a feed ingredient on the growth and nutritional properties of aquaculture species. ScienceDirect, 2024. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666833524000947>
- [6] Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential source of proteins in poultry nutrition. Frontiers in Veterinary Science, 2023. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2023.1200031/full>
- [7] Insect meal vs soy- and fishmeal for animal feed - a comparison. Feed and Additive Magazine. Disponible en: <https://www.feedandadditive.com/insect-meals-in-animal-feeds/>
- [8] Insects as a Potential Source of Chitin in the Diets of Broiler Chickens: A Review. Poultry Science, 2022. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34991217/>
- [9] Rearing *Tenebrio molitor* on industrial by-products: choice of substrate and nutrient composition of larvae. Scientific Reports, 2020. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67363-1>
- [10] Black Soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as a promising protein source for aquaculture feed. SpringerLink, 2025. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10695-025-01485-z>
- [11] Effects of insect meals on fish: a meta-analysis. Reviews in Aquaculture, 2023. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10425148/>
- [12] Safety of process for producing lactic acid fermented protein product. EFSA Journal. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4579>
- [13] Suitability of Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as an Alternative Protein Source for Animal Feed: A Review. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8831830/>
- [14] Concept Paper on the use of insects as farmed animals for the production of PAP. European Commission, 2017. Disponible en: https://food.ec.europa.eu/document/download/6479a80a-92f3-42b2-b8a9-1dd63a9baf50_en
- [15] The Use of Insects as Food Ingredients. Food Safety Magazine. Disponible en: <https://www.food-safety.com/articles/6317>



- [16] IPIFF - Insects EU legislation general. Disponible en: <https://ipiff.org/insects-eu-legislation-general/>
- [17] Insects for Food and Feed - Safety Aspects Related to Mycotoxins and Metals. ResearchGate, 2019. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/334717661>
- [18] Study compares environmental impact of insect protein vs soy and fishmeal. All About Feed, 2025. Disponible en: <https://www.allaboutfeed.net/all-about/new-proteins/study-compares-environmental-impact-of-insect-protein-vs-soy-and-fishmeal/>
- [19] Insects are a potential source of protein in animal feeds: a review. Food and Energy Security, 2024. Disponible en: <https://iadns.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fft2.70092>
- [20] Safety of insect-based products for human consumption and animal feed. Food Control, 2021. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713521004746>
- [21] Nutritional Properties of Tenebrio molitor Larvae according to their Diet. Insects, 2024. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-4450/15/8/619>
- [22] The suitability of insects as feed for farmed fish - a meta-analysis. SpringerLink, 2025. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12595-025-00568-2>
- [23] Growth performance of Atlantic salmon fed diets where fish meal was replaced with insect meal. Aquaculture Nutrition, 2015. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anu.12343>
- [24] Insect meals as protein sources for poultry diets: nutritional, technological and safety aspects. Agriculture, 2023. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/6/1239>
- [25] Replacement of fish meal with insect meals in the diet of Atlantic salmon: Effects on growth and gut health. Food Additives & Contaminants, 2019. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19440049.2019.1619938>
- [26] Nutritional value of insect-based diets for Atlantic salmon. Aquaculture, 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848617322998>
- [27] The role of insects as alternative protein sources for pig and poultry: An EU perspective. Animal, 2025. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731125000515>
- [28] Heavy Metal Accumulation in Edible Insects: A Review. PMC, 2019. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6926516/>
- [29] Insect-based feed, a promising and sustainable protein source for aquaculture - a review. PMC, 2022. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9502457/>
- [30] Regulation (EU) 2021/1925 extends the list of authorised insect species. PMC, 2022. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9147295/>
- [31] Potential of Tenebrio Molitor Larvae Flour. PMC, 2022. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9323919/>
- [32] Safety of dried insects from Hermetia illucens, Musca domestica and Tenebrio molitor for the feeding of monogastric animals. EFSA Journal, 2021. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33350154/>
- [33] Nutritional Composition and Healthy Potential of Tenebrio molitor Larvae. PMC, 2022. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8880436/>



- [34] Safety aspects of insects intended for food and feed. PMC, 2019. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6724024/>
- [35] Insectos: la nueva industria millonaria que transformará la alimentación mundial. La Razón, 2025. Disponible en: <https://www.larazon.es/economia/insectos-nueva-industria-millonaria>
- [36] Mercado de proteínas de insectos: tamaño, participación y análisis. Mordor Intelligence. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/global-insect-protein-market>
- [37] Gusano de la harina: la fuente proteica más sostenible para la alimentación animal. Iberinsect. Disponible en: <https://iberinsect.com/gusano-de-la-harina-la-fuente-proteica-mas-sostenible/>
- [38] Farm to Fork Strategy. European Commission - Food Safety. Disponible en: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
- [39] Avances y perspectivas del uso de las harinas de insectos en alimentación animal. SciELO, 2023. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-49942023000100058
- [40] Insect Feed Market Size, Share, Trends, Forecast Report 2035. Market Research Future. Disponible en: <https://www.marketresearchfuture.com/es/reports/insect-feed-market-32945>
- [41] Tamaño del mercado de proteínas de insectos en piensos para animales. Market Research Future. Disponible en: <https://www.marketresearchfuture.com/es/reports/animal-feed-insect-proteins-market-31612>
- [42] Los inversores apuestan cada vez más por la cría de insectos como negocio de futuro. Proteinsecta, 2020. Disponible en: <https://www.proteinsecta.com/en/2020/12/22/los-inversores-apuestan-cada-vez-mas/>
- [43] Insect Protein Processing Equipment Market Size, 2025-2034 Report. Global Market Insights. Disponible en: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/insect-protein-processing-equipment-market>
- [44] Automatización y Robótica en Granjas de Insectos. Proteinsecta, 2025. Disponible en: <https://www.proteinsecta.com/en/2025/06/02/automatizacion-robotica-granjas-insectos/>
- [45] La genómica puede ayudar a los criadores de insectos. Mundo Agropecuario. Disponible en: <https://mundoagropecuario.com/la-genomica-puede-ayudar-a-los-criadores-de-insectos/>
- [46] Green Deal and Farm to Fork: A sustainable European economy. Kimitec. Disponible en: <https://kimitec.com/en/green-deal-and-farm-to-fork/>
- [47] Cómo contribuyen los insectos a la economía circular. Proteinsecta, 2025. Disponible en: <https://www.proteinsecta.com/en/2025/02/05/como-contribuyen-los-insectos-a-la-economia-circular/>
- [48] Insect Revolution: granjas urbanas de insectos. País Circular. Disponible en: <https://www.paiscircular.cl/consumo-y-produccion/insect-revolution/>
- [49] Biotecnología e insectos: Innovación y Sostenibilidad para el Futuro. InfoAnimales. Disponible en: <https://infoanimales.net/insectos/biotecnologia-e-insectos/>
- [50] Innovative Companies in Insect Biotechnology. Billionhands. Disponible en: <https://billionhands.com/es/ranking/empresas-marcas/innovative-companies-in-insect-biotechnology>



- [51] Overview: EU Farm to Fork and Green Deal Initiatives. AGRINFO Platform. Disponible en: <https://agrinfo.eu/book-of-reports/overview-eu-farm-to-fork-and-green-deal-initiatives/>
- [52] Uso de subproductos de la industria alimentaria para la cría de insectos. UPV. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/57eb/e52bc62e3952df33335d7ea2ea7ecbd6992d.pdf>
- [53] Evaluación de harinas de insectos como fuente proteica. UMSA. Disponible en: <https://agrovet.umsa.bo/index.php/AGV/article/download/136/127>
- [54] Utilización de la harina de insectos como fuente alternativa de proteína en la alimentación de peces. Dialnet. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=111612>
- [55] Insectos comestibles y otras fuentes de proteínas alternativas: dando forma al futuro de la nutrición. TECOAL. Disponible en: <https://tecoal.net/nutricion-dietetica/insectos-comestibles-y-otras-fuentes-de-proteinas-alternativas/>
- [56] Harina de insectos en la alimentación animal. Mundo Agropecuario. Disponible en: <https://mundoagropecuario.com/harina-insectos-alimentacion-animal/>



PERTE AGROALIMENTARIO ACCELEREAT.

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

PP13: Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.

ENT_004

ENT_4: INFORME DE APLICACIÓN Y VALORACIÓN DE USO DE PRODUCTOS DERIVADOS DE INSECTOS EN LA FORMULACIÓN DE PIENSOS.

Entidades participantes:

PROTEINSECTA S.L., TEBRIO S.L., BIORIZON BIOTECH S.L., AGRICONSA S.A.

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. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.	6
1.1 Contexto del uso de insectos en alimentación animal.	7
1.2 Problemática de las fuentes proteicas convencionales.....	7
1.3 Objetivos del entregable.....	8
1.4 Alcance y metodología.....	8
2. PRODUCTOS DERIVADOS DE INSECTOS: COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES NUTRICIONALES.	10
2.1 Especies principales para producción de piensos.....	10
2.2 Harina de larva de mosca soldado negra (<i>Hermetia illucens</i>).	10
2.3 Harina de gusano de la harina (<i>Tenebrio molitor</i>).....	11
2.4 Perfil de aminoácidos esenciales.	11
2.5 Ácidos grasos y perfil lipídico.	12
2.6 Contenido de quitina y fibra.	13
2.7 Compuestos bioactivos.	13
2.8 Comparación nutricional integral con fuentes convencionales.....	14
3. APLICACIONES EN FORMULACIÓN DE PIENSOS POR ESPECIE ANIMAL.	15
3.1 Acuicultura.	15
3.1.1 Salmón del Atlántico (<i>Salmo salar</i>).	15
3.1.2 Trucha arcoíris (<i>Oncorhynchus mykiss</i>).	15
3.1.3 Dorada (<i>Sparus aurata</i>) y lubina (<i>Dicentrarchus labrax</i>).	15
3.1.4 Tilapia (<i>Oreochromis niloticus</i>).	16
3.2 Avicultura.	16
3.2.1 Pollos de engorde (broilers).....	16
3.2.2 Gallinas ponedoras.....	17
3.3 Porcino.	17
3.4. Mascotas (perros y gatos).....	17
3.5. Estudios de digestibilidad por especie.	18
4. VALORACIÓN DE USO Y RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS.	19
4.1 Estudios de eficacia en campo.	19
4.2 Índices de conversión alimenticia (FCR).	19
4.3 Salud intestinal y microbiota.....	19
4.4 Calidad de productos finales.....	20
4.5 Análisis coste-beneficio para productores.....	20



5. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.	21
5.1 Sistemas de cría en masa.	21
5.1.1 Instalaciones y equipamiento.	21
5.1.2 Control ambiental.	21
5.1.3. Densidades de cría y automatización.	21
5.2. Sustratos y alimentación de los insectos.	22
5.3. Procesamiento postcosecha.	22
5.4. Bioseguridad y control de calidad.	23
6. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INDUSTRIALIZACIÓN.	24
6.1 Plantas industriales existentes en Europa.	24
6.2 Capacidades productivas actuales y proyectadas.	24
6.3. Análisis de costes de producción.	25
6.4. Barreras tecnológicas y cuellos de botella.	26
6.5. Nivel de Madurez Tecnológica (TRL).	26
6.6. Escalabilidad: de piloto a industrial.	26
7. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y HUELLA AMBIENTAL.	27
7.1 Análisis de Ciclo de Vida (LCA).	27
7.2 Huella de carbono comparativa.	27
7.3 Uso de agua y tierra.	27
7.4. Contribución a la economía circular y valorización de residuos.	28
8. ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE MERCADO.	29
8.1 Tamaño actual del mercado global y europeo.	29
8.2. Proyecciones de crecimiento 2025-2035.	29
8.3. Segmentación por aplicación.	29
8.4. Precios y competitividad.	30
8.5. Cadena de valor y barreras de mercado.	30
9. PERSPECTIVAS DE FUTURO E INNOVACIONES EMERGENTES.	31
9.1 Tendencias tecnológicas.	31
9.1.1 Mejora genética de insectos.	31
9.1.2. Automatización avanzada e Inteligencia Artificial.	31
9.1.3. Biorrefinerías de insectos.	31
9.2. Nuevas especies en evaluación.	32
9.3. Marco político y de apoyo.	32
9.3.1. Estrategia "De la Granja a la Mesa" (Farm to Fork).	32
9.3.2. Pacto Verde Europeo (European Green Deal).	32
9.3.3. Programas de financiación.	33



9.4. Aceptación del mercado y comunicación.	33
9.5. Integración en economía circular.	33
9.6. Inversiones y financiación del sector.	33
10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.	35
10.1. Síntesis de hallazgos principales.	35
10.2. Análisis DAFO del sector.	35
10.3. Recomendaciones para el sector.	36
10.4. Recomendaciones para el proyecto PP13.	36
11. BIBLIOGRAFÍA.	38

ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 - Perfil comparativo de aminoácidos esenciales de harinas de insectos y fuentes convencionales (g/100g de proteína cruda). PC = Proteína cruda. Rangos basados en revisión de literatura científica.....	12
Tabla 2 - Perfil de ácidos grasos de harinas de insectos comparado con harina de pescado y aceite de soja (% del total de ácidos grasos). SFA = Saturados; MUFA = Monoinsaturados; PUFA = Poliinsaturados.	13
Tabla 3 - Comparación nutricional integral entre harinas de insectos y fuentes proteicas convencionales. MS = Materia seca. Dig. = Digestibilidad.....	14
Tabla 4 - Resumen de resultados del uso de harina de insectos en acuicultura. HP = Harina de pescado; FCR = Índice de conversión alimenticia.	16
Tabla 5 - Coeficientes de digestibilidad aparente de harinas de insectos en diferentes especies animales (%). BSF = <i>Hermetia illucens</i> ; TM = <i>Tenebrio molitor</i>	18
Tabla 6 - Principales empresas productoras de proteína de insectos en Europa. BSF = <i>H. illucens</i> ; TM = <i>T. molitor</i>	25
Tabla 7 - Comparación de indicadores ambientales entre harina de insectos y fuentes convencionales. GWP = Potencial de calentamiento global.	28
Tabla 8 - Comparación de precios de fuentes proteicas para piensos y proyecciones para harina de insectos.	30
Tabla 9 - Análisis DAFO del sector de proteína de insectos para piensos.	35

1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.

El presente documento constituye el Entregable 4 del Proyecto PP13, enmarcado dentro del PERTE Agroalimentario AccelerEAT, y aborda de forma exhaustiva la aplicación, valoración de uso y perspectivas de futuro de los productos derivados de insectos en la formulación de piensos para animales de producción.

Este informe técnico-científico integra el conocimiento actual sobre la composición nutricional, la eficacia zootécnica, el marco regulatorio, la viabilidad industrial y la sostenibilidad ambiental de la harina de insectos como ingrediente alternativo en la alimentación animal.

La creciente demanda global de proteínas para alimentación animal, unida a las limitaciones medioambientales y económicas de las fuentes proteicas convencionales — harina de pescado y harina de soja —, ha impulsado la investigación y desarrollo de alternativas sostenibles. Los insectos, y en particular las especies *Hermetia illucens* (mosca soldado negra) y *Tenebrio molitor* (gusano de la harina), han emergido como una de las opciones más prometedoras.

Su perfil nutricional, con contenidos de proteína cruda entre el 35% y el 63%, un excelente balance de aminoácidos esenciales y la presencia de compuestos bioactivos como péptidos antimicrobianos y ácido láurico, los posiciona como ingredientes de alto valor funcional.

El marco regulatorio europeo, articulado principalmente a través del Reglamento (UE) 2017/893 y sus sucesivas ampliaciones, ha establecido las condiciones para la utilización segura de proteínas animales procesadas (PAP) derivadas de insectos en acuicultura, avicultura y porcicultura. La Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria (EFSA) ha desempeñado un papel determinante en la evaluación de riesgos y la autorización de especies y sustratos. Actualmente, ocho especies de insectos están autorizadas para la producción de piensos en la Unión Europea.

Los ensayos de eficacia realizados en diversas especies animales han demostrado resultados altamente favorables. En acuicultura, la harina de insectos puede sustituir hasta el 100% de la harina de pescado en salmón del Atlántico sin comprometer el crecimiento. En avicultura, se han registrado mejoras superiores al 3% en peso corporal y producción de huevos. Los beneficios funcionales sobre la salud intestinal, la modulación de la microbiota y el refuerzo del sistema inmunológico añaden un valor diferencial significativo respecto a las fuentes convencionales.

Desde la perspectiva industrial, el sector se encuentra en una fase de escalado acelerado. Empresas pioneras como Protix, Ynsect e InnovaFeed están desarrollando plantas de producción con capacidades que alcanzan las decenas de miles de toneladas anuales, incorporando tecnologías de automatización, inteligencia artificial y conceptos de biorrefinería. No obstante, el coste de producción — actualmente entre 3.500 y 6.000 USD/tonelada — sigue siendo el principal obstáculo para la adopción generalizada, aunque las proyecciones indican una convergencia progresiva con los precios de la harina de pescado a medida que se consoliden las economías de escala.

El mercado global de proteína de insectos para alimentación animal se proyecta con una Tasa de Crecimiento Anual Compuesta (TCAC) del 15,02%, alcanzando un valor estimado de 12.980 millones de dólares para 2035. Las perspectivas de futuro son sólidas, sustentadas por el apoyo político del Pacto Verde Europeo y la estrategia "De la Granja a la Mesa", la integración en modelos de economía circular, las innovaciones en mejora genética y procesamiento, y un creciente flujo de inversiones.

El presente informe concluye que la proteína de insectos representa no solo una alternativa viable, sino una plataforma tecnológica con potencial transformador para el sistema de producción de piensos en la Unión Europea.

1.1 Contexto del uso de insectos en alimentación animal.

La seguridad alimentaria global y la sostenibilidad de los sistemas de producción animal constituyen dos de los mayores desafíos del siglo XXI. La creciente población mundial — que se prevé alcance los 10.000 millones de personas para 2050 — y el aumento sostenido del consumo de productos de origen animal ejercen una presión sin precedentes sobre los recursos naturales necesarios para producir piensos, especialmente sobre las fuentes de proteínas convencionales como la harina de pescado y la harina de soja.

En este contexto, la búsqueda de fuentes de proteínas alternativas, sostenibles y nutritivas se ha convertido en una prioridad estratégica para la industria de la alimentación animal. Los insectos emergen como una solución prometedora, fundamentada en razones ecológicas, nutricionales y económicas.

Su cría requiere significativamente menos tierra, agua y alimento en comparación con la ganadería tradicional, y pueden ser cultivados utilizando subproductos y residuos orgánicos, contribuyendo directamente a una economía circular.

Históricamente, los insectos han formado parte de la dieta natural de numerosas especies animales de producción, incluyendo aves de corral, peces y cerdos. La domesticación y producción industrial de insectos como ingrediente para piensos representa, por tanto, una formalización y optimización de procesos ecológicos naturales.

Las especies más estudiadas y desarrolladas comercialmente incluyen la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*), el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*), la mosca doméstica (*Musca domestica*) y diversas especies de grillos (*Acheta domesticus*, *Gryllos sigillatus*).

El sector de la proteína de insectos para alimentación animal ha experimentado un crecimiento exponencial en la última década, impulsado por avances regulatorios, inversiones significativas en I+D y la creciente concienciación sobre la necesidad de diversificar las fuentes proteicas.

La Unión Europea ha liderado este proceso mediante la aprobación progresiva de marcos regulatorios específicos que permiten el uso de proteínas animales procesadas (PAP) derivadas de insectos en diferentes categorías de animales de producción.

1.2 Problemática de las fuentes proteicas convencionales.

La industria de la alimentación animal depende fundamentalmente de dos fuentes proteicas principales: la harina de pescado y la harina de soja. Ambas presentan limitaciones significativas que comprometen la sostenibilidad a largo plazo del sector.

La harina de pescado, tradicionalmente considerada la fuente proteica de referencia para acuicultura y otras producciones animales intensivas, se enfrenta a restricciones crecientes derivadas de la sobreexplotación de los caladeros marinos. La producción mundial de harina de pescado ha permanecido relativamente estable en torno a 5 millones de toneladas anuales, mientras que la demanda continúa en aumento, lo que ha provocado un incremento sostenido de los precios que actualmente se sitúan entre 1.400 y 1.800 USD/tonelada. Esta situación genera una dependencia económica problemática y plantea serias preocupaciones sobre la sostenibilidad de los ecosistemas marinos.

Por su parte, la harina de soja — que representa la principal fuente de proteína vegetal para piensos a nivel global — está asociada a impactos ambientales significativos: deforestación de ecosistemas tropicales, elevado consumo de agua, uso intensivo de agroquímicos y una huella de carbono



considerable derivada del transporte intercontinental. La Unión Europea importa anualmente más de 30 millones de toneladas de soja y derivados, generando una dependencia estratégica de mercados terceros que compromete la autonomía proteica del continente.

Estas limitaciones han catalizado la búsqueda activa de fuentes de proteínas alternativas que puedan complementar o sustituir parcialmente a las fuentes convencionales, manteniendo estándares nutricionales equivalentes con un menor impacto ambiental y una mayor independencia de las cadenas de suministro globales.

1.3 Objetivos del entregable.

El presente Entregable 4 tiene como objetivo principal proporcionar un informe técnico-científico exhaustivo sobre la aplicación y valoración de uso de productos derivados de insectos en la formulación de piensos para animales de producción. Los objetivos específicos son:

- Caracterizar la composición nutricional detallada de las principales harinas de insectos autorizadas en la Unión Europea, con especial énfasis en *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*.
- Analizar el marco regulatorio europeo vigente para el uso de PAP de insectos en alimentación animal, incluyendo requisitos de seguridad, trazabilidad y especies autorizadas.
- Evaluar la eficacia zootécnica de la harina de insectos en las principales especies de producción: acuicultura, avicultura, porcino y mascotas.
- Valorar los rendimientos productivos, la salud animal y la calidad de los productos finales derivados del uso de piensos con ingredientes de insectos.
- Evaluar la capacidad de industrialización del sector, analizando las tecnologías de producción, los costes, las barreras tecnológicas y el nivel de madurez tecnológica.
- Realizar un análisis de sostenibilidad ambiental comparativo mediante metodología de Análisis de Ciclo de Vida (LCA).
- Examinar la dinámica del mercado global y europeo, incluyendo proyecciones de crecimiento, segmentación y competitividad de precios.
- Identificar las perspectivas de futuro, tendencias tecnológicas emergentes, marco político de apoyo e integración en la economía circular.
- Formular conclusiones y recomendaciones para el avance del proyecto PP13 y del sector en general.

1.4 Alcance y metodología.

Este informe abarca el estado del arte y las perspectivas del sector de la proteína de insectos para alimentación animal en el ámbito de la Unión Europea, con referencias al contexto global cuando resulta pertinente. El alcance temporal de la revisión se extiende desde la aprobación del Reglamento (UE) 2017/893 hasta mayo de 2026, incorporando los desarrollos regulatorios, científicos, tecnológicos y de mercado más recientes.

La metodología empleada se basa en una revisión sistemática de la literatura científica publicada en revistas de referencia indexadas (Web of Science, Scopus, PubMed), complementada con el análisis de documentos regulatorios oficiales de la Unión Europea, informes de mercado de consultoras especializadas, publicaciones de la EFSA y documentación técnica de empresas del sector. Se han



Financiado por
la Unión Europea
NextGenerationEU



Plan de Recuperación,
Transformación y Resiliencia



consultado más de 100 fuentes bibliográficas que proporcionan la base evidencial de las afirmaciones y datos presentados en este documento.

El documento se estructura en trece capítulos temáticos que abordan secuencialmente los aspectos regulatorios, nutricionales, aplicados, industriales, ambientales, económicos y prospectivos del uso de insectos en la formulación de piensos. Cada capítulo integra datos cuantitativos, tablas comparativas y análisis crítico para proporcionar una visión completa y rigurosa del estado actual y el potencial futuro del sector.



2. PRODUCTOS DERIVADOS DE INSECTOS: COMPOSICIÓN Y PROPIEDADES NUTRICIONALES.

2.1 Especies principales para producción de piensos.

La viabilidad de la harina de insectos como ingrediente para piensos depende fundamentalmente de su perfil nutricional, que debe ser competitivo con las fuentes proteicas tradicionales.

Las dos especies más estudiadas y prometedoras para la producción a escala industrial son la mosca soldado negra (*Hermetia illucens*, en adelante BSF) y el gusano de la harina (*Tenebrio molitor*, en adelante TM).

Aunque su composición puede variar considerablemente en función del sustrato de cría, la etapa de desarrollo larvario y los métodos de procesamiento, ambas ofrecen un alto valor nutritivo que las posiciona como alternativas reales a las fuentes convencionales.

Además de estas dos especies dominantes, existen otras con potencial para la producción de piensos, como la mosca doméstica (*Musca domestica*), el gusano de seda (*Bombyx mori*) y diversas especies de grillos (*Acheta domesticus*, *Gryllodes sigillatus*).

No obstante, la mayoría de la investigación publicada y el desarrollo industrial se han concentrado en BSF y TM, que son las especies con mayor volumen de producción comercial en Europa.

2.2 Harina de larva de mosca soldado negra (*Hermetia illucens*).

La harina de larva de mosca soldado negra (BSFL) es reconocida por su perfil nutricional completo y versátil. Su contenido de proteína cruda es elevado, oscilando generalmente entre el 35% y el 61% en base a materia seca, pudiendo alcanzar concentraciones del 60% al 70% tras el desengrasado.

Este perfil proteico se complementa con un excelente balance de aminoácidos esenciales (AAE), con una notable presencia de leucina (hasta 7,9% de la proteína), lisina (hasta 6,8%), valina (hasta 6,5%) e histidina (hasta 3,5%).

El contenido de lípidos es sustancial, pudiendo representar hasta un 50% de la materia seca en larvas completas. El perfil de ácidos grasos está dominado por ácidos grasos saturados de cadena media, especialmente el ácido láurico (C12:0), que puede constituir entre el 20% y el 60% del total de ácidos grasos. El ácido láurico es conocido por su actividad antimicrobiana, particularmente contra bacterias Gram-positivas como *Clostridium perfringens* y *Staphylococcus aureus*, lo que confiere a la harina de BSF propiedades funcionales que van más allá de su valor nutricional básico.

La harina de BSFL es además una fuente importante de micronutrientes, incluyendo vitaminas del grupo B (B1, B2, B12), vitamina C y minerales esenciales.

Destaca especialmente por su contenido en calcio (hasta 7,56% en materia seca) y una excelente relación calcio-fósforo, lo que constituye una ventaja significativa respecto a otras fuentes proteicas alternativas. También contiene cantidades relevantes de potasio, zinc y hierro.

Un componente distintivo de la harina de BSF es la quitina, el principal polisacárido del exoesqueleto del insecto. La quitina actúa como una fibra dietética insoluble con propiedades prebióticas y bacteriostáticas documentadas. Aunque concentraciones elevadas (superiores al 2-3% de la dieta) pueden afectar negativamente la digestibilidad de otros nutrientes, niveles moderados pueden ejercer efectos beneficiosos sobre la salud intestinal y la modulación de la microbiota.



La composición de la harina puede ser modulada mediante la selección del sustrato de cría, lo que constituye una herramienta de "bioingeniería nutricional". Por ejemplo, la cría de larvas en sustratos enriquecidos con algas marinas puede incrementar los niveles de ácidos grasos omega-3 de cadena larga (EPA y DHA), mientras que sustratos ricos en carotenoides pueden mejorar el contenido de provitamina A.

Adicionalmente, la presencia de péptidos antimicrobianos (AMP) naturales en la harina ha demostrado mejorar la salud intestinal y modular positivamente el microbioma de los animales alimentados con piensos que la contienen.

2.3 Harina de gusano de la harina (*Tenebrio molitor*).

El gusano de la harina (*Tenebrio molitor*) presenta una composición nutricional de alto valor, con características distintas a las de la BSF. El contenido de proteína cruda es muy variable y depende en gran medida del sustrato alimenticio, fluctuando entre un 28% y un 68% en base a materia seca. Dietas ricas en proteínas, como las basadas en harina de fabas, pueden maximizar este contenido, alcanzando hasta un 49,46%. Tras el desengrasado, la fracción proteica puede superar el 70% en materia seca.

El contenido lipídico es igualmente variable, situándose entre el 14% y el 39,91%. A diferencia de la BSF, el perfil lipídico de TM es más rico en ácidos grasos insaturados, particularmente en ácido oleico (C18:1, omega-9) y ácido linoleico (C18:2, omega-6), cuyos niveles pueden superar a los encontrados en el pescado. Esta composición lipídica hace que el aceite de TM sea especialmente interesante para aplicaciones donde se busca un perfil de ácidos grasos más insaturado.

La harina de TM es una fuente destacada de aminoácidos esenciales, con contenidos elevados de metionina, fenilalanina y tirosina. Sin embargo, a diferencia de la BSF, generalmente se considera una fuente relativamente pobre en calcio, con contenidos que oscilan entre el 0,03% y el 0,20%, un factor importante a tener en cuenta en la formulación de dietas y que puede requerir la suplementación con otras fuentes de calcio.

La elección del sustrato es crucial no solo para la composición nutricional sino también para optimizar la producción. Sustratos a base de cereales como el salvado de trigo, la harina de avena y la sémola favorecen el desarrollo larvario y la producción de biomasa, mientras que harinas de leguminosas como el garbanzo y la lenteja pueden mejorar la eficiencia de conversión del alimento.

Estudios recientes han demostrado que *Tenebrio molitor* posee la capacidad de seleccionar alimentos y equilibrar su ingesta de macronutrientes, lo que subraya la importancia de una formulación dietética precisa para maximizar tanto el crecimiento como el valor nutricional final.

2.4 Perfil de aminoácidos esenciales.

El perfil de aminoácidos esenciales es uno de los parámetros más relevantes para evaluar la calidad proteica de una fuente destinada a la formulación de piensos.

Las harinas de insectos presentan perfiles de aminoácidos que, en general, son comparables o superiores a los de la harina de soja en varios aminoácidos limitantes, y se aproximan a los de la harina de pescado.

Perfil comparativo de aminoácidos esenciales de harinas de insectos y fuentes convencionales (g/100g de proteína cruda). PC = Proteína cruda. Rangos basados en revisión de literatura científica.



Tabla 1 - Perfil comparativo de aminoácidos esenciales de harinas de insectos y fuentes convencionales (g/100g de proteína cruda). PC = Proteína cruda. Rangos basados en revisión de literatura científica.

Aminoácido	BSF (g/100g PC)	TM (g/100g PC)	H. Soja (g/100g PC)	H. Pescado (g/100g PC)
Lisina	5,2 – 6,8	5,1 – 6,5	6,1 – 6,3	7,5 – 8,0
Metionina	1,8 – 2,5	1,5 – 2,0	1,3 – 1,4	2,8 – 3,0
Treonina	3,5 – 4,2	3,8 – 4,5	3,8 – 4,0	4,2 – 4,5
Leucina	6,5 – 7,9	7,0 – 8,5	7,5 – 7,8	7,2 – 7,8
Isoleucina	4,0 – 5,0	4,5 – 5,5	4,5 – 4,6	4,3 – 4,6
Valina	5,5 – 6,5	5,8 – 6,8	4,7 – 4,8	5,0 – 5,5
Histidina	2,8 – 3,5	3,0 – 3,8	2,5 – 2,7	2,3 – 2,5
Fenilalanina	3,8 – 4,5	3,5 – 4,2	5,0 – 5,2	4,0 – 4,3
Triptófano	0,8 – 1,2	0,9 – 1,3	1,3 – 1,4	1,0 – 1,1
Arginina	4,5 – 5,5	4,8 – 5,5	7,2 – 7,4	6,0 – 6,5

Como puede observarse en la Tabla, los niveles de metionina en las harinas de insectos son generalmente superiores a los de la harina de soja, lo que representa una ventaja significativa dado que la metionina es frecuentemente un aminoácido limitante en las dietas avícolas y acuícolas.

Los niveles de lisina son comparables entre las diferentes fuentes, aunque inferiores a los de la harina de pescado.

Un aspecto a considerar es que los niveles de arginina en las harinas de insectos son inferiores a los de la harina de soja, lo que podría requerir suplementación en dietas para gallinas ponedoras, donde la arginina es un aminoácido crítico.

2.5 Ácidos grasos y perfil lipídico.

El contenido y perfil de ácidos grasos de las harinas de insectos presenta diferencias significativas entre especies y constituye un factor determinante para su aplicación en la formulación de piensos. La fracción lipídica de los insectos puede representar entre el 14% y el 50% de la materia seca, y su composición puede ser modulada mediante la selección del sustrato de cría.

La harina de BSF se caracteriza por un perfil lipídico dominado por ácidos grasos saturados, especialmente el ácido láurico (C12:0), que puede representar entre el 20% y el 60% del total.

Este perfil la diferencia marcadamente de la harina de pescado (rica en EPA y DHA) y de la harina de soja (rica en ácido linoleico). El elevado contenido en ácido láurico confiere a la grasa de BSF propiedades antimicrobianas documentadas, que pueden contribuir a la salud intestinal de los animales.

Por su parte, la harina de TM presenta un perfil lipídico más insaturado, con predominancia de ácido oleico (C18:1, hasta el 35-40%) y ácido linoleico (C18:2, hasta el 25-35%).

Este perfil es más próximo al de los aceites vegetales y puede resultar ventajoso en formulaciones donde se busca reducir la proporción de ácidos grasos saturados.



Tabla 2 - Perfil de ácidos grasos de harinas de insectos comparado con harina de pescado y aceite de soja (% del total de ácidos grasos). SFA = Saturados; MUFA = Monoinsaturados; PUFA = Poliinsaturados.

Ácido graso	BSF (%)	TM (%)	H. Pescado (%)	Aceite de soja (%)
Láurico (C12:0)	20 – 60	< 1	< 1	< 0,5
Mirístico (C14:0)	5 – 12	2 – 4	7 – 10	< 0,5
Palmítico (C16:0)	10 – 18	15 – 20	18 – 25	10 – 12
Esteárico (C18:0)	2 – 5	3 – 5	3 – 5	3 – 5
Oleico (C18:1)	8 – 20	35 – 45	15 – 20	20 – 25
Linoleico (C18:2)	3 – 10	25 – 35	1 – 3	50 – 55
Linolénico (C18:3)	< 2	1 – 3	1 – 2	6 – 9
EPA (C20:5)	< 0,5	< 0,1	8 – 15	< 0,1
DHA (C22:6)	< 0,5	< 0,1	10 – 18	< 0,1
SFA total	50 – 80	25 – 35	30 – 40	15 – 18
MUFA total	10 – 25	35 – 50	20 – 30	22 – 28
PUFA total	5 – 15	28 – 40	30 – 40	55 – 65

2.6 Contenido de quitina y fibra.

La quitina es un polisacárido nitrogenado (poli-N-acetil-D-glucosamina) que constituye el principal componente estructural del exoesqueleto de los insectos. Su contenido en las harinas de insectos varía según la especie, la etapa de desarrollo y el método de procesamiento, situándose típicamente entre el 5% y el 15% de la materia seca.

En la harina de BSF, el contenido de quitina suele oscilar entre el 5% y el 10%, mientras que en TM puede alcanzar el 5% al 12%.

La quitina presenta una dualidad funcional en la nutrición animal. Por un lado, actúa como una fibra dietética insoluble que puede reducir la digestibilidad aparente de otros nutrientes — especialmente proteínas y lípidos — cuando su concentración en la dieta supera el 2-3%.

Por otro lado, niveles moderados de quitina ejercen efectos prebióticos documentados, promoviendo el crecimiento de bacterias beneficiosas como Lactobacillus y Bifidobacterias en el tracto digestivo, y efectos bacteriostáticos contra patógenos intestinales.

Adicionalmente, la quitina y sus derivados, particularmente el quitosano (obtenido por desacetilación de la quitina), poseen propiedades inmuno estimuladoras que han demostrado mejorar la respuesta inmune innata en diversas especies animales. Estas propiedades funcionales convierten a la quitina en un componente de valor añadido que diferencia a las harinas de insectos de las fuentes proteicas convencionales.

2.7 Compuestos bioactivos.

Más allá de su valor nutricional como fuente de proteínas, lípidos y micronutrientes, las harinas de insectos contienen una serie de compuestos bioactivos que pueden ejercer efectos funcionales beneficiosos en los animales de producción. Los principales compuestos bioactivos identificados incluyen:



- **Péptidos antimicrobianos (AMP):** los insectos producen una amplia gama de AMP como parte de su sistema inmune innato. Estos péptidos han demostrado actividad contra bacterias Gram-positivas y Gram-negativas, hongos y virus, y pueden contribuir a mejorar la salud intestinal y reducir la dependencia de antibióticos promotores del crecimiento.
- **Ácido láurico y derivados:** el ácido láurico, predominante en la grasa de BSF, y su monoglicérido (monolaurina) poseen actividad antimicrobiana demostrada, particularmente contra *Clostridium perfringens*, una de las principales causas de enteritis necrótica en aves de corral.
- **Melanina:** presente en el exoesqueleto de varias especies de insectos, la melanina posee propiedades antioxidantes y fotoprotectoras que pueden contribuir a la calidad de los productos finales.
- **Compuestos fenólicos y flavonoides:** identificados en menor concentración, estos compuestos contribuyen a la capacidad antioxidante total de las harinas de insectos.

2.8 Comparación nutricional integral con fuentes convencionales.

Tabla 3 - Comparación nutricional integral entre harinas de insectos y fuentes proteicas convencionales. MS = Materia seca. Dig. = Digestibilidad.

Parámetro	BSF (<i>H. illucens</i>)	TM (<i>T. molitor</i>)	Harina de soja	Harina de pescado
Proteína cruda (%MS)	35 – 61	28 – 68	44 – 48	60 – 72
Proteína (desengrasada)	60 – 70	65 – 75	—	—
Lípidos totales (%MS)	15 – 50	14 – 40	1 – 2	8 – 12
Fibra cruda (%MS)	7 – 15	5 – 12	5 – 7	< 1
Cenizas (%MS)	10 – 20	3 – 6	5 – 7	15 – 25
Calcio (%MS)	1,5 – 7,6	0,03 – 0,20	0,25 – 0,35	3,0 – 6,0
Fósforo (%MS)	0,6 – 1,5	0,70 – 0,90	0,60 – 0,70	2,5 – 3,5
Energía bruta (MJ/kg)	20 – 25	25 – 28	18 – 19	20 – 22
Quitina (%MS)	5 – 10	5 – 12	0	0
Dig. proteica (aves) (%)	75 – 85	80 – 90	85 – 90	85 – 92

La Tabla evidencia que las harinas de insectos son nutricionalmente competitivas con las fuentes convencionales. Su contenido proteico, especialmente tras el desengrasado, puede igualar o superar al de la harina de pescado. Las principales diferencias residen en el contenido lipídico (significativamente mayor en insectos), el perfil de ácidos grasos, el contenido de quitina (exclusivo de insectos) y las variaciones en minerales (especialmente el elevado calcio de BSF y el bajo calcio de TM).



3. APLICACIONES EN FORMULACIÓN DE PIENSOS POR ESPECIE ANIMAL.

3.1 Acuicultura.

La acuicultura ha sido el primer sector de producción animal en el que se ha autorizado y evaluado extensivamente el uso de PAP de insectos, motivado por la necesidad urgente de encontrar alternativas sostenibles a la harina de pescado. Los resultados de la investigación en las principales especies acuícolas son altamente prometedores.

3.1.1 Salmón del Atlántico (*Salmo salar*).

El salmón del Atlántico constituye una de las especies acuícolas más intensamente estudiadas en relación con el uso de harina de insectos. Diversas investigaciones han demostrado que la harina de BSFL puede reemplazar hasta el 100% de la harina de pescado en la dieta de post-smolts sin comprometer significativamente el crecimiento, la ingesta de alimento o la composición corporal. En un estudio de referencia, salmones alimentados con dietas donde la harina de BSF reemplazó progresivamente la harina de pescado (25%, 50%, 75% y 100%) no mostraron diferencias significativas en peso final ni en tasa de crecimiento específico a niveles de inclusión de hasta el 50%.

Aunque en algunos casos se observó una ligera disminución en la ingesta voluntaria de pienso con mayores niveles de inclusión, la mejora en el índice de conversión alimenticia (FCR) compensó esta reducción, resultando en un crecimiento neto equivalente. Los FCR obtenidos con dietas basadas en insectos (1,05-1,15) fueron comparables a los de dietas convencionales basadas en harina de pescado (1,00-1,10).

La digestibilidad aparente de la proteína cruda se mantiene en niveles altos (85-90%) con inclusiones de hasta el 25% de harina de BSF, aunque puede disminuir ligeramente (80-85%) con niveles superiores, principalmente debido al incremento del contenido de quitina en la dieta. La digestibilidad de los lípidos y aminoácidos individuales permanece generalmente por encima del 85% en todos los niveles de inclusión evaluados.

Un aspecto relevante es la calidad nutricional del filete. La sustitución de harina de pescado por harina de BSF reduce el contenido de ácidos grasos omega-3 de cadena larga (EPA y DHA) en el músculo del salmón, lo que puede afectar al valor nutricional del producto para el consumidor humano. Esta limitación puede mitigarse parcialmente mediante la cría de larvas de BSF en sustratos enriquecidos con algas marinas ricas en omega-3, o mediante la suplementación del pienso con aceite de pescado o aceites de microalgas.

3.1.2 Trucha arcoíris (*Oncorhynchus mykiss*).

Los estudios en trucha arcoíris han mostrado resultados similares a los obtenidos en salmón. La harina de BSF puede reemplazar entre el 25% y el 50% de la harina de pescado sin efectos negativos significativos sobre el crecimiento, el FCR o la composición corporal. Niveles de inclusión del 20-25% de harina de BSF en la dieta total han mostrado resultados particularmente consistentes, con rendimientos productivos equivalentes a los controles.

La harina de TM también ha sido evaluada en trucha arcoíris con resultados positivos. Estudios reportan que inclusiones de hasta el 25-30% de harina de TM pueden realizarse sin efectos adversos sobre el crecimiento, y algunos trabajos han documentado mejoras en la morfología intestinal y la diversidad de la microbiota, asociadas a los efectos prebióticos de la quitina.

3.1.3 Dorada (*Sparus aurata*) y lubina (*Dicentrarchus labrax*).

En especies mediterráneas como la dorada y la lubina, la harina de BSF ha demostrado poder sustituir entre el 30% y el 50% de la proteína de harina de pescado sin comprometer los parámetros

productivos. En dorada, estudios con niveles de inclusión del 25% de harina de BSF desengrasada han reportado rendimientos productivos equivalentes a los controles, con FCR de 1,5-1,7.

En lubina, la inclusión de hasta un 20-25% de harina de BSF ha mostrado resultados positivos, aunque niveles superiores pueden resultar en una reducción moderada del crecimiento, atribuida tanto al contenido de quitina como a diferencias en la palatabilidad del pienso.

3.1.4 Tilapia (*Oreochromis niloticus*).

La tilapia, como especie omnívora con menores requerimientos de proteína animal en su dieta, presenta una excelente tolerancia a la inclusión de harinas de insectos. Estudios han demostrado que la harina de BSF puede sustituir hasta el 75-100% de la harina de pescado en dietas para tilapia sin efectos negativos sobre el crecimiento, el FCR o la supervivencia. La naturaleza omnívora de la tilapia y su eficiente capacidad para digerir quitina contribuyen a estos resultados favorables.

Tabla 4 - Resumen de resultados del uso de harina de insectos en acuicultura. HP = Harina de pescado; FCR = Índice de conversión alimenticia.

Especie	Sustitución máx. HP	FCR con insectos	Efecto en crecimiento	Observaciones
Salmón Atlántico	Hasta 100%	1,05 – 1,15	Sin diferencias (<50%)	Reducción omega-3 en filete
Trucha arcoíris	25 – 50%	1,10 – 1,25	Sin diferencias	Mejora microbiota intestinal
Dorada	30 – 50%	1,50 – 1,70	Equivalente (<30%)	Mejor con BSF desengrasada
Lubina	20 – 25%	1,40 – 1,60	Equivalente	Palatabilidad a monitorizar
Tilapia	75 – 100%	1,30 – 1,50	Sin diferencias	Excelente tolerancia

3.2 Avicultura.

3.2.1 Pollos de engorde (broilers).

La harina de insectos se posiciona como un sustituto potencial de la harina de soja y la harina de pescado en la alimentación avícola, ofreciendo beneficios tanto nutricionales como funcionales. Estudios en pollos de engorde han mostrado mejoras significativas en el rendimiento zootécnico con la inclusión de harinas de insectos en la dieta.

La inclusión creciente de harina de TM (de 0,1% a 0,3%) ha resultado en un aumento significativo del peso corporal y una mejora en el índice de conversión alimenticia. Estudios con niveles de inclusión del 5-10% de harina de BSF como sustituto parcial de harina de soja han reportado rendimientos equivalentes o superiores a los controles. En general, se estima que diversas especies de insectos tienen el potencial de mejorar el rendimiento de crecimiento de los pollos de engorde en más de un 3%.

Un aspecto funcional clave es la presencia de péptidos antimicrobianos y el ácido láurico en la harina de BSF. Estos compuestos han demostrado mejorar la salud intestinal, fortalecer la función inmunológica y reducir la incidencia de enteritis necrótica causada por *Clostridium perfringens*, una de las patologías más costosas en la producción avícola. Estos beneficios funcionales pueden traducirse en una reducción del uso de antibióticos promotores del crecimiento, alineándose con los objetivos regulatorios de la UE.

La calidad de la carne de los pollos alimentados con piensos que contienen harina de insectos ha sido evaluada en múltiples estudios, sin detectarse diferencias significativas en los parámetros sensoriales (color, textura, sabor) respecto a los controles alimentados con dietas convencionales.

3.2.2 Gallinas ponedoras.

En gallinas ponedoras, la inclusión de harina de insectos ha mostrado un impacto positivo en la producción de huevos, con algunos estudios reportando aumentos superiores al 3% en la tasa de puesta. La harina de gusano de seda (*Bombyx mori*) ha demostrado mejorar la producción de huevos en codornices ponedoras sin afectar negativamente la calidad de los mismos.

La calidad del huevo — incluyendo peso del huevo, grosor de la cáscara, unidades Haugh, color de la yema e índice de yema — no se ve afectada negativamente con inclusiones de hasta el 10-15% de harina de insectos. Algunos estudios han reportado incluso mejoras en la pigmentación de la yema, particularmente con harinas de insectos que contienen carotenoides naturales.

Un punto a considerar en gallinas ponedoras es el contenido de arginina en la dieta. Dado que las harinas de insectos presentan niveles de arginina inferiores a los de la harina de soja, puede ser necesaria la suplementación con arginina sintética cuando los niveles de inclusión de harina de insectos superen el 10-15% de la dieta total.

3.3 Porcino.

La autorización del uso de PAP de insectos en la alimentación porcina (Reglamento UE 2021/1372) ha abierto un mercado significativo para el sector. Los estudios realizados hasta la fecha se han centrado principalmente en lechones, donde la harina de insectos ha demostrado efectos particularmente beneficiosos.

En lechones destetados, la inclusión de harina de BSF como sustituto parcial de la harina de soja (5-10% de la dieta) ha mostrado mejoras en la ganancia de peso diaria y el FCR, asociadas a efectos positivos sobre la salud intestinal. El ácido láurico presente en la harina de BSF ha demostrado reducir la incidencia de diarreas post-destete, un problema sanitario de primera magnitud en la producción porcina.

En cerdos de engorde, los estudios disponibles son más limitados, pero los resultados preliminares indican que inclusiones del 5-8% de harina de insectos son compatibles con rendimientos productivos equivalentes a los de las dietas convencionales. Se necesitan más investigaciones a largo plazo para establecer los niveles óptimos de inclusión en las diferentes fases productivas.

3.4. Mascotas (perros y gatos).

El mercado de alimentación para mascotas representa un segmento de especial interés para la industria de la proteína de insectos, tanto por sus elevados márgenes de beneficio como por la disposición de los propietarios a pagar más por productos novedosos, sostenibles e hipoalergénicos.

La harina de insectos, particularmente de BSF y TM, ha demostrado ser una fuente proteica altamente digestible y palatabilidad adecuada para perros y gatos. Un atributo diferencial especialmente valorado es su carácter hipoalergénico: al tratarse de una fuente proteica novedosa, la harina de insectos puede ser utilizada en dietas de eliminación y dietas para animales con alergias o intolerancias alimentarias a las proteínas convencionales (pollo, vacuno, pescado, soja).

Varios fabricantes europeos de alimentos para mascotas ya han lanzado líneas de productos basados en proteína de insectos, posicionándolos como opciones premium sostenibles. Los estudios de digestibilidad en perros muestran coeficientes de digestibilidad aparente de la proteína superiores al 80%, comparables a los de fuentes proteicas convencionales de alta calidad.

3.5. Estudios de digestibilidad por especie.

Tabla 5 - Coeficientes de digestibilidad aparente de harinas de insectos en diferentes especies animales (%).
BSF = *Hermetia illucens*; TM = *Tenebrio molitor*.

Especie animal	Tipo de harina	Dig. proteína (%)	Dig. lípidos (%)	Dig. energía (%)
Salmón Atlántico	BSF	78 – 88	85 – 92	80 – 87
Trucha arcoíris	BSF / TM	80 – 90	87 – 93	82 – 88
Dorada	BSF desgrasada	82 – 88	88 – 92	83 – 87
Pollo de engorde	BSF	75 – 85	82 – 90	78 – 85
Pollo de engorde	TM	80 – 90	85 – 92	82 – 88
Gallina ponedora	BSF / TM	78 – 86	83 – 90	80 – 86
Lechón	BSF	76 – 84	80 – 88	78 – 84
Perro	BSF / TM	80 – 88	85 – 92	82 – 88
Gato	BSF / TM	78 – 85	83 – 90	80 – 86



4. VALORACIÓN DE USO Y RENDIMIENTOS PRODUCTIVOS.

4.1 Estudios de eficacia en campo.

Los estudios de eficacia realizados bajo condiciones controladas y semi-comerciales han proporcionado evidencia sólida sobre la viabilidad del uso de harinas de insectos como ingrediente funcional en piensos para las principales especies de producción. La convergencia de resultados positivos procedentes de múltiples centros de investigación y en diversas condiciones experimentales refuerza la confianza en la aplicabilidad práctica de estos ingredientes.

Un meta-análisis publicado recientemente, que integró datos de más de 80 estudios individuales sobre el efecto de las harinas de insectos en peces, concluyó que la inclusión de harina de insectos como sustituto parcial de la harina de pescado no produce efectos negativos significativos sobre el crecimiento cuando los niveles de inclusión se mantienen por debajo del 25-30% de la proteína total de la dieta. Los efectos sobre la salud intestinal y la modulación de la microbiota fueron consistentemente positivos.

En avicultura, los ensayos de campo con dietas que contienen entre un 5% y un 15% de harina de insectos (BSF o TM) han demostrado rendimientos productivos equivalentes o superiores a los de las dietas control basadas en harina de soja, con beneficios adicionales en salud intestinal y función inmunológica. Los resultados más consistentes se obtienen con niveles de inclusión del 5-10% de la dieta total, que representan el rango óptimo desde el punto de vista coste-beneficio.

4.2 Índices de conversión alimenticia (FCR).

El índice de conversión alimenticia (FCR) es uno de los parámetros zootécnicos más relevantes para evaluar la eficiencia económica de un pienso. Los resultados obtenidos con harinas de insectos son altamente competitivos. En salmón del Atlántico, los FCR con dietas basadas en harina de BSF (1,05-1,15) son comparables a los obtenidos con dietas convencionales de harina de pescado (1,00-1,10). En pollos de engorde, los FCR con inclusiones del 5-10% de harina de insectos se sitúan en el rango de 1,50-1,70, equivalentes a los controles.

Es importante destacar que los FCR pueden verse afectados por el nivel de inclusión, el tipo de harina (entera vs. desengrasada), la especie animal y la formulación global de la dieta. Los mejores resultados se obtienen cuando la harina de insectos se integra de forma equilibrada en la formulación, compensando las diferencias en perfil nutricional mediante ajustes en otros ingredientes.

4.3 Salud intestinal y microbiota.

Uno de los beneficios más consistentemente documentados del uso de harinas de insectos en piensos es su efecto positivo sobre la salud intestinal y la composición de la microbiota. Los mecanismos implicados incluyen la acción prebiótica de la quitina, los efectos antimicrobianos del ácido láurico y los péptidos antimicrobianos, y la modulación de la respuesta inmune intestinal.

En peces, la inclusión de harina de BSF ha demostrado aumentar la diversidad microbiana intestinal, promover el crecimiento de bacterias beneficiosas del género *Lactobacillus* y reducir la abundancia de patógenos potenciales. Estos cambios en la microbiota se asocian con mejoras en la morfología intestinal (mayor altura de vellosidades, menor profundidad de criptas) y con un refuerzo de la barrera intestinal.

En aves, los efectos sobre la microbiota son igualmente positivos. El ácido láurico de la harina de BSF ha demostrado reducir significativamente las poblaciones de *Clostridium perfringens* en el intestino,



contribuyendo a la prevención de la enteritis necrótica. Estudios en pollos de engorde han reportado reducciones del 40-60% en las poblaciones de Clostridium y aumentos del 20-30% en las de Lactobacillus con inclusiones del 5-10% de harina de BSF.

4.4 Calidad de productos finales.

La calidad de los productos animales finales (carne, huevos, pescado) obtenidos de animales alimentados con piensos que contienen harina de insectos ha sido evaluada extensivamente, con resultados generalmente favorables.

En carne de pollo, los análisis sensoriales (paneles de catadores entrenados y pruebas de consumidores) no han detectado diferencias significativas en color, textura, jugosidad o sabor entre pollos alimentados con dietas convencionales y aquellos alimentados con dietas que contienen hasta un 15% de harina de insectos. La composición proximal de la carne (proteína, grasa, cenizas, humedad) tampoco se ve afectada de forma significativa.

En huevos, la calidad externa (peso, grosor de cáscara) e interna (unidades Haugh, color de yema, contenido nutricional) se mantiene dentro de los estándares comerciales. En pescado de acuicultura, el principal efecto observado es una modificación del perfil de ácidos grasos del filete, con una reducción del contenido de EPA y DHA proporcional al nivel de sustitución de harina de pescado, que puede ser parcialmente mitigada mediante estrategias de enriquecimiento del sustrato de los insectos.

4.5 Análisis coste-beneficio para productores.

Desde la perspectiva del productor, la adopción de piensos con harina de insectos requiere un análisis coste-beneficio que considere no solo el precio del ingrediente, sino también los beneficios indirectos en salud animal, reducción del uso de antibióticos, y el potencial de diferenciación del producto final en el mercado.

El coste actual de la harina de insectos (3.500-6.000 USD/tonelada) es significativamente superior al de la harina de soja (400-500 USD/tonelada) y moderadamente superior al de la harina de pescado (1.400-1.800 USD/tonelada). Sin embargo, cuando se consideran los beneficios funcionales — mejora de la salud intestinal, reducción de mortalidad, menor uso de antibióticos y mejora del FCR —, el balance económico puede resultar favorable, especialmente en producciones de alto valor como la acuicultura premium y la alimentación de mascotas.

Las proyecciones indican que los costes de producción de harina de insectos se reducirán significativamente a medida que la industria escale sus operaciones y optimice sus procesos. Se estima que para 2030 los precios podrían descender hasta el rango de 1.500-2.500 USD/tonelada, lo que convertiría a la harina de insectos en una alternativa económicamente competitiva con la harina de pescado para una amplia gama de aplicaciones.

5. TECNOLOGÍAS DE PRODUCCIÓN INDUSTRIAL.

5.1 Sistemas de cría en masa.

5.1.1 Instalaciones y equipamiento.

La producción industrial de insectos para piensos requiere instalaciones especializadas diseñadas para maximizar la eficiencia productiva manteniendo estrictos estándares de bioseguridad. Las plantas modernas se configuran típicamente como sistemas de cría en vertical (vertical farming), que permiten una alta densidad de producción en espacios relativamente reducidos.

Las instalaciones constan de varias áreas funcionales diferenciadas: zona de reproducción (para los adultos reproductores), zona de incubación y eclosión, zona de cría larvaria (que ocupa la mayor superficie), zona de procesamiento (sacrificio, secado, desengrasado, molienda) y zonas de almacenamiento y logística. Las plantas más avanzadas incorporan también laboratorios de control de calidad y áreas de I+D.

Los sistemas de bandejas apilables son el diseño predominante para la cría de larvas de BSF y TM. Las bandejas, fabricadas típicamente en polipropileno de grado alimentario, se disponen en estanterías verticales con separaciones controladas que permiten la ventilación adecuada. Los sistemas más modernos utilizan bandejas de gran formato (hasta 60x40 cm) con capacidades de carga de hasta 10-15 kg de biomasa por bandeja.

5.1.2 Control ambiental.

La producción industrial de insectos para piensos requiere instalaciones especializadas diseñadas para maximizar la eficiencia productiva manteniendo estrictos estándares de bioseguridad. Las plantas modernas se configuran típicamente como sistemas de cría en vertical (vertical farming), que permiten una alta densidad de producción en espacios relativamente reducidos.

El control preciso de las condiciones ambientales es crítico para optimizar el crecimiento, la supervivencia y la calidad nutricional de los insectos. Los parámetros clave incluyen temperatura, humedad relativa, ventilación y fotoperiodo, cuyos valores óptimos varían según la especie y la etapa de desarrollo.

Para *Hermetia illucens*, las condiciones óptimas de cría larvaria se sitúan en un rango de temperatura de 25-30°C, con humedad relativa del 60-80% y una ventilación controlada que mantenga niveles de CO₂ por debajo de 3.000 ppm. Para los adultos reproductores, las condiciones difieren: temperaturas de 25-28°C, humedad del 50-70% y un fotoperiodo de 12-16 horas de luz necesario para estimular la oviposición.

Para *Tenebrio molitor*, las temperaturas óptimas de cría se sitúan entre 25-28°C, con humedad relativa del 60-70%. El gusano de la harina es más tolerante a variaciones de temperatura que la BSF, pero requiere un control estricto de la humedad para evitar el desarrollo de hongos y ácaros.

Los sistemas de control ambiental modernos incorporan sensores IoT que monitorizan en tiempo real todos los parámetros críticos y algoritmos de IA que ajustan automáticamente los sistemas de climatización para mantener las condiciones óptimas, optimizando simultáneamente el consumo energético.

5.1.3. Densidades de cría y automatización.

Las densidades de cría óptimas representan un equilibrio entre la maximización de la producción por unidad de superficie y la prevención de problemas asociados al hacinamiento (canibalismo, estrés, reducción del crecimiento, aumento de mortalidad). Para larvas de BSF, las densidades recomendadas



se sitúan entre 2 y 5 larvas por cm², dependiendo del estadio de desarrollo y las condiciones de ventilación. Para TM, las densidades típicas son de 0,5-2,0 larvas por cm².

La automatización es un factor diferencial en la competitividad de las plantas industriales modernas. Los sistemas automatizados abarcan: alimentación automática (suministro preciso de sustrato según especie, etapa de desarrollo y densidad); cribado y clasificación (separación de insectos por tamaño y estado de desarrollo); cosecha automatizada; transporte interno robotizado; y sistemas de limpieza y desinfección automatizados.

Las empresas más avanzadas del sector están implementando plataformas de gestión integrada basadas en IA que coordinan todos los procesos productivos, desde la planificación de la producción hasta el control de calidad del producto final. Estos sistemas permiten la trazabilidad completa, la optimización continua de los procesos y la detección temprana de problemas sanitarios o de producción.

5.2. Sustratos y alimentación de los insectos.

La selección y gestión de los sustratos de cría es uno de los factores más determinantes tanto para la eficiencia productiva como para la calidad nutricional y la seguridad del producto final. Los insectos destinados a la producción de piensos deben ser alimentados exclusivamente con sustratos autorizados por la normativa europea.

Los sustratos más utilizados incluyen: subproductos de la industria cerealista (salvado de trigo, harinillas, cascarillas); subproductos de la industria cervecera (bagazo de cerveza); residuos de frutas y verduras (descartados de cadenas de distribución); subproductos de la industria harinera y panadera; y piensos formulados específicos para insectos.

La eficiencia de conversión alimenticia (FCR) de los insectos varía según la especie y el sustrato. Las larvas de BSF presentan FCR de 1,5:1 a 2,0:1 (kg de sustrato seco por kg de biomasa fresca), lo que las convierte en uno de los sistemas de producción de proteína más eficientes conocidos. En comparación, el FCR de la harina de pescado es de 3,5:1 y el de la harina de soja de 4,2:1.

La trazabilidad de los sustratos es un requisito regulatorio esencial. Los operadores deben documentar el origen, composición y análisis de seguridad de cada lote de sustrato utilizado, garantizando la ausencia de contaminantes prohibidos (pesticidas, metales pesados, micotoxinas, patógenos) en niveles superiores a los establecidos por la normativa.

5.3. Procesamiento postcosecha.

El procesamiento postcosecha de los insectos comprende una serie de etapas secuenciales diseñadas para transformar la biomasa fresca en ingredientes estables, seguros y nutricionalmente óptimos para la formulación de piensos.

El sacrificio o "*matanza*" de los insectos debe realizarse mediante métodos considerados humanitarios, que minimicen el sufrimiento potencial.

Los métodos más utilizados a escala industrial incluyen: congelación rápida (las larvas se exponen a temperaturas de -20°C a -40°C); escaldado (inmersión en agua caliente a 90-100°C durante 1-2 minutos); y trituración mecánica instantánea. La congelación rápida es el método preferido en la mayoría de las plantas europeas por su facilidad de implementación y su eficacia en la preservación de la calidad nutricional.



El secado es una etapa crítica para la estabilidad del producto. Las larvas frescas contienen entre un 60% y un 75% de humedad, que debe reducirse por debajo del 10% para garantizar la estabilidad microbiológica durante el almacenamiento. Los principales métodos de secado incluyen: secado por aire caliente (60-80°C, el más económico y más utilizado); liofilización (sublimación a baja temperatura y vacío, que preserva mejor la calidad nutricional pero es significativamente más costosa); y secado por microondas o infrarrojos (tecnologías emergentes con tiempos de secado reducidos).

El desengrasado permite obtener una harina con mayor concentración proteica (60-75% vs. 35-50% en harina integral) y mejor estabilidad oxidativa. Los métodos incluyen prensado mecánico (que permite recuperar entre el 60% y el 80% del aceite) y extracción con solventes (mayor eficiencia de extracción, pero con mayores requisitos de seguridad y costes operativos). El aceite extraído constituye un coproducto de valor, con aplicaciones en alimentación animal, producción de biodiesel y usos industriales.

La molienda y clasificación granulométrica completan el procesamiento, produciendo harinas con tamaños de partícula adecuados para su incorporación en las formulaciones de piensos (típicamente 0,5-2,0 mm para piensos extrusionados).

5.4. Bioseguridad y control de calidad.

Los programas de bioseguridad y control de calidad en las plantas de producción de insectos deben abordar tanto los riesgos microbiológicos como los químicos. Los principales riesgos microbiológicos incluyen la presencia de *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus cereus* y *Enterobacteriaceae* en la biomasa fresca.

Los tratamientos térmicos aplicados durante el procesamiento (secado, extrusión) son efectivos para la eliminación de la mayoría de los patógenos, aunque las endosporas bacterianas pueden sobrevivir y requieren un control estricto de las condiciones de almacenamiento.

Los contaminantes químicos de mayor preocupación son los metales pesados (cadmio, plomo, arsénico, mercurio), cuya acumulación depende del sustrato de cría. Se ha documentado que la BSF tiende a bioacumular cadmio, mientras que TM puede acumular arsénico cuando se cría en sustratos contaminados. El control riguroso de los sustratos y los análisis periódicos del producto final son medidas esenciales para mantener los niveles de contaminantes por debajo de los límites máximos establecidos por la UE.

Las micotoxinas representan un riesgo menor, ya que la evidencia disponible sugiere que no tienden a acumularse de manera significativa en los insectos. No obstante, se recomienda el monitoreo periódico, especialmente cuando se utilizan sustratos de origen cerealista susceptibles de contaminación fúngica.

Los planes de control de calidad deben incluir: análisis microbiológicos del producto final (cada lote); análisis de composición nutricional (proteína, grasa, humedad, cenizas, aminoácidos); análisis de contaminantes químicos (metales pesados, micotoxinas, pesticidas); verificación de la granulometría y las propiedades físicas; y auditorías de trazabilidad.

6. EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD DE INDUSTRIALIZACIÓN.

6.1 Plantas industriales existentes en Europa.

Europa se posiciona como líder global en el desarrollo industrial de la producción de insectos para alimentación animal, con varias empresas que han alcanzado la escala de producción industrial o se encuentran en fases avanzadas de escalado.

- **Protix (Países Bajos):** Fundada en 2009, Protix es considerada una de las empresas pioneras del sector en Europa. Su planta principal en Bergen op Zoom cuenta con una capacidad de procesamiento de más de 15.000 toneladas de residuos orgánicos anuales, produciendo miles de toneladas de proteína y aceite de larva de BSF. La empresa ha desarrollado tecnologías propietarias de cría automatizada y procesamiento que le permiten operar con elevados estándares de eficiencia.
- **Ynsect (Francia):** Ynsect se ha posicionado como uno de los líderes globales en la producción de proteína de *Tenebrio molitor*. La empresa ha recaudado más de 160 millones de dólares desde su fundación y está desarrollando una planta vertical de gran escala en Amiens (Francia) con una capacidad proyectada de 100.000 toneladas de producto al año, que aspira a ser la mayor granja de insectos del mundo. Ynsect también ha expandido sus operaciones mediante la adquisición de la empresa holandesa Protifarm.
- **InnovaFeed (Francia):** InnovaFeed se especializa en la producción de harina y aceite de BSF. Su planta en Nesle (Francia), desarrollada en colaboración con el grupo Roquette, tiene una capacidad de producción de 15.000 toneladas de proteína de insectos al año. La empresa ha establecido un modelo de simbiosis industrial, ubicando sus instalaciones junto a plantas de procesamiento de almidón para aprovechar los subproductos y el calor residual.

Además de estas empresas líderes, el ecosistema europeo incluye numerosas empresas emergentes y en expansión, como Tebrio (España, planta de 90.000 m² en Salamanca), Bioflytech/Entomo Agroindustrial (España, con inversión de 16 millones de euros de Moira Capital Partners), Hexafly (Irlanda), Nasekomo (Bulgaria), NextProtein (Francia/Túnez) y MadeBymade (Alemania). Esta densidad de empresas refleja la vitalidad del ecosistema de innovación europeo en este sector.

6.2 Capacidades productivas actuales y proyectadas.

La capacidad de producción de proteína de insectos en Europa ha experimentado un crecimiento acelerado en los últimos cinco años.

Se estima que la capacidad total instalada en Europa supera actualmente las 50.000-70.000 toneladas de producto al año, con planes de expansión que podrían elevar esta cifra hasta las 200.000-300.000 toneladas para 2030.

Las principales ampliaciones de capacidad previstas incluyen la mega-planta de Ynsect en Amiens (100.000 t/año), la expansión de InnovaFeed en Nesle y nuevas plantas en América del Norte, y la planta de Tebrio en Salamanca, que aspira a producir 100.000 toneladas de harina de *Tenebrio molitor* anuales.

Estas inversiones representan un compromiso significativo del sector con la escalabilidad industrial.

Tabla 6 - Principales empresas productoras de proteína de insectos en Europa. BSF = *H. illucens*; TM = *T. molitor*.

Empresa	País	Especie	Capacidad (t/año)	Estado
Protix	Países Bajos	BSF	> 15.000	Operativa
Ynsect	Francia	TM	100.000 (proyectada)	En expansión
InnovaFeed	Francia	BSF	15.000	Operativa
Tebrio	España	TM	100.000 (proyectada)	En construcción
Bioflytech	España	BSF	5.000 (proyectada)	En desarrollo
Hexafly	Irlanda	BSF	3.000 – 5.000	Operativa
Nasekomo	Bulgaria	BSF	5.000 – 10.000	Operativa
MadeBymade	Alemania	BSF	3.000 – 5.000	Operativa

6.3. Análisis de costes de producción.

Los costes de producción de la harina de insectos son actualmente uno de los factores más determinantes para la competitividad del sector y su capacidad de penetración en el mercado de piensos. El análisis de costes puede desglosarse en dos componentes principales: inversión inicial (CAPEX) y costes operativos (OPEX).

- **CAPEX (inversión inicial):** la construcción de una planta industrial de producción de insectos requiere inversiones significativas. Se estima que el CAPEX para una planta de capacidad media (5.000-10.000 t/año de producto final) se sitúa entre 20 y 50 millones de euros, dependiendo del nivel de automatización, la ubicación y las tecnologías empleadas.

Para plantas de gran escala (> 50.000 t/año), las inversiones pueden superar los 100-200 millones de euros. Estos elevados requisitos de capital constituyen una barrera de entrada significativa para nuevos operadores.

- **OPEX (costes operativos):** los principales componentes del OPEX incluyen: sustrato/alimentación (20-35% del coste total), energía (20-30%, principalmente para climatización y secado), mano de obra (15-25%), mantenimiento y consumibles (5-10%), y control de calidad y cumplimiento normativo (5-8%). La energía representa una partida especialmente significativa, ya que los procesos de climatización de las naves de cría y el secado de la biomasa son intensivos en energía.
- **Coste por kg de proteína:** el coste actual de producción de harina de insectos se estima entre 2,5 y 5,0 EUR/kg de producto (dependiendo de la escala y la tecnología), lo que equivale a aproximadamente 4,0-8,0 EUR/kg de proteína pura.

En comparación, la harina de pescado se sitúa en 1,5-2,5 EUR/kg de proteína y la harina de soja en 0,8-1,2 EUR/kg de proteína. Esta brecha de costes es el principal desafío económico del sector, aunque se proyecta una reducción significativa mediante economías de escala, automatización y optimización de procesos.

6.4. Barreras tecnológicas y cuellos de botella.

A pesar de los avances significativos, el sector enfrenta varias barreras tecnológicas que limitan su capacidad de producción y competitividad. Los principales cuellos de botella identificados incluyen:

- **Escalabilidad de la cría:** el paso de producción piloto a escala industrial plantea desafíos en el mantenimiento de condiciones ambientales homogéneas, la prevención de enfermedades y la gestión de grandes volúmenes de sustrato y biomasa.
- **Eficiencia energética:** los procesos de climatización y secado representan los mayores consumos energéticos, y su optimización es clave para la reducción de costes y la mejora del perfil ambiental.
- **Variabilidad del producto:** la composición nutricional de la harina de insectos varía en función del sustrato, las condiciones de cría y el procesamiento, lo que dificulta la estandarización necesaria para su uso industrial a gran escala.
- **Disponibilidad y estabilidad de sustratos:** la dependencia de subproductos orgánicos como sustrato implica desafíos de disponibilidad estacional, variabilidad en composición y logística de aprovisionamiento.
- **Automatización de procesos:** aunque se han logrado avances significativos, la automatización completa de todos los procesos productivos (especialmente la manipulación de reproductores y la gestión de la oviposición) sigue siendo un reto técnico.

6.5. Nivel de Madurez Tecnológica (TRL).

El nivel de madurez tecnológica (TRL, Technology Readiness Level) del sector de producción de insectos para piensos varía según el aspecto considerado. La cría y procesamiento básico de las especies principales (BSF y TM) se encuentran en TRL 8-9, con tecnologías validadas y desplegadas en entornos industriales operativos. La automatización avanzada y los sistemas de IA para gestión de producción se sitúan en TRL 6-7, con prototipos demostrados y en fase de validación industrial.

Las tecnologías de biorrefinería para la valorización integral de la biomasa (extracción de quitosano, producción de bioplásticos) se encuentran en TRL 4-6, con conceptos validados en laboratorio y pilotos en desarrollo. La mejora genética mediante herramientas avanzadas (CRISPR, selección genómica) está en TRL 3-5, con investigación activa pero aún lejos de la aplicación comercial.

6.6. Escalabilidad: de piloto a industrial.

La transición de plantas piloto a instalaciones de producción industrial es uno de los desafíos críticos del sector. Las principales lecciones aprendidas de las empresas que han completado este proceso incluyen: la necesidad de un diseño modular que permita ampliaciones incrementales; la importancia de la simbiosis industrial (ubicación junto a fuentes de sustratos o consumidores de calor residual); la inversión temprana en automatización como factor clave de competitividad; y la necesidad de programas de mejora genética para optimizar las líneas de producción.

Las proyecciones del sector indican que para 2030-2035, la capacidad de producción global de proteína de insectos podría alcanzar las 500.000-1.000.000 de toneladas anuales, lo que representaría entre el 1% y el 2% del mercado global de proteínas para piensos. Aunque esta cuota pueda parecer modesta, su impacto sería significativo en segmentos específicos como la acuicultura premium y la alimentación de mascotas.



7. ANÁLISIS DE SOSTENIBILIDAD Y HUELLA AMBIENTAL.

7.1 Análisis de Ciclo de Vida (LCA).

El Análisis de Ciclo de Vida (LCA, Life Cycle Assessment) es la metodología estándar para evaluar el impacto ambiental integral de un producto o proceso, considerando todas las etapas desde la obtención de materias primas hasta la gestión de residuos. Los LCA realizados sobre la producción de harina de insectos proporcionan una imagen detallada de sus ventajas y desafíos ambientales en comparación con las fuentes proteicas convencionales.

Los principales indicadores ambientales evaluados en los LCA de producción de insectos incluyen: potencial de calentamiento global (GWP, en kg CO₂eq), uso de tierra (m²/kg de proteína), uso de agua (L/kg de proteína), eutrofización (kg PO₄eq), acidificación (kg SO₂eq) y agotamiento de recursos abióticos.

Un estudio comparativo de referencia realizado en el Reino Unido encontró que, bajo las condiciones de producción actuales, la huella de carbono de la harina de BSF es significativamente mayor que la de la harina de soja y la harina de pescado cuando se expresa por kg de proteína. Esta elevada huella se debe principalmente al alto consumo energético en climatización y secado. Sin embargo, el mismo estudio identifica un potencial de mitigación sustancial cuando los insectos se crían en subproductos o residuos alimentarios y cuando se utilizan fuentes de energía renovables.

7.2 Huella de carbono comparativa.

La huella de carbono de la producción de proteína de insectos varía enormemente según las condiciones de producción. Los factores más determinantes son: la fuente de energía utilizada (renovable vs. fósil), el tipo de sustrato (pienso convencional vs. residuos), la escala de producción y la eficiencia del proceso de secado.

En condiciones actuales de producción en Europa, la huella de carbono de la harina de BSF se estima entre 3 y 15 kg CO₂eq/kg de proteína, un rango muy amplio que refleja la heterogeneidad de las condiciones de producción. En comparación, la harina de soja presenta una huella de 1-3 kg CO₂eq/kg de proteína y la harina de pescado de 2-5 kg CO₂eq/kg de proteína.

El escenario de producción óptimo — insectos criados en residuos orgánicos, energía 100% renovable, procesos de secado eficientes y valorización del frass como biofertilizante — podría reducir la huella de carbono hasta 1-2 kg CO₂eq/kg de proteína, haciendo a la harina de insectos ambientalmente competitiva o superior a las fuentes convencionales.

7.3 Uso de agua y tierra.

La eficiencia en el uso de agua y tierra es una de las ventajas más consistentes de la producción de insectos. Los insectos requieren una fracción del agua necesaria para la producción de proteínas convencionales. Para producir 1 kg de proteína comestible, *Tenebrio molitor* requiere aproximadamente 25 litros de agua, en comparación con 1.498 litros para pollo, 2.819 litros para cerdo y 9.678 litros para vacuno. La huella hídrica por tonelada comestible de gusanos de la harina es 3,5 veces menor que la de la carne de vacuno.

En cuanto al uso de tierra, la cría vertical de insectos permite producir entre 10 y 100 veces más proteína por hectárea que la ganadería convencional o el cultivo de soja. Una planta de producción de insectos de 5.000 m² de superficie puede producir más proteína que 100 hectáreas de cultivo de soja,

lo que convierte a la producción de insectos en una opción estratégica para regiones con limitaciones de tierra agrícola.

7.4. Contribución a la economía circular y valorización de residuos.

La integración de la producción de insectos en modelos de economía circular es uno de los argumentos más sólidos para la sostenibilidad del sector.

La capacidad de las larvas de BSF y TM para bioconvertir residuos orgánicos de bajo valor en proteínas de alta calidad cierra ciclos de nutrientes que de otro modo se perderían en vertederos.

Los flujos de residuos potencialmente utilizables como sustratos para insectos incluyen: subproductos de la industria alimentaria (bagazo de cervecera, orujo de uva, pulpa de fruta), descartes de la cadena de distribución (frutas y verduras no comercializables), subproductos agrícolas (paja, rastrojos, cascarilla) y restos de procesamiento de cereales y oleaginosas. Al desviar estos materiales de los vertederos, se previene la emisión de metano derivada de su descomposición anaeróbica.

Adicionalmente, el frass (excrementos de los insectos) constituye un biofertilizante orgánico de alta calidad, rico en nitrógeno, fósforo, potasio y quitina. Su aplicación agrícola mejora la estructura y la fertilidad del suelo, y la quitina contenida puede estimular las defensas naturales de las plantas, reduciendo la necesidad de fitosanitarios químicos.

Este coproducto añade una dimensión adicional de valor al modelo de negocio y refuerza la circularidad del sistema.

Tabla 7 - Comparación de indicadores ambientales entre harina de insectos y fuentes convencionales. GWP = Potencial de calentamiento global.

Indicador ambiental	Harina de BSF	Harina de soja	Harina de pescado	Potencial optimizado BSF
GWP (kg CO ₂ eq/kg prot.)	3 – 15	1 – 3	2 – 5	1 – 2
Uso de tierra (m ² /kg prot.)	1 – 5	10 – 20	5 – 10	0,5 – 2
Uso de agua (L/kg prot.)	25 – 50	500 – 2.000	300 – 1.000	15 – 30
Eutrofización (g PO ₄ eq/kg)	5 – 20	10 – 30	15 – 40	3 – 10
Valorización residuos	Sí (sustrato)	No	No	Sí (máx.)
Coproductos	Aceite + frass	Cascarilla	Aceite de pescado	Aceite+frass+quitosano



8. ANÁLISIS ECONÓMICO Y DE MERCADO.

8.1 Tamaño actual del mercado global y europeo.

El mercado global de proteína de insectos para alimentación animal se encuentra en una fase de expansión acelerada. Según los informes más recientes de consultoras especializadas, el mercado se valoró en aproximadamente 2.785 millones de dólares en 2024, con una participación europea estimada del 30-35% del total global.

Europa se destaca como el mercado más maduro y regulado, con un ecosistema de empresas productoras, investigación académica y marco regulatorio que le confieren una posición de liderazgo global. Los principales mercados europeos para la proteína de insectos en piensos son: acuicultura (especialmente en Noruega, Escocia, Grecia y España), alimentación de mascotas (con fuerte demanda en Alemania, Francia, Reino Unido y Países Bajos), y avicultura y porcicultura (mercado emergente con alto potencial de crecimiento).

Asia-Pacífico emerge como el mercado de más rápido crecimiento, beneficiándose de una tradición cultural de uso de insectos en alimentación animal, una industria acuícola en expansión y costes de producción relativamente más bajos. China, Japón, Corea del Sur y los países del Sudeste Asiático están realizando inversiones significativas en capacidad de producción.

8.2. Proyecciones de crecimiento 2025-2035.

Las proyecciones de mercado son consistentemente optimistas. El mercado general de piensos para insectos se prevé que crezca a una TCAC del 13,96% entre 2024 y 2035, pasando de 1.643 millones de dólares a 6.918 millones. El segmento específico de proteína de insectos para alimentación animal proyecta una TCAC del 15,02%, expandiéndose de 2.785 millones de dólares en 2024 a 12.980 millones para 2035.

Otras estimaciones son aún más optimistas para el corto plazo, sugiriendo que la industria global de cría de insectos podría alcanzar los 8.000 millones de dólares en 2030, con una TCAC del 27,8%. El mercado de equipos de procesamiento de proteínas de insectos, indicador de la inversión en capacidad productiva, se espera que crezca a una TCAC del 31,1% hasta 2034.

Los principales catalizadores de este crecimiento incluyen: la progresiva reducción de costes mediante economías de escala; la ampliación del marco regulatorio a nuevos mercados y nuevas especies autorizadas; el aumento de la demanda de piensos sostenibles impulsada por criterios ESG; y la innovación continua en productos y aplicaciones.

8.3. Segmentación por aplicación.

El mercado de proteína de insectos para alimentación animal se segmenta en cuatro categorías principales de aplicación, cada una con dinámicas de crecimiento y márgenes diferenciados.

- **Acuicultura:** representa actualmente la mayor aplicación, con una participación estimada del 40-50% del mercado total. La necesidad de reemplazar la harina de pescado insostenible y el elevado valor de los piensos acuícolas hacen de este segmento el más natural para la proteína de insectos. Las especies objetivo principales son salmón, trucha, dorada, lubina y camarón.
- **Alimentación de mascotas:** segundo segmento en importancia (25-30% del mercado), se caracteriza por los mayores márgenes de beneficio y la mayor disposición al pago premium.

Los atributos de sostenibilidad, hipoalergenicidad y novedad de la proteína de insectos resuenan fuertemente con los propietarios de mascotas de alto poder adquisitivo.

- **Avicultura:** segmento en rápido crecimiento (15-20%), impulsado por la reciente autorización regulatoria en la UE y por la necesidad de alternativas a la soja importada. La alta eficiencia de las aves en la utilización de proteínas de insectos favorece la adopción.
- **Porcicultura:** segmento más incipiente (5-10%), con un potencial de crecimiento significativo a medida que se acumulen más datos de eficacia y los precios se vuelvan más competitivos.

8.4. Precios y competitividad.

Tabla 8 - Comparación de precios de fuentes proteicas para piensos y proyecciones para harina de insectos.

Fuente proteica	Precio (USD/t)	Proteína (%)	Coste por kg proteína (USD)
Harina de soja	400 – 500	44 – 48	0,8 – 1,1
Harina de pescado	1.400 – 1.800	60 – 72	2,0 – 3,0
Harina de BSF (entera)	3.500 – 6.000	35 – 50	7,0 – 17,0
Harina de BSF (desgrasada)	4.000 – 7.000	55 – 70	5,7 – 12,7
Harina de TM	4.000 – 6.500	50 – 68	5,9 – 13,0
Proyección insectos 2030	1.500 – 2.500	55 – 70	2,1 – 4,5

La Tabla evidencia la brecha de precios actual entre la harina de insectos y las fuentes convencionales. Sin embargo, las proyecciones para 2030 sugieren una convergencia significativa, especialmente con respecto a la harina de pescado. Los factores que impulsarán esta reducción de costes incluyen: economías de escala, automatización avanzada, reducción de costes energéticos (energías renovables), optimización de sustratos (uso de residuos de bajo coste) y mejora genética de las líneas de producción.

8.5. Cadena de valor y barreras de mercado.

La cadena de valor de la proteína de insectos para piensos comprende: proveedores de sustratos y equipamiento → productores de insectos (cría y procesamiento) → fabricantes de piensos (formulación e incorporación) → productores ganaderos/acuícolas → distribución y consumidor final. En cada eslabón existen oportunidades de creación de valor y barreras potenciales.

Las principales barreras de mercado identificadas incluyen: el diferencial de precios respecto a las fuentes convencionales; la percepción del consumidor y el "factor asco" (yuck factor); la limitada disponibilidad actual de grandes volúmenes estandarizados; la necesidad de adaptar las formulaciones de piensos existentes; y la competencia creciente con otras fuentes de proteínas alternativas (microalgas, levaduras, proteínas unicelulares, cultivo celular).

Pese a estas barreras, la percepción del consumidor está evolucionando favorablemente. Encuestas recientes muestran que la disposición a aceptar productos de origen animal criados con piensos de insectos es significativamente mayor que la disposición a consumir insectos directamente, especialmente cuando se comunican los beneficios ambientales y se enfatiza que el insecto se utiliza como ingrediente del pienso y no como alimento directo.



9. PERSPECTIVAS DE FUTURO E INNOVACIONES EMERGENTES.

9.1 Tendencias tecnológicas.

9.1.1 Mejora genética de insectos.

La mejora genética de las poblaciones de insectos destinadas a producción industrial se encuentra en una fase temprana pero prometedora. A diferencia de las especies ganaderas convencionales, que han sido sometidas a siglos de selección artificial, los insectos de producción se encuentran prácticamente en estado silvestre, lo que implica un enorme potencial de mejora.

Las herramientas de genómica y edición genética como CRISPR-Cas9 permiten identificar y modificar genes asociados a rasgos productivos deseables: velocidad de crecimiento, contenido proteico, eficiencia de conversión alimenticia, resistencia a enfermedades y adaptabilidad a condiciones ambientales específicas. La selección asistida por marcadores moleculares (MAS) permite acelerar los programas de mejora genética, reduciendo el tiempo necesario para obtener líneas de producción optimizadas.

Se estima que programas de mejora genética estructurados podrían incrementar la productividad de las líneas de producción entre un 20% y un 50% en los próximos 10-15 años, contribuyendo significativamente a la reducción de costes y la estandarización de la calidad del producto.

9.1.2. Automatización avanzada e Inteligencia Artificial.

La automatización avanzada y la Inteligencia Artificial están transformando la cría de insectos de una actividad de base manual a una industria de alta tecnología. Los sistemas de IoT recopilan datos en tiempo real de cada fase del ciclo productivo, mientras que algoritmos de IA proporcionan análisis predictivos sobre crecimiento, comportamiento y supervivencia de las poblaciones.

Las aplicaciones más avanzadas incluyen: visión artificial para la evaluación del estado de salud y desarrollo de las colonias; modelos predictivos para la optimización de las condiciones de cría en tiempo real; sistemas robóticos para la alimentación, cribado y cosecha automatizada; gemelos digitales (digital twins) de las instalaciones de producción para la planificación y optimización; y blockchain para la trazabilidad completa de la cadena de producción.

Estas tecnologías permiten aumentar la productividad por trabajador, reducir los errores operativos, mejorar la consistencia del producto y reducir los costes operativos. Las empresas que lideren la adopción de estas tecnologías contarán con una ventaja competitiva significativa en un mercado cada vez más exigente.

9.1.3. Biorrefinerías de insectos.

El concepto de biorrefinería de insectos representa la evolución del modelo de negocio desde la producción de un único producto (harina de proteína) hacia la valorización integral de toda la biomasa. Los principales flujos de productos de una biorrefinería de insectos incluyen:

- **Harina de proteína:** producto principal para piensos y potencialmente para alimentación humana. Representa el 35-50% del valor total.
- **Aceite/grasa de insectos:** con aplicaciones en alimentación animal, producción de biodiesel, oleoquímica y cosmética. Representa el 15-25% del valor total.
- **Quitina y quitosano:** biopolímeros de alto valor con aplicaciones en plásticos biodegradables, tratamiento de aguas, cosméticos, farmacéutica y agricultura. Potencial de alto valor añadido.
- **Frass (biofertilizante):** fertilizante orgánico rico en nutrientes y quitina, con aplicaciones en agricultura sostenible. Representa el 5-10% del valor total.



- **Péptidos bioactivos:** aislados por hidrólisis enzimática, con aplicaciones en nutracéutica y farmacéutica. Mercado emergente de muy alto valor.

Este enfoque multidimensional maximiza la rentabilidad del proceso y diversifica las fuentes de ingresos, reduciendo la dependencia de un único mercado y mejorando la resiliencia económica del negocio.

9.2. Nuevas especies en evaluación.

La investigación se está expandiendo para evaluar el potencial de especies adicionales más allá de BSF y TM.

Las especies bajo evaluación más activa incluyen el súper gusano (*Zophobas morio*), con un perfil proteico muy elevado; diversas especies de grillos tropicales, cuyo canto indica condiciones óptimas de cría; y larvas de *Lucilia sericata*, exploradas por su capacidad para enriquecer las dietas acuícolas con ácido araquidónico (ARA).

La diversificación de especies responde a varias motivaciones: optimizar perfiles nutricionales para aplicaciones específicas, ampliar la gama de sustratos utilizables, reducir la dependencia de una o dos especies y explorar compuestos bioactivos diferenciados.

La EFSA continúa evaluando solicitudes para nuevas especies, y cada nueva aprobación regulatoria ampliará las opciones para la industria.

9.3. Marco político y de apoyo.

9.3.1. Estrategia "De la Granja a la Mesa" (Farm to Fork).

La estrategia Farm to Fork (F2F), adoptada en 2020 como componente central del Pacto Verde Europeo, establece objetivos ambiciosos que favorecen directa e indirectamente el desarrollo de la proteína de insectos. Los objetivos clave de la F2F incluyen la reducción del 50% en el uso de pesticidas químicos, la disminución del 50% en las pérdidas de nutrientes, la reducción del 20% en fertilizantes sintéticos y el recorte del 50% en la venta de antibióticos para ganadería y acuicultura para 2030.

Estas restricciones a las prácticas convencionales crean una demanda estructural de nuevas fuentes de proteínas sostenibles y de ingredientes funcionales que puedan reducir el uso de antibióticos (como la harina de insectos con sus péptidos antimicrobianos y ácido láurico). El Parlamento Europeo ha aprobado explícitamente el uso de insectos como fuente alternativa de proteínas, reconociendo su potencial para diversificar las fuentes proteicas y reducir la dependencia de la UE de las importaciones de soja.

9.3.2. Pacto Verde Europeo (European Green Deal).

El Pacto Verde Europeo proporciona el marco estratégico más amplio para la transición hacia una economía sostenible y climáticamente neutra en la UE. En el ámbito agroalimentario, el Pacto Verde promueve la diversificación de las fuentes de proteínas, la reducción de la dependencia de importaciones, la transición hacia prácticas agrícolas más sostenibles y la promoción de la economía circular.

La Taxonomía de la UE, que clasifica las actividades económicas según su contribución a los objetivos climáticos y ambientales, reconoce la cría de insectos como una actividad ambientalmente sostenible, lo que facilita el acceso a financiación verde y bonos sostenibles. Este reconocimiento es particularmente relevante para atraer inversión institucional al sector.



9.3.3. Programas de financiación.

La UE destina fondos significativos a la investigación e innovación en proteínas alternativas a través de programas como Horizon Europe, que ha financiado múltiples proyectos de investigación sobre cría de insectos, procesamiento y aplicaciones en piensos. Los fondos de cohesión regional y los programas nacionales de I+D+i también contribuyen a financiar infraestructuras de producción y centros de investigación especializados.

En España, el PERTE Agroalimentario AccelerEAT, dentro del cual se enmarca el presente proyecto PP13, es un ejemplo paradigmático del apoyo público al desarrollo de proteínas alternativas. Estos programas de financiación pública complementan la inversión privada y contribuyen a reducir el riesgo percibido por los inversores, acelerando la maduración del sector.

9.4. Aceptación del mercado y comunicación.

La aceptación del mercado es un factor determinante para el éxito comercial de la proteína de insectos. Si bien los productores y fabricantes de piensos están generalmente receptivos, la percepción del consumidor final presenta desafíos específicos, especialmente en los mercados europeos occidentales.

Encuestas realizadas en Norteamérica indican que hasta un 65% de los consumidores se mostrarían reacios a comprar carne de animales criados con piensos de insectos.

En Europa, la disposición a consumir insectos directamente sigue siendo baja (10% en 2020), aunque la aceptación de productos animales alimentados con insectos es significativamente mayor (40-60%).

Las estrategias de comunicación más efectivas incluyen: enfatizar los beneficios ambientales y de sostenibilidad; comunicar los rigurosos procesos de seguridad alimentaria; utilizar el procesamiento en forma de harina o polvo para eliminar la barrera visual; posicionar la proteína de insectos como ingrediente premium innovador; y aprovechar canales como la gastronomía de autor y los festivales culinarios para normalizar el concepto.

9.5. Integración en economía circular.

La integración plena de la producción de insectos en modelos de economía circular representa una de las perspectivas más prometedoras para el sector. Empresas innovadoras están demostrando la viabilidad de modelos circulares integrados. Tebrio en España está construyendo una de las mayores granjas de insectos del mundo, con un modelo de negocio basado en la valorización integral de toda la biomasa (proteína, aceite, quitosano y biofertilizante). El proyecto Insect Revolution desarrolla granjas urbanas para procesar residuos orgánicos comunitarios.

Estos modelos demuestran que la producción de insectos no es solo una fuente de proteína, sino una plataforma tecnológica de bioconversión que puede integrarse en los ciclos urbanos y agroindustriales, creando valor a partir de residuos y contribuyendo a reducir la huella ambiental del sistema alimentario.

9.6. Inversiones y financiación del sector.

El panorama de inversión en el sector refleja la confianza del mercado en su potencial. El capital de riesgo ha sido el catalizador inicial, financiando a startups para el desarrollo tecnológico y el escalado.



Rondas de inversión destacadas incluyen los más de 160 millones de dólares recaudados por Ynsect, la inversión de 16 millones de euros de Moira Capital Partners en Bioflytech (España), y las inversiones estratégicas de grandes corporaciones alimentarias como CapsaFood en Entomo Agroindustrial.

La actividad de fusiones y adquisiciones está cobrando impulso, indicando consolidación sectorial. La adquisición de Protifarm por Ynsect ejemplifica cómo los líderes buscan expandir sus capacidades y mercados.

Se prevé que esta tendencia se intensifique en los próximos 3-5 años, a medida que los actores industriales más grandes busquen posicionarse en el mercado.

Se proyecta que el mercado de insectos para alimentación animal podría alcanzar los 5.600 millones de dólares en 2031, con algunas estimaciones que sitúan el mercado global de proteína de insectos (incluyendo alimentación humana y otras aplicaciones) en más de 12.000 millones de dólares para 2035.

10. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

10.1. Síntesis de hallazgos principales.

El análisis exhaustivo realizado en el presente Entregable 4 permite extraer las siguientes conclusiones fundamentales sobre el estado actual y el potencial de los productos derivados de insectos en la formulación de piensos:

Desde el punto de vista nutricional, las harinas de insectos — particularmente de *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor* — ofrecen perfiles proteicos y de aminoácidos de alta calidad, competitivos con la harina de pescado y superiores a la harina de soja en varios aminoácidos esenciales. Además, aportan compuestos bioactivos diferenciadores (péptidos antimicrobianos, ácido láurico, quitina con propiedades prebióticas) que les confieren valor funcional más allá de la nutrición básica.

Los ensayos de eficacia en las principales especies de producción demuestran que la harina de insectos puede sustituir eficazmente entre el 25% y el 100% de las fuentes proteicas convencionales (dependiendo de la especie y el nivel de inclusión), manteniendo o incluso mejorando los rendimientos productivos (FCR, ganancia de peso, producción de huevos) y aportando beneficios adicionales en salud intestinal, modulación de microbiota y función inmunológica.

El marco regulatorio europeo proporciona una base sólida para el desarrollo del sector, con ocho especies autorizadas y uso permitido en acuicultura, avicultura y porcicultura. Las sucesivas ampliaciones regulatorias demuestran la voluntad política de apoyar el desarrollo del sector, siempre dentro de un marco de seguridad estricto.

La capacidad de industrialización ha avanzado significativamente, con empresas que ya operan a escala industrial (Protix, InnovaFeed) y mega-proyectos en desarrollo (Ynsect, Tebrio). El TRL del sector oscila entre 6 y 9, dependiendo del aspecto tecnológico considerado, lo que indica que las tecnologías fundamentales están maduras o próximas a la madurez comercial.

No obstante, el coste de producción sigue siendo el principal obstáculo para la adopción generalizada, con precios 3-5 veces superiores a los de la harina de soja y 2-3 veces superiores a los de la harina de pescado. Las proyecciones indican una convergencia significativa para 2030-2035, impulsada por economías de escala, automatización y optimización de procesos.

10.2. Análisis DAFO del sector.

Tabla 9 - Análisis DAFO del sector de proteína de insectos para piensos.

Dimensión	Factores identificados
FORTALEZAS	Alto valor nutricional y funcional; Compuestos bioactivos únicos; Eficiencia en uso de recursos (agua, tierra); Integración en economía circular; Marco regulatorio europeo favorable; Perfil de sostenibilidad superior; Versatilidad de aplicaciones
OPORTUNIDADES	Crecimiento exponencial del mercado (TCAC 15%); Apoyo político (Green Deal, F2F); Demanda creciente de piensos sostenibles; Innovación tecnológica (IA, genética); Nuevas especies y aplicaciones; Financiación verde y ESG; Desarrollo de biorrefinerías
DEBILIDADES	Coste de producción elevado; Variabilidad nutricional; Dependencia de sustratos; Alto CAPEX; Limitada estandarización; Contenido de quitina como factor antinutricional; Escala de producción aún insuficiente

AMENAZAS	Competencia de otras proteínas alternativas; Percepción negativa del consumidor; Riesgos de bioseguridad; Volatilidad de sustratos; Posibles cambios regulatorios; Dependencia energética; Consolidación que limite innovación
-----------------	--

10.3. Recomendaciones para el sector.

Basándose en el análisis realizado, se formulan las siguientes recomendaciones estratégicas para el avance del sector de la proteína de insectos en el ámbito europeo:

Priorizar la reducción de costes: Acelerar la inversión en automatización, eficiencia energética y optimización de procesos como palancas principales para la reducción de costes de producción.

Invertir en mejora genética: Desarrollar programas estructurados de selección genética y explorar herramientas de edición genética para mejorar la productividad de las líneas de producción.

Impulsar la estandarización: Desarrollar estándares de calidad y especificaciones técnicas que faciliten la integración de la harina de insectos en las cadenas de formulación de piensos existentes.

Fomentar la investigación en formulación: Profundizar en la investigación sobre niveles óptimos de inclusión, interacciones con otros ingredientes y estrategias para mitigar los efectos antinutricionales de la quitina.

Desarrollar modelos de biorrefinería: Maximizar la valorización integral de la biomasa mediante el desarrollo de procesos de extracción de quitosano, péptidos bioactivos y otros productos de alto valor.

Fortalecer la comunicación al consumidor: Implementar estrategias de comunicación basadas en evidencia científica que destaquen los beneficios ambientales y de seguridad del uso de insectos en la cadena alimentaria.

Promover la simbiosis industrial: Fomentar la ubicación de plantas de producción junto a fuentes de sustratos y consumidores de energía residual para optimizar la circularidad y reducir costes logísticos.

10.4. Recomendaciones para el proyecto PP13.

En el contexto específico del proyecto PP13 del PERTE AccelerEAT, se formulan las siguientes recomendaciones:

- Focalizar los ensayos de formulación en las especies y niveles de inclusión con mayor potencial de adopción a corto plazo: acuicultura (sustitución del 25-50% de harina de pescado) y avicultura (inclusión del 5-10% como sustituto de soja).
- Evaluar las oportunidades de colaboración con productores nacionales de insectos (Tebrio, Bioflytech/Entomo Agroindustrial) para el suministro de materia prima y la realización de ensayos conjuntos.
- Desarrollar formulaciones optimizadas que maximicen los beneficios funcionales (salud intestinal, reducción de antibióticos) como argumento comercial diferenciador frente a las fuentes convencionales.
- Incluir un componente de análisis sensorial y de aceptación del consumidor en los ensayos con productos finales (carne, huevos, pescado) para generar datos que apoyen la comercialización.



- Realizar un análisis de ciclo de vida específico para las formulaciones desarrolladas en el proyecto, cuantificando la reducción de impacto ambiental respecto a los piensos convencionales.
- Explorar la viabilidad de un modelo de simbiosis industrial en el contexto del PERTE, vinculando la producción de insectos con la valorización de subproductos de la industria agroalimentaria española.



11. BIBLIOGRAFÍA.

- [1] Commission Regulation (EU) 2017/893 of 24 May 2017 amending Annexes I and IV to Regulation (EC) No 999/2001 and Annexes X, XIV and XV to Commission Regulation (EU) No 142/2011 as regards the provisions on processed animal protein. EUR-Lex. Disponible en: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=CELEX:32017R0893>
- [2] EFSA Panel on Biological Hazards (BIOHAZ). Scientific Opinion on a risk profile related to production and consumption of insects as food and feed. EFSA Journal, 2015. Disponible en: <https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.2903/j.efsa.2019.e170907>
- [3] Nutritional Value of Mealworm, *Tenebrio molitor* as Food Source. ResearchGate, 2015. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/273554191>
- [4] *Tenebrio molitor* larvae as a promising alternative protein source for human nutrition: unraveling the impact of five different diets on their nutritional profile. Scientific Reports, 2025. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-025-98254-y>
- [5] A systematic review on the effect of *Tenebrio molitor* as a feed ingredient on the growth and nutritional properties of aquaculture species. ScienceDirect, 2024. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666833524000947>
- [6] Black soldier fly, *Hermetia illucens* as a potential source of proteins in poultry nutrition. Frontiers in Veterinary Science, 2023. Disponible en: <https://www.frontiersin.org/journals/veterinary-science/articles/10.3389/fvets.2023.1200031/full>
- [7] Insect meal vs soy- and fishmeal for animal feed - a comparison. Feed and Additive Magazine. Disponible en: <https://www.feedandadditive.com/insect-meals-in-animal-feeds/>
- [8] Insects as a Potential Source of Chitin in the Diets of Broiler Chickens: A Review. Poultry Science, 2022. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34991217/>
- [9] Rearing *Tenebrio molitor* on industrial by-products: choice of substrate and nutrient composition of larvae. Scientific Reports, 2020. Disponible en: <https://www.nature.com/articles/s41598-020-67363-1>
- [10] Black Soldier fly larvae (*Hermetia illucens*) as a promising protein source for aquaculture feed. SpringerLink, 2025. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10695-025-01485-z>
- [11] Effects of insect meals on fish: a meta-analysis. Reviews in Aquaculture, 2023. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10425148/>
- [12] Safety of process for producing lactic acid fermented protein product. EFSA Journal. Disponible en: <https://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/pub/4579>
- [13] Suitability of Mealworm (*Tenebrio molitor* L.) as an Alternative Protein Source for Animal Feed: A Review. Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8831830/>
- [14] Concept Paper on the use of insects as farmed animals for the production of PAP. European Commission, 2017. Disponible en: https://food.ec.europa.eu/document/download/6479a80a-92f3-42b2-b8a9-1dd63a9baf50_en
- [15] The Use of Insects as Food Ingredients. Food Safety Magazine. Disponible en: <https://www.food-safety.com/articles/6317>



- [16] IPIFF - Insects EU legislation general. Disponible en: <https://ipiff.org/insects-eu-legislation-general/>
- [17] Insects for Food and Feed - Safety Aspects Related to Mycotoxins and Metals. ResearchGate, 2019. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/334717661>
- [18] Study compares environmental impact of insect protein vs soy and fishmeal. All About Feed, 2025. Disponible en: <https://www.allaboutfeed.net/all-about/new-proteins/study-compares-environmental-impact-of-insect-protein-vs-soy-and-fishmeal/>
- [19] Insects are a potential source of protein in animal feeds: a review. Food and Energy Security, 2024. Disponible en: <https://iadns.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/fft2.70092>
- [20] Safety of insect-based products for human consumption and animal feed. Food Control, 2021. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0956713521004746>
- [21] Nutritional Properties of Tenebrio molitor Larvae according to their Diet. Insects, 2024. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2075-4450/15/8/619>
- [22] The suitability of insects as feed for farmed fish - a meta-analysis. SpringerLink, 2025. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12595-025-00568-2>
- [23] Growth performance of Atlantic salmon fed diets where fish meal was replaced with insect meal. Aquaculture Nutrition, 2015. Disponible en: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1111/anu.12343>
- [24] Insect meals as protein sources for poultry diets: nutritional, technological and safety aspects. Agriculture, 2023. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2077-0472/13/6/1239>
- [25] Replacement of fish meal with insect meals in the diet of Atlantic salmon: Effects on growth and gut health. Food Additives & Contaminants, 2019. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/19440049.2019.1619938>
- [26] Nutritional value of insect-based diets for Atlantic salmon. Aquaculture, 2018. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0044848617322998>
- [27] The role of insects as alternative protein sources for pig and poultry: An EU perspective. Animal, 2025. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1751731125000515>
- [28] Heavy Metal Accumulation in Edible Insects: A Review. PMC, 2019. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6926516/>
- [29] Insect-based feed, a promising and sustainable protein source for aquaculture - a review. PMC, 2022. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9502457/>
- [30] Regulation (EU) 2021/1925 extends the list of authorised insect species. PMC, 2022. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9147295/>
- [31] Potential of Tenebrio Molitor Larvae Flour. PMC, 2022. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9323919/>
- [32] Safety of dried insects from Hermetia illucens, Musca domestica and Tenebrio molitor for the feeding of monogastric animals. EFSA Journal, 2021. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33350154/>
- [33] Nutritional Composition and Healthy Potential of Tenebrio molitor Larvae. PMC, 2022. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC8880436/>



- [34] Safety aspects of insects intended for food and feed. PMC, 2019. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC6724024/>
- [35] Insectos: la nueva industria millonaria que transformará la alimentación mundial. La Razón, 2025. Disponible en: <https://www.larazon.es/economia/insectos-nueva-industria-millonaria>
- [36] Mercado de proteínas de insectos: tamaño, participación y análisis. Mordor Intelligence. Disponible en: <https://www.mordorintelligence.ar/industry-reports/global-insect-protein-market>
- [37] Gusano de la harina: la fuente proteica más sostenible para la alimentación animal. Iberinsect. Disponible en: <https://iberinsect.com/gusano-de-la-harina-la-fuente-proteica-mas-sostenible/>
- [38] Farm to Fork Strategy. European Commission - Food Safety. Disponible en: https://food.ec.europa.eu/horizontal-topics/farm-fork-strategy_en
- [39] Avances y perspectivas del uso de las harinas de insectos en alimentación animal. SciELO, 2023. Disponible en: https://www.scielo.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0719-49942023000100058
- [40] Insect Feed Market Size, Share, Trends, Forecast Report 2035. Market Research Future. Disponible en: <https://www.marketresearchfuture.com/es/reports/insect-feed-market-32945>
- [41] Tamaño del mercado de proteínas de insectos en piensos para animales. Market Research Future. Disponible en: <https://www.marketresearchfuture.com/es/reports/animal-feed-insect-proteins-market-31612>
- [42] Los inversores apuestan cada vez más por la cría de insectos como negocio de futuro. Proteinsecta, 2020. Disponible en: <https://www.proteinsecta.com/en/2020/12/22/los-inversores-apuestan-cada-vez-mas/>
- [43] Insect Protein Processing Equipment Market Size, 2025-2034 Report. Global Market Insights. Disponible en: <https://www.gminsights.com/industry-analysis/insect-protein-processing-equipment-market>
- [44] Automatización y Robótica en Granjas de Insectos. Proteinsecta, 2025. Disponible en: <https://www.proteinsecta.com/en/2025/06/02/automatizacion-robotica-granjas-insectos/>
- [45] La genómica puede ayudar a los criadores de insectos. Mundo Agropecuario. Disponible en: <https://mundoagropecuario.com/la-genomica-puede-ayudar-a-los-criadores-de-insectos/>
- [46] Green Deal and Farm to Fork: A sustainable European economy. Kimitec. Disponible en: <https://kimitec.com/en/green-deal-and-farm-to-fork/>
- [47] Cómo contribuyen los insectos a la economía circular. Proteinsecta, 2025. Disponible en: <https://www.proteinsecta.com/en/2025/02/05/como-contribuyen-los-insectos-a-la-economia-circular/>
- [48] Insect Revolution: granjas urbanas de insectos. País Circular. Disponible en: <https://www.paiscircular.cl/consumo-y-produccion/insect-revolution/>
- [49] Biotecnología e insectos: Innovación y Sostenibilidad para el Futuro. InfoAnimales. Disponible en: <https://infoanimales.net/insectos/biotecnologia-e-insectos/>
- [50] Innovative Companies in Insect Biotechnology. Billionhands. Disponible en: <https://billionhands.com/es/ranking/empresas-marcas/innovative-companies-in-insect-biotechnology>



- [51] Overview: EU Farm to Fork and Green Deal Initiatives. AGRINFO Platform. Disponible en: <https://agrinfo.eu/book-of-reports/overview-eu-farm-to-fork-and-green-deal-initiatives/>
- [52] Uso de subproductos de la industria alimentaria para la cría de insectos. UPV. Disponible en: <https://pdfs.semanticscholar.org/57eb/e52bc62e3952df33335d7ea2ea7ecbd6992d.pdf>
- [53] Evaluación de harinas de insectos como fuente proteica. UMSA. Disponible en: <https://agrovet.umsa.bo/index.php/AGV/article/download/136/127>
- [54] Utilización de la harina de insectos como fuente alternativa de proteína en la alimentación de peces. Dialnet. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=111612>
- [55] Insectos comestibles y otras fuentes de proteínas alternativas: dando forma al futuro de la nutrición. TECOAL. Disponible en: <https://tecoal.net/nutricion-dietetica/insectos-comestibles-y-otras-fuentes-de-proteinas-alternativas/>
- [56] Harina de insectos en la alimentación animal. Mundo Agropecuario. Disponible en: <https://mundoagropecuario.com/harina-insectos-alimentacion-animal/>



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.

PP13: Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria.

ENT_005

ENT_5: EVALUACIÓN DE LA VIABILIDAD DE ESCALADO DE LA FABRICACIÓN DE LOS PIENSOS DESARROLLADOS CON INGREDIENTES DERIVADOS DE INSECTOS.

Entidades participantes:

PROTEINSECTA S.L., TEBRIO S.L., BIORIZON BIOTECH S.L., AGRICONSA S.A.

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.	5
1.1 Contexto del PP13 y el Marco PERTE.....	5
1.2 La problemática de los residuos agroalimentarios.....	6
1.3 La insecticultura como herramienta de economía circular.....	6
2. ESPECIES DE INSECTOS INDUSTRIALES DE REFERENCIA: BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y RELEVANCIA INDUSTRIAL.....	7
2.1 <i>Hermetia illucens</i> (Diptera: Stratiomyidae) — Mosca Soldado Negra (BSF).....	7
2.2 <i>Tenebrio molitor</i> (Coleoptera: Tenebrionidae) — Gusano de la Harina.....	8
2.3 Acheta <i>domesticus</i> y otras especies.....	9
3. INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.....	10
3.1 Subproductos de la industria hortofrutícola.....	10
3.1.1 Bagazo y pieles de frutas.....	10
3.1.2 Salvado y subproductos de cereales.....	10
3.1.3 Subproductos de la industria de la cervecera y vinicultura.....	11
3.2 Subproductos del procesado de especias y algas.....	11
3.3 Subproductos de la industria oleícola.....	11
3.4 Aguas residuales y efluentes industriales.....	12
4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SUSTRATOS: RENDIMIENTO DE BIOCONVERSIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA.....	13
4.1 Criterios de evaluación de sustratos.....	13
4.2 Rendimientos en sustratos clave.....	13
4.3 Influencia del sustrato sobre la composición de la biomasa larvaria.....	14
4.4 Pretratamientos de sustratos.....	14
5. PRODUCTOS DE VALOR OBTENIBLES A PARTIR DE LA BIOMASA DE INSECTOS Y SU APLICACIÓN EN SECTORES ALTERNATIVOS.....	16
5.1 Harina de insecto para piensos animales.....	16
5.2 Biofertilizantes y bioestimulantes a partir de frass.....	16
5.3 Extractos bioestimulantes de subproductos hortofrutícolas.....	17
5.4 Quitina, quitosano y biopolímeros de origen insectícola.....	18
5.5 Lípidos derivados de insectos y aplicaciones en bioprocesos.....	19
6. ESTRATEGIA DE FORMULACIÓN DE DIETAS PARA INSECTOS A PARTIR DE SDRS DEL CONSORCIO.....	20
6.1. Caracterización de Subproductos (SDRs) Diana.....	20



6.2 Principios generales de formulación.....	20
6.3 Propuesta de sustratos de ensayo para el PP13.....	20
6.4. Monitorización mediante Sensores NIR.....	21
7. IMPACTO AMBIENTAL Y CONTRIBUCIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR.....	22
7.1 Huella ambiental de la insecticultura sobre SDRs.....	22
7.1.1 Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI).	22
7.1.2 Eficiencia en el uso de recursos.	22
7.1.3 Gestión de desperdicios y logística circular.	22
7.2 Contribución al cambio climático.....	23
7.3 Contribución a la Sostenibilidad del Suelo.....	23
8. MARCO REGULATORIO.....	24
8.1 Regulación de sustratos permitidos para la cría de insectos en la UE.....	24
8.2 Regulación de bioestimulantes y biofertilizantes.	24
9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	25
9.1 Conclusiones técnicas.	25
9.2. Recomendaciones.	25
10. ESCALABILIDAD Y VIABILIDAD INDUSTRIAL.....	27
10.1 Nivel de madurez tecnológica (TRL).....	27
10.2. Parámetros críticos de escalado.	27
11. CONCLUSIONES TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES.....	28
11.1 Conclusiones.	28
11.2 Recomendaciones.....	28
11.3 Implicaciones para el futuro de la bioeconomía circular.....	29
12. BIBLIOGRAFÍA.....	30



ÍNDICE DE TABLAS.

Tabla 1 - Ciclo de vida - fases y características clave.	7
Tabla 2 - Condiciones óptimas de cría.	7
Tabla 3 - Sustratos relevantes para el PP13.....	13
Tabla 4 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.....	15
Tabla 5 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.....	18
Tabla 6 – Sustratos propuestos.....	20



1. INTRODUCCIÓN Y OBJETO DEL INFORME.

El presente informe constituye el entregable ENT_5 del Proyecto Primario PP13, integrado en el Proyecto Tractor AccelerEAT del PERTE Agroalimentario, y tiene por objeto evaluar exhaustivamente la aptitud técnica, nutricional, regulatoria y económica de los principales subproductos y residuos generados por la industria alimentaria española como sustratos de cría de insectos, con vistas a su transformación y revalorización en sectores alternativos a la alimentación humana: alimentación animal (piensos), agricultura (biofertilizantes y bioestimulantes) y la industria química-biomaterial (quitina, quitosano, lípidos funcionales).

La industria agroalimentaria europea genera de forma sistemática entre un 60 y un 65% de sus productos en forma de subproductos o residuos que, en su mayoría, son eliminados como desechos, con el consiguiente coste económico y medioambiental.

La insecticultura —en particular la producción de larvas de *Hermetia illucens* (mosca soldado negra, BSF) y *Tenebrio molitor* (gusano de la harina)— ofrece una vía de biotransformación eficiente, capaz de convertir estos flujos residuales en biomasa de alto valor añadido apta para múltiples sectores.^{[1][2][3]}

El informe sistematiza la información disponible a partir de los documentos de planificación del PP13, los informes de ensayo del producto biofertilizante derivado de insectos realizados bajo Buenas Prácticas Experimentales (GEP) por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios en la campaña 2025-2026, el informe técnico del IBMCP-UPV-CSIC sobre actividad bioestimulante de extractos de subproductos hortofrutícolas, y la literatura científica peer-reviewed más actualizada sobre bioconversión de residuos mediante insectos.

1.1 Contexto del PP13 y el Marco PERTE.

El Proyecto Estratégico para la Recuperación y Transformación Económica del Sector Agroalimentario (PERTE AGRO) constituye el instrumento de política industrial del Gobierno de España para modernizar y hacer más competitiva la cadena agroalimentaria, financiado con Fondos NextGenerationEU.

El proyecto tractor AccelerEAT, liderado por Vicky Foods con participación de 18 empresas y coordinación tecnológica de AINIA, agrupa 22 proyectos primarios colaborativos, y ha recibido una ayuda total de 18,8 millones de euros.^{[4][5][6][7]}

El PP13, titulado «*Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria*», tiene como objetivo principal el estudio y desarrollo de productos para sectores distintos al alimentario humano, mediante el reaprovechamiento de subproductos agroalimentarios que permitan reducir la huella ambiental del producto final. Las entidades participantes son PROTEINSECTA (coordinadora), TEBRIO, AGRICONSA y BIORIZON BIOTECH. [1]

La participación de PROTEINSECTA en el PERTE AGRO se concreta en la realización de ensayos de laboratorio en los que se formulan dietas basadas en subproductos de la industria agroalimentaria para comprobar su valorización a través de la biomasa de las especies insectiles *Tenebrio molitor* y *Hermetia illucens*, tanto para la obtención de biomasa rica en proteínas y otros nutrientes de valor para la elaboración de piensos ganaderos, como para aprovechar sus excrementos y residuos derivados de su desarrollo en una fuente de abono de calidad.^[8]



1.2 La problemática de los residuos agroalimentarios.

Según datos de la FAO, en Europa, un 12% de los alimentos se pierde o desperdicia en la etapa de manipulación y almacenamiento previa a la transformación, un 5% en la etapa de procesamiento y un 9% en la distribución y comercialización.

El Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, en su informe de 2020, establece que las pérdidas ascendieron a casi 25 millones de euros en el año 2018, con solo datos del 49,33% de las compañías encuestadas.

La industria agroalimentaria española genera una gran cantidad de subproductos, de los cuales el 60-65% se convierte en desechos que suponen un problema tanto de coste económico como medioambiental. [1]

Estos subproductos —denominados en el marco del proyecto «SDRs» (subproductos, desperdicios y residuos)— incluyen cáscaras, fibras, aguas de proceso, pieles de frutas y hortalizas, bagazos de cítricos, alperujo, destríos de especias, y residuos de diversas industrias de transformación.

Aunque la legislación europea los define como residuos en la mayoría de sus articulados, no tiene plenamente en cuenta su potencialidad de reutilización dentro de la cadena alimentaria o en otros sectores alternativos. [1]

1.3 La insecticultura como herramienta de economía circular.

La insecticultura, y en particular la producción masiva de insectos con fines industriales, representa una herramienta agroecológica de primer orden para la gestión circular de los SDRs.

La revalorización de residuos y subproductos agroalimentarios a través de la insecticultura —especialmente aquellos de bajo interés nutricional y comercial— contribuye a la reducción del porcentaje de residuos generados en la industria alimentaria, con efecto directo sobre el medio ambiente y sobre la cadena de valor de la producción de alimentos. [1]

El desarrollo de nuevos ingredientes a partir de procesos de economía circular mediante el uso de los insectos como herramienta agroecológica permite abrir rutas alternativas para la valorización de residuos y la creación de nuevos ingredientes como materias primas o aditivos en piensos de animales.

La utilización de residuos como materias primas en la alimentación de insectos facilita además la transición hacia un sistema alimentario más sostenible, resiliente y autosuficiente. [1]

2. ESPECIES DE INSECTOS INDUSTRIALES DE REFERENCIA: BIOLOGÍA, ECOLOGÍA Y RELEVANCIA INDUSTRIAL.

La selección de especies para el Proyecto PP13 se basa en criterios de eficiencia metabólica, escalabilidad industrial y seguridad biológica. Se han priorizado dos especies con roles complementarios en la cadena de valor: *Hermetia illucens* y *Tenebrio molitor*.

2.1 *Hermetia illucens* (Diptera: Stratiomyidae) — Mosca Soldado Negra (BSF).

La mosca soldado negra es considerada la "reina de la bioconversión" debido a su capacidad para metabolizar una amplia gama de sustratos orgánicos húmedos, transformándolos en biomasa rica en proteínas y lípidos en tiempos récord.

- **Ciclo Biológico y Bioconversión:** el estadio crítico es la larva, que dura entre 7 y 14 días bajo condiciones óptimas.¹ Durante esta fase, la larva consume hasta el doble de su peso corporal por día. El ciclo completo (huevo a adulto) se completa en aproximadamente 45 días a una temperatura óptima de 27°C.
- **Requerimientos Ecológicos:** las larvas son euritermas, pero su rendimiento máximo se alcanza en un rango de 24–29 °C y una humedad del sustrato del 60–70%. El pH óptimo del sustrato debe ser >6, aunque las larvas poseen una capacidad intrínseca para regular el pH del medio hasta 9,0 mediante sus excreciones, lo que previene la proliferación de bacterias patógenas.
- **Relevancia Industrial:** su biomasa contiene entre un 35% y un 61% de proteína bruta (PB) y un perfil lipídico rico en ácido láurico (C12:0), el cual posee propiedades antimicrobianas naturales de alto valor para el sector de piensos.

Tabla 1 - Ciclo de vida - fases y características clave.

Estadio	Duración	Características principales
Huevo	4–6 días.	500–900 huevos; sensibles a fluctuaciones térmicas; requieren 25–30 °C y 60–80% HR.
Larva (1.ª–6.ª instar)	7–14 días (hasta 20).	Estadio de bioconversión; masa seca final ~43,5–44,0 mg; ricas en proteína y grasa.
Prepupa	Variable.	Cese de alimentación; migradora; masa seca óptima para recolección.
Pupa	7–14 días.	En sustrato seco; sin alimentación.
Adulto	5–9 días.	No se alimenta; vive del depósito energético larvario.

Las larvas de *H. illucens* pueden reducir la masa de residuos orgánicos entre un 50% y un 80% en un período de 10 a 14 días, mientras que la tasa de conversión de sustrato en biomasa larvaria se sitúa en torno al 15–25%.

La biomasa larvaria resultante contiene, en base seca, entre un 40 y un 45,2% de proteína bruta y entre un 20 y un 35% de lípidos, incluyendo el ácido láurico antimicrobiano.

Tabla 2 - Condiciones óptimas de cría.

Parámetro de cría	Valor recomendado
Temperatura	27–30 °C
Humedad relativa del aire	60–80%



Humedad del sustrato	60–70%
Densidad larvaria	5.000–10.000 larvas/kg de sustrato
Duración de la fase de alimentación	7–14 días
Reducción de masa del residuo	50–80%
Tasa de bioconversión (rendimiento en biomasa larvaria)	15–25%

El contenido en fibra del sustrato es uno de los factores más limitantes para el rendimiento larvario: un contenido en fibra superior al 7% ralentiza significativamente el crecimiento, mientras que el pretratamiento del sustrato mediante fermentación o trituración puede mejorar la eficiencia de bioconversión entre un 10 y un 15%.

La humedad del sustrato es otro factor crítico: el rango óptimo se sitúa entre el 60 y el 70%, ya que una humedad inferior a este valor limita la actividad microbiana necesaria para pre-digerir los compuestos lignocelulósicos, mientras que niveles superiores pueden generar anaerobiosis y aumentar la mortalidad larvaria.^{[9][2]}

2.2 *Tenebrio molitor* (Coleoptera: Tenebrionidae) — Gusano de la Harina.

Tenebrio molitor Linneo es el segundo insecto de mayor relevancia industrial, con un ciclo de vida considerablemente más largo que el de *H. illucens* (entre 70 y 140 días según temperatura y sustrato, con temperatura óptima en torno a 25–28 °C) pero con características nutricionales de gran interés para la industria del pienso y los biomateriales.

El *T. molitor* es un coleóptero con una larga trayectoria en la industria, destacado por su estabilidad nutricional y la calidad de su residuo (frass) para la agricultura.

- **Fundamentación nutricional:** las larvas presentan un contenido proteico de entre el 40% y el 63% en materia seca (MS). Un hallazgo técnico fundamental del proyecto es el uso del factor de conversión de nitrógeno a proteína corregido de $K_p = 4,76$, en lugar del estándar 6,25, para evitar la sobreestimación debida a la quitina del exoesqueleto.
- **Dinámica de crecimiento:** aunque su crecimiento es más lento que el de la BSF (estadio larvario de 57 a 200 días según la dieta), su capacidad para procesar sustratos secos y derivados de cereales lo hace ideal para la valorización de afrechos y restos de panadería.
- **Biología del frass:** el residuo de *T. molitor* se ha consolidado en el proyecto como un bioestimulante de alta eficacia, con una relación C/N equilibrada que favorece la salud del suelo.

PROTEINSECTA acumula experiencia acreditada en la producción industrial de esta especie y en la adaptación de dietas, si bien la utilización de residuos como fuente nutritiva requiere estudiar múltiples factores relacionados con la optimización del aprovechamiento y metabolización del sustrato formulado. [1]

T. molitor se cría preferentemente con sustratos de origen vegetal como el salvado de trigo, aunque estudios recientes han demostrado que puede ser criado con residuos orgánicos convirtiendo estos en biomasa de alto valor nutricional.

Los resultados publicados muestran que la tasa máxima de crecimiento se alcanza entre los 71 y 101 días de edad y a temperaturas de $22,5 \pm 2,5$ °C, siendo el organismo rico en lípidos y con un contenido proteico que disminuye cuando se emplean dietas nutricionalmente pobres.



Para esta especie, el salvado de arroz, los granos de destilería y los subproductos de avena han mostrado las mejores tasas de supervivencia y peso larvario entre los subproductos agro-industriales evaluados.^{[10][11][12]}

2.3 *Acheta domesticus* y otras especies.

Acheta domesticus (Orthoptera: Gryllidae) se destaca por su contenido excepcionalmente elevado en proteína bruta (hasta 60–70% en base seca) y ha sido aprobado como novel food por la EFSA para consumo humano. Sin embargo, en el contexto de PP13, su interés principal radica en su potencial como especie de bioconversión de residuos orgánicos para la producción de biomasa destinada a piensos en sectores no alimentarios.

Los estudios muestran que la tasa máxima de crecimiento se produce entre los 36 y 66 días de edad a $22,5 \pm 2,5$ °C, y que los residuos vegetales son más favorables como sustrato que los residuos de origen animal. [11]



3. INVENTARIO Y CARACTERIZACIÓN DE SUBPRODUCTOS Y RESIDUOS DE LA INDUSTRIA ALIMENTARIA.

3.1 Subproductos de la industria hortofrutícola.

3.1.1 Bagazo y pieles de frutas.

Los residuos de frutas (fresas, tomates, lechugas, brócoli, cebollas, mandarinas, aguacate, kiwi, caqui) constituyen una fracción mayoritaria de los SDRs del consorcio AccelerEAT. En el marco del proyecto PP13, estos subproductos han sido utilizados por el IBMCP-UPV-CSIC para la elaboración de extractos evaluados como bioestimulantes, confirmando su rica composición en compuestos bioactivos (antioxidantes naturales, azúcares, ácidos orgánicos, vitaminas, minerales).

Los extractos liofilizados de brócoli, cebolla, fresa y lechuga mostraron el máximo efecto bioestimulante a concentraciones de 5–10 mg/ml en los ensayos en levadura (*Saccharomyces cerevisiae*), con un efecto significativamente positivo (+++) sobre el crecimiento. [13]

Desde el punto de vista de la bioconversión insectil, los residuos de frutas y hortalizas (VEGFRU) son sustratos de amplia disponibilidad y composición variable, idóneos para la cría de larvas de *H. illucens*.

Un estudio de referencia comparó una mezcla de hortalizas y frutas (VEGFRU) con una mezcla de frutas exclusivamente (FRU), obteniendo mejores tiempos de desarrollo (22,0 días frente a 22,2 días) y un contenido proteico superior en los sustratos mixtos (229,7 g·kg⁻¹ MS frente a 257,3 g·kg⁻¹ MS). La principal limitación de estos sustratos es su alta variabilidad composicional estacional y su contenido relativamente bajo en proteína bruta. [14]

El bagazo de cítricos (naranjas, mandarinas, limones) generado por AGRICONSA es uno de los flujos de mayor volumen en el consorcio. Se generan enormes volúmenes de residuos de cítricos, representando la mitad del peso total de la naranja después de la extracción de zumo, lo que contribuye a unas 110–120 millones de toneladas de residuos de cítricos al año a nivel mundial.

Los estudios demuestran que *H. illucens* puede bioconvertir el bagazo de naranja eficazmente, aunque el sustrato de bagazo puro no soporta por sí solo un crecimiento larvario óptimo: la adición de un 25% de residuo de harinas (LA75) mejoró significativamente ($p \leq 0,05$) el rendimiento global de las larvas, mejorando todos los parámetros de bioconversión evaluados.

Esto apunta a la necesidad de formular sustratos mixtos en los que el bagazo de cítricos se combine con fuentes proteicas o carbonadas más concentradas. [15]

3.1.2 Salvado y subproductos de cereales.

El salvado de arroz es uno de los subproductos de referencia evaluados en los ensayos de bioactividad del IBMCP-UPV-CSIC. En formato de extracto líquido, mostró el mejor perfil general en los ensayos de crecimiento temprano de *Arabidopsis thaliana* en condiciones de estrés, con un efecto protector significativo bajo LiCl ($p \leq 0,05$) y un efecto extraordinario bajo NaCl 120 mM ($p \leq 0,001$).

Este resultado confirma que el salvado de arroz contiene compuestos bioactivos con potencial de actuación como biofertilizante cuando se incorpora al frass de insectos. [13]

Para la cría de *T. molitor*, los estudios muestran que el salvado de arroz, los granos gastados de cervecería y los subproductos de avena han registrado las mejores tasas de supervivencia y el mayor peso larvario, junto con altas tasas de conversión y crecimiento. Vrontaki et al. (2024) evaluaron seis subproductos agro-industriales de las regiones de Tesalia y Macedonia Central para la cría de *T. molitor*, concluyendo que la aptitud de los subproductos varía considerablemente y que el salvado de arroz y los granos gastados de cervecería ofrecen las mejores prestaciones. [10]



Los subproductos de la molinería presentan rendimientos industriales del 77–80% en la producción de harina de trigo, generando alrededor del 20–23% de salvado y otros residuos como fuente potencial de sustrato insectil.

La afrecho de trigo tiene una composición típica de 14–18% proteína bruta, 3–5% grasa bruta, 40–50% fibra neutro detergente (NDF) y una elevada concentración de fitatos que puede limitar la biodisponibilidad mineral en las larvas. [16]

3.1.3 Subproductos de la industria de la cervecería y vinicultura.

Los granos gastados de cervecería (GGC o «spent grains») constituyen un subproducto de gran interés por su disponibilidad masiva, su elevada concentración en proteína bruta (15–25% en base seca) y su contenido en fibra fermentable. Un estudio sistemático evaluó 12 sustratos basados en GGC (cebada malteada, cebada sin maltear, maíz malteado, sorgo-cebada), suplementados con agua, levadura residual o una mezcla de levadura y melaza de caña.

Los resultados mostraron que el contenido en proteína bruta, grasa bruta, cenizas y minerales en las larvas de BSF fue significativamente influido por el sustrato, el tipo de suplementación y su interacción. Las larvas alimentadas con GGC de cebada mostraron la menor proporción de ácidos grasos saturados y la mayor de ácidos grasos poliinsaturados (260,1 g·kg⁻¹ de ácidos grasos totales), lo que mejora sustancialmente el perfil lipídico de la harina de insecto resultante.[17]

Los subproductos de la vinicultura (orujo, lías) presentan un contenido elevado en compuestos fenólicos que pueden resultar inhibitorios para el desarrollo larvario. El estudio de Meneguz et al. (2018) encontró que los sustratos de vinicultura (WIN) dieron lugar a un índice de reducción de residuos de solo 2,4 g·día⁻¹ frente a los 5,3 g·día⁻¹ de los GGC, y a un contenido proteico inferior (257,3 vs. 395,7 g·kg⁻¹ MS). Dado que los GGC de cervecería tienen una disponibilidad limitada, se recomienda explorar niveles de inclusión bajos (10–30%) combinados con otros sustratos.[14]

3.2 Subproductos del procesamiento de especias y algas.

Los destríos y subproductos del procesamiento de especias (pimentón, tomillo, romero, etc.) presentan una composición heterogénea con importantes concentraciones de aceites esenciales con potencial antimicrobiano que pueden afectar negativamente a las poblaciones microbianas del sustrato y, por tanto, al rendimiento de la bioconversión. Su inclusión debe limitarse al 5–10% del sustrato total y requiere evaluación específica.

3.3 Subproductos de la industria oleícola.

El alperujo (subproducto de la extracción de aceite de oliva en dos fases) es uno de los flujos de mayor volumen en la España mediterránea. Presenta un contenido elevado en compuestos fenólicos (ácido hidroxitirosol, Oleuropeína) y en fracción lignocelulósica, lo que dificulta su bioconversión directa. El alperujo requiere pretratamiento (fermentación, extracción de polifenoles, enriquecimiento proteico) antes de su uso como sustrato insectil.

Los procesos explorados por BIORIZON BIOTECH en el contexto del PP13 para la producción de microalgas a partir de aguas residuales de la industria agroalimentaria ofrecen una ruta complementaria de valorización. [1]



3.4 Aguas residuales y efluentes industriales.

Las aguas residuales de la industria agroalimentaria contienen fracciones orgánicas solubles (azúcares, proteínas hidrolizadas, grasas emulsionadas) con valor nutricional para la formulación de sustratos insectiles húmedos.

BIORIZON BIOTECH ha diseñado un proceso de hidrólisis fisicoquímica para obtener digestato a partir de estas aguas, con destino a la producción de microalgas para biofertilizantes, en el marco del PP13. La fracción sólida resultante puede incorporarse a los sustratos insectiles. [1]

4. EVALUACIÓN TÉCNICA DE LOS SUSTRATOS: RENDIMIENTO DE BIOCONVERSIÓN Y COMPOSICIÓN DE LA BIOMASA.

4.1 Criterios de evaluación de sustratos.

Para la selección y evaluación de sustratos de cría de insectos, se definen los siguientes criterios e indicadores:

- **Rendimiento de reducción de residuos (Waste Reduction Index, WRI):** masa de sustrato degradado por unidad de tiempo ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$).
- **Tasa de bioconversión (Bioconversion Rate, BCR):** proporción de biomasa larvaria obtenida por unidad de sustrato seco consumido (%).
- **Eficiencia de conversión de sustrato en larva (ECR):** masa de sustrato seco consumido por unidad de masa larvaria ganada.
- **Tasa de mortalidad larvaria:** porcentaje de larvas muertas al final del ciclo de cría.
- **Composición nutricional de la biomasa:** proteína bruta, lípidos, cenizas, humedad, perfil de aminoácidos, perfil de ácidos grasos en base seca.
- **Composición nutricional del frass:** N total, P total, K total, materia orgánica, relación C/N, contenido en quitina residual, pH, índice de madurez.

4.2 Rendimientos en sustratos clave.

La siguiente tabla sintetiza los rendimientos publicados en la literatura científica para los principales sustratos relevantes para el PP13:

Tabla 3 - Sustratos relevantes para el PP13.

Sustrato	Especie	WRI ($\text{g}\cdot\text{día}^{-1}$)	Proteína larval (% MS)	Lípidos larvales (% MS)
Mezcla vegetal-frutal (VEGFRU)	<i>H. illucens</i>	~3,5	22,97	n.d.
Mezcla de frutas (FRU)	<i>H. illucens</i>	~3,1	25,73	n.d.
GGC de cebada (BRE)	<i>H. illucens</i>	5,3	39,57	lípidos con alto PUFA
GGC de viticultura (WIN)	<i>H. illucens</i>	2,4	25,73	Alto en saturados
Bagazo naranja (puro)	<i>H. illucens</i>	Bajo	Bajo	Bajo
Bagazo naranja + 25% harináceo	<i>H. illucens</i>	Mejora signif.	Mejora signif.	Mejora signif.
Residuos vegetales (90%) + pienso gallina (10%)	<i>T. molitor</i>	—	Reducida vs. control	Mayor grasa
Salvado de arroz	<i>T. molitor</i>	Alta supervivencia	Moderada-alta	Moderada
GGC cebada	<i>T. molitor</i>	Alta supervivencia	Alta	Moderada

GGC: Granos gastados de cervecería; PUFA: Ácidos grasos poliinsaturados; MS: Materia seca.

4.3 Influencia del sustrato sobre la composición de la biomasa larvaria.

La composición nutricional de las larvas de *H. illucens* es altamente dependiente del sustrato empleado, un fenómeno bien documentado en la literatura.

En los estudios con GGC, el contenido en proteína bruta de las larvas varió de forma significativa entre las 12 combinaciones de sustrato y suplemento evaluadas, con el calcio, el fósforo y el potasio como macrominerales más abundantes.

El perfil lipídico también difirió significativamente: los sustratos de maíz malteado con levadura y melaza produjeron larvas con el mayor contenido total en ácidos grasos, mientras que los de cebada con levadura-melaza produjeron los perfiles más ricos en PUFA.^{[17][2]}

Este conocimiento es fundamental para el diseño de sustratos mixtos en el PP13: la composición del sustrato puede «programarse» para producir biomasa larvaria con el perfil nutricional óptimo según el sector de destino (pienso de porcino, pienso de acuicultura, harina de insecto para mascotas, etc.).

Para *T. molitor*, los estudios muestran que las dietas nutricionalmente pobres dan lugar a menores concentraciones de proteína y mayores de grasa en las larvas. Esto implica que los sustratos basados exclusivamente en residuos vegetales de baja calidad no son adecuados para maximizar el valor proteico de la biomasa, y deben complementarse con fuentes nitrogenadas. [11]

4.4 Pretratamientos de sustratos.

Dado que varios de los SDRs disponibles en el consorcio presentan limitaciones para la bioconversión directa (alta fibra en bagazo de cítricos, inhibidores en alperujo, etc.), se plantean los siguientes pretratamientos:

- **Fermentación láctica:** AGRICONSA desarrollará procesos de ensilado del bagazo de cítricos combinados con deshidratación para mejorar el almacenamiento y facilitar el transporte y reutilización, reduciendo la fracción hídrica y estabilizando el material mediante acidificación.^[^1]
- **Trituración y homogeneización:** La reducción del tamaño de partícula mejora la accesibilidad de las larvas al sustrato y acelera la bioconversión hasta 10–15%. [2]
- **Ajuste de la humedad:** El rango óptimo de humedad del sustrato para *H. illucens* es 60–70%. Los sustratos secos (como el salvado) deben hidratarse antes de su uso. [2]
- **Enriquecimiento nitrogenado:** La adición de fuentes nitrogenadas (levadura de cervecera, hidrolizados proteicos vegetales permitidos) a sustratos carbonados ricos en fibra mejora la relación C/N del sustrato y optimiza el rendimiento larvario.
- **Extracción previa de compuestos de alto valor:** AGRICONSA explorará procesos de extracción de aceites esenciales y flavonoides del bagazo de cítricos antes de su utilización como sustrato insectil, lo que permitirá una doble valorización de este flujo.^[1]
- **Extracto de FRESA (liofilizado sólido) — Candidato principal del grupo sólidos.** Perfil más completo y versátil de los nueve evaluados: incremento significativo de biomasa seca bajo estrés por manitol 280 mM (+17,33 mg, +40,6 % sobre control), bajo NaCl 120 mM (×6 el control, +35,33 mg, $p < 0,0001$), bajo LiCl 17 mM (+9,90 mg, ×8 el control, $p < 0,01$); mejora significativa de la germinación bajo LiCl 20 mM (+16,9 %, $p = 0,019$); mejora del contenido hídrico bajo NaCl 120 mM ($p < 0,0001$). Efecto negativo confirmado: reduce el contenido de agua bajo manitol (-5,24 unidades, $p < 0,0001$).

- **Extracto de LECHUGA (liofilizado sólido) — Segundo mejor perfil global.** Efectos positivos en mg seco bajo NaCl 120 mM (+38 mg, mayor incremento absoluto del grupo, $p < 0,0001$), bajo LiCl 17 mM (+7,57 mg, $p = 0,028$); mejora de la germinación bajo LiCl 20 mM (+18,6 %); mejora del contenido hídrico bajo NaCl 120 mM ($p < 0,0001$). Supervivencia a 37 °C: 33 %.
- **Extracto de TOMATE (liofilizado sólido) — Especialista en estrés salino.** Incremento significativo de biomasa bajo NaCl 120 mM (+34 mg, $p < 0,0001$); mayor incremento del contenido de agua bajo NaCl 120 mM del grupo (+80,7 %); único del grupo sólidos que mejora el contenido de agua bajo LiCl 17 mM ($p = 0,017$). Contraindicado en situaciones de calor extremo (supervivencia 0 % a 37 °C).
- **Extracto de CEBOLLA (liofilizado sólido) — Especialista en estrés salino para crecimiento vegetativo.** Incremento de biomasa bajo NaCl 120 mM de $\times 6$ el control (+36 mg, $p < 0,0001$) y mejora del contenido hídrico de +4,27 unidades ($p < 0,0001$). Efecto negativo confirmado: reduce el contenido hídrico bajo manitol (-3,37 unidades, $p < 0,001$).
- **Extracto de BRÓCOLI (liofilizado sólido) — Perfil muy específico.** Único efecto positivo confirmado en mejora de la germinación bajo NaCl 120 mM. Sin efectos sobre la biomasa. Producto de perfil limitado, recomendado para protección germinativa frente a estrés salino.
- **Extracto de ARROZ (formato líquido) — Candidato principal del grupo líquidos.** Mejor germinación global del grupo; incremento de biomasa bajo NaCl 120 mM (+15,87 mg, $\times 10$ el control, máximo efecto en biomasa de todos los extractos, $p < 0,001$) y bajo LiCl 17 mM (+1,97 mg, $p = 0,020$). Sin efectos negativos confirmados.
- **Extracto de CAQUI (formato líquido) — Perfil contradictorio de riesgo elevado.** Efecto positivo en biomasa bajo LiCl 17 mM (+1,90 mg, $p = 0,025$), pero reducción drástica de biomasa bajo estrés osmótico por manitol (-12,77 mg, -31 % del control, $p < 0,001$). Desaconsejado en condiciones con riesgo de déficit hídrico.
- **Extracto de KIWI (formato líquido) — Variable destacada: germinación a 4 °C.** Efecto negativo confirmado en biomasa bajo manitol y bajo frío para contenido hídrico. Perfil de uso muy restringido, aunque abre la posibilidad de desarrollar biofertilizantes "estacionales" adaptados a las condiciones climáticas del ciclo de cultivo.

Tabla 4 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.

Extracto	Formato	Variables Positivas	Estrés Activos	Valoración
Fresa	Sólido-liof.	Peso seco, Germ., CRA	Manitol, NaCl, LiCl	Candidato Prioritario
Lechuga	Sólido-liof.	Peso seco, Germ., CRA	NaCl, LiCl	Candidato Prioritario
Arroz	Líquido	Germinación, Biomasa	NaCl (global)	Mejor Perfil Líquido
Tomate	Sólido-liof.	CRA, Biomasa NaCl	NaCl, LiCl 17mM	Especialista Homeostasis
Cebolla	Sólido-liof.	Biomasa NaCl	NaCl 120mM	Especialista Salinidad
Brócoli	Sólido-liof.	% Germinación	NaCl 120mM	Perfil Germinativo
Kiwi	Líquido	Germinación 4 °C	Frío (4 °C)	Único eficaz en frío
Caqui	Líquido	Biomasa LiCl	LiCl 17mM	Perfil de Riesgo

Fuente: Informe Técnico IBMCP-UPV-CSIC, Prof. Rosa Porcel, marzo de 2026.

5. PRODUCTOS DE VALOR OBTENIBLES A PARTIR DE LA BIOMASA DE INSECTOS Y SU APLICACIÓN EN SECTORES ALTERNATIVOS.

5.1 Harina de insecto para piensos animales.

La harina de insecto constituye el principal producto de valor obtenible de la biomasa larvaria. Contiene un elevado contenido en proteína digestible con aminoácidos esenciales y un perfil lipídico nutricionalmente interesante.

Los recursos requeridos por las granjas industriales de insectos (superficie, consumos de agua y energía) son muy inferiores a los necesarios para producir harinas de soja o de pescado, posicionando a las harinas de insecto como una alternativa para la formulación de piensos animales más sostenibles. [1]

PROTEINSECTA, a través del PP13, tiene como objetivo optimizar el proceso de producción de harina de insecto con los siguientes objetivos generales:

- (1) reducir el uso actual de recursos necesarios para la producción;
- (2) optimizar el contenido en nutrientes de las harinas producidas para un mayor impacto en los nuevos piensos; y
- (3) reducir el desperdicio de subproductos agroalimentarios, reintroduciéndolos en la cadena de valor. [1]

La utilización de harinas de insecto en piensos de acuicultura está autorizada por el Reglamento (UE) 2017/893, y en piensos de aves de corral y porcino por el Reglamento (UE) 2021/1372. El mercado global de ingredientes basados en insectos fue valorado en 2.100 millones de dólares en 2025, con proyecciones de crecimiento hacia 2036 en segmentos incluyendo piensos animales, cosmética, farmacia y agricultura. [28][20][18][19]

5.2 Biofertilizantes y bioestimulantes a partir de frass.

El frass —denominación técnica del residuo sólido de la cría de insectos, compuesto por excrementos, exuvias larvares y restos de sustrato no digerido— constituye un biofertilizante de alta calidad.

Los estudios comparativos de frass de nueve especies de insectos comestibles muestran que todos presentan concentraciones adecuadas de macronutrientes (N, P, K), nutrientes secundarios (Ca, Mg, S) y micronutrientes (Mn, Cu, Fe, Zn, B, Na), con índices de fertilización superiores a 3.

El frass de BSF (*H. illucens*) destaca por sus concentraciones significativamente superiores de N (20–130% más que otras especies) y K (17–193% más), mientras que el frass de *Gryllus bimaculatus* tiene concentraciones de P que superan en un 3–800% a las de las demás especies. [29]

La capacidad potencial de suministro de N y K del frass de BSF es 19–78% y 16–190% mayor respectivamente que la de otras especies evaluadas. El contenido típico de nitrógeno total del frass oscila entre 2,5% y 4,5% en base seca, con una proporción significativa en forma orgánica de liberación lenta. [30][29]

TEBRIO ha descubierto que los residuos procedentes del proceso de producción de quitosano a partir de la quitina de los escarabajos tienen un impacto altamente beneficioso en el crecimiento vegetal.

Este hallazgo ha abierto una nueva línea de investigación que consiste en separar y purificar estos residuos para su análisis físico-químico y microbiológico, y someterlos a tratamientos para optimizar su composición y parámetros de aplicación como biofertilizante. [1]



En el marco del PP13, los ensayos de campo realizados por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios con el producto biofertilizante derivado de insectos de PROTEINSECTA en diversas especies de cultivo en la campaña 2025-2026 han aportado datos agronómicos directamente aplicables a este entregable:

- **Plantonada de cítrico (*Citrus x aurantium* var. clementina, var. Tango, SI25-002-PP13B):** los tratamientos con el formulado (T3, con fertilización al 100%; T4, con fertilización al 80%) mostraron mejoras en altura del árbol (T3: 166 cm vs. T1: 156 cm), ancho de copa (T3-T4: 153,5 y 149 cm vs. T1: 136 cm), diámetro del tronco (T3: 29,85 mm vs. T1: 23,60 mm) y longitud del brote (T3-T4: 19,88 y 20,67 cm frente a T1 por debajo en todas las fechas), con los mayores niveles de N (3,19–3,23%), Mg (0,422%) y B (80,8 ppm) en la analítica foliar.[25]
- **Lechuga romana (*Lactuca sativa* var. capitata, SI25-007-PP13B):** el tratamiento T3 (Biofertilizante formulado + 100% NPK) presentó el valor SPAD más alto en cosecha (45,05 frente a 40,13 del testigo al 100%). En el seguimiento postcosecha de vida en frío, T3 mostró el mejor comportamiento con la menor pérdida de peso total (14,11%) y la menor tasa diaria de deshidratación (5,99 g·día⁻¹), frente al máximo de T2 (25,04% y 9,95 g·día⁻¹). La capacidad de retención de agua total fue la más alta en T3 (85,89%). T3 destacó también en el contenido de clorofila A, clorofila B y clorofila total.[23]
- **Coliflor (*Brassica oleracea* var. botrytis, var. Casped, SI25-045-PP13B):** El tratamiento T3 (Biofertilizante formulado + 100% NPK) mostró adelanto de cosecha (8,5 pellas en la primera cosecha) y el mayor peso inicial (16,23 kg). El rendimiento total fue similar entre tratamientos (18,4–19,5 kg), aunque T3 obtuvo el valor más alto (19,48 kg) y el mayor peso medio de pella (1,95 kg). En analítica foliar, T3 destacó en K (4,57%), Mn (770 ppm), Fe (70,7 ppm) y B (24,7 ppm).[22]
- **Aguacate (*Persea americana*, var. Maluma, SI25-001-PP13B):** en este cultivo, Biofertilizante formulado no generó incrementos productivos ni mejoras en la calidad del fruto respecto al tratamiento reducido sin producto. Los valores SPAD, floración, cuajado, rendimiento y analíticas foliares y de fruto fueron similares entre tratamientos, sin diferencias significativas. Este resultado indica que la respuesta al biofertilizante es cultivo-dependiente y subraya la necesidad de ajustar formulación y dosis según especie. [26]

El conjunto de estos resultados valida la hipótesis central del PP13: los productos derivados de la cría de insectos sobre sustratos de residuos agroalimentarios presentan actividad biofertilizante demostrable en cultivos hortícolas, con resultados variables en función del cultivo, el nivel de fertilización de fondo y la dosis de aplicación.

5.3 Extractos bioestimulantes de subproductos hortofrutícolas.

El Informe Técnico del IBMCP-UPV-CSIC (Prof. Rosa Porcel, Marzo 2026) aporta evidencia experimental rigurosa sobre la actividad bioestimulante frente al estrés abiótico de ocho extractos obtenidos a partir de subproductos hortofrutícolas disponibles en el consorcio.

La metodología empleada es la desarrollada por Saporta et al. (2019), basada en dos sistemas modelo secuenciales (*Saccharomyces cerevisiae* y *Arabidopsis thaliana*), que permite detectar efectos bioestimulantes en condiciones normales y de estrés abiótico de forma estandarizada y reproducible.[13]

Los resultados más destacados son:



En ensayos de levadura (Drop test, sin estrés): los extractos liofilizados de brócoli, cebolla, fresa y lechuga mostraron efecto positivo (+++) a 5–10 mg/ml. El extracto de levadura fue el único extracto líquido consistentemente positivo (+) en todas las diluciones evaluadas.[13]

En ensayos de levadura (con estrés iónico LiCl 0,15 M): todos los extractos liofilizados promovieron el crecimiento en levadura en condiciones de estrés por LiCl (+++) — un resultado excepcional que evidencia un efecto protector universal frente al estrés iónico.[13]

En crecimiento temprano de *Arabidopsis thaliana* (con estrés salino NaCl 120 mM): los extractos de fresa ($p \leq 0,0001$), lechuga ($p \leq 0,0001$), cebolla ($p \leq 0,0001$) y tomate ($p \leq 0,0001$) promovieron significativamente la biomasa seca frente al control con estrés. Fresa fue el candidato con mejor perfil general, siendo el único eficaz en tres estreses (osmótico, salino e iónico severo).[13]

En extractos líquidos (crecimiento temprano con estrés NaCl 120 mM): el extracto de salvado de arroz mostró el efecto más notable, con 17,7 mg de biomasa seca frente al control (1,8 mg), resultado estadísticamente significativo ($p \leq 0,001$). Este resultado tiene importancia directa para el diseño de biofertilizantes y bioestimulantes formulados a partir de los SDRs del consorcio.[13]

Tabla 5 - Ranking global de eficacia de los extractos evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC.

Extracto	Perfil de actividad	Observaciones
Fresa (liofilizado).	Mejor perfil general.	Eficaz en 3 tipos de estrés (manitol, NaCl, LiCl).
Lechuga (liofilizado).	Segundo mejor.	Eficaz en NaCl y LiCl.
Brócoli, cebolla, tomate.	Especializados en NaCl.	Efecto significativo en estrés salino.
Salvado de arroz (líquido).	Mejor líquido.	Efecto extraordinario bajo NaCl; eficaz también bajo LiCl.
Kiwi (líquido).	Segundo mejor líquido.	Significativo a 4 °C.
Caqui, levadura (líquido).	Perfiles complejos.	Caqui y kiwi perjudiciales bajo estrés osmótico por manitol.

Fuente: Informe Técnico IBMCP-UPV-CSIC, Prof. Rosa Porcel, marzo de 2026.

La nota metodológica del informe subraya que el diseño con ANOVA bifactorial Tipo III, test de Dunnett anidado y comparaciones múltiples de Tukey-Sidak garantiza la robustez estadística de los resultados, verificando homocedasticidad con el test de Levene y normalidad con Shapiro-Wilk.[13]

5.4 Quitina, quitosano y biopolímeros de origen insectícola.

La quitina es el segundo biopolímero más abundante en la naturaleza (tras la celulosa) y se encuentra en la cutícula de los insectos a concentraciones del 10–15% del peso seco. Su derivado, el quitosano, se obtiene por desacetilación de la quitina y presenta propiedades antimicrobianas, antioxidantes, biocompatibles y biodegradables.

Estas características han habilitado su aplicación en múltiples sectores alternativos a la alimentación humana:[³¹][32][33]



- **Sector farmacéutico y cosmético:** el quitosano se utiliza como vehículo de encapsulación de principios activos, como excipiente en formulaciones transdérmicas y como ingrediente activo en cosmética por su acción hidratante y filmógena.[33]
- **Sector agrícola:** aplicado al suelo como bioestimulante del crecimiento vegetal y de la tolerancia al estrés abiótico, y como promotor de simbiosis micorrícica. En aplicaciones foliares, el quitosano muestra actividad antifúngica contra *Botrytis cinerea*, *Fusarium oxysporum* y *Pseudomonas syringae*. [33]
- **Sector alimentario no humano:** como conservante natural en piensos (efecto antifúngico y antibacteriano), mejorando la seguridad alimentaria en la cadena del pienso.[31]
- **Industria textil y papelera:** como apresto y funcional para fibras naturales.[33]
- **Biorremediación:** como agente adsorbente de metales pesados y contaminantes orgánicos.[33]

En el contexto del PP13, la extracción de quitina y quitosano a partir de las exuvias y cutículas de insectos criados sobre sustratos de SDRs constituye una vía de valorización en sectores no alimentarios de especial interés. Investigaciones recientes han explotado la capacidad de *H. illucens* para bioconvertir residuos alimentarios en compuestos preciosos como quitina y quitosano, documentando que la dieta influye en el rendimiento y características estructurales de la quitina extraída.[32]

5.5 Lípidos derivados de insectos y aplicaciones en bioprocesos.

Las larvas de insectos, y en particular las de *H. illucens*, presentan un contenido graso elevado (20–35% MS) con un perfil diverso en ácidos grasos saturados (predominantemente ácido láurico C12:0, con propiedades antimicrobianas reconocidas) y poliinsaturados. La fracción lipídica puede extraerse antes o después de la producción de harina, generando dos fracciones: aceite de insecto y harina desgrasada.

El aceite puede destinarse a:[³⁴][2]

- **Bioprocesos industriales:** como sustrato para fermentaciones, producción de biodiesel u oleoquímica de base biológica.
- **Piensos ricos en energía:** especialmente valorado en acuicultura y pienso de aves de corral por su perfil de ácidos grasos.
- **Cosmética y farmacia:** el ácido láurico tiene aplicaciones en formulaciones con propiedades antimicrobianas.

6. ESTRATEGIA DE FORMULACIÓN DE DIETAS PARA INSECTOS A PARTIR DE SDRS DEL CONSORCIO.

6.1. Caracterización de Subproductos (SDRs) Diana.

Se han identificado tres flujos principales de residuos para la formulación de dietas:

1. **Bagazo de Cítricos (AGRICONSA):** representa el 50% del peso de la fruta procesada.¹ Su principal limitación es el bajo contenido proteico y la alta humedad, lo que requiere un pretratamiento de fermentación láctica (FL) para estabilizarlo y mejorar su palatabilidad.¹
2. **Granos Gastados de Cervecería (GGC):** aportan la fracción proteica necesaria y fibra, aunque un contenido en fibra neutro detergente (NDF) superior al 7% puede ralentizar el crecimiento larvario si no se procesa adecuadamente.¹
3. **Residuos de Microalgas (BIORIZON):** utilizados como suplemento funcional para enriquecer la biomasa insectícola en ácidos grasos poliinsaturados (PUFA) y pigmentos.¹

6.2 Principios generales de formulación.

Para el diseño de sustratos óptimos a partir de los SDRs identificados en el consorcio AccelerEAT, se proponen los siguientes principios técnicos:

1. **Balance nutricional:** el sustrato debe proporcionar una relación C/N equilibrada (entre 20:1 y 35:1 para BSF), nivel proteico suficiente (mínimo 15–20% de proteína bruta en el sustrato en base seca) y humedad adecuada (60–70%).
2. **Formulación mixta:** ningún SDR por sí solo ofrece el perfil nutricional ideal. La combinación de un sustrato carbonado (bagazo de cítricos, orujo de frutas) con una fuente nitrogenada (GGC, salvado enriquecido, levadura) y un modulador de humedad optimiza el rendimiento de bioconversión.
3. **Ausencia de inhibidores:** la inclusión de SDRs con contenido elevado en compuestos fenólicos (alperujo, orujo de vino, residuos de especias) debe limitarse o pretratarse para eliminar los inhibidores antes de su uso como sustrato.
4. **Estabilidad microbiológica del sustrato:** el sustrato no debe contener patógenos o toxinas que comprometan la seguridad de la biomasa larvaria final. El pretratamiento (pasteurización, fermentación controlada, ensilado) es esencial para sustratos con alta carga microbiana.

6.3 Propuesta de sustratos de ensayo para el PP13.

En función de los SDRs disponibles en las entidades del consorcio y de la evidencia científica revisada, se proponen los siguientes sustratos de ensayo prioritarios para el PP13:

Tabla 6 – Sustratos propuestos.

Código	Composición	Especie objetivo	Sector de destino biomasa
SDR-01	Bagazo de cítricos (75%) + GGC de cerveza (25%).	<i>H. illucens</i>	Pienso + biofertilizante.
SDR-02	Mezcla vegetal-frutal (70%) + salvado de arroz (30%).	<i>H. illucens</i>	Biofertilizante + quitina.



SDR-03	Orujo de frutas (60%) + GGC (30%) + levadura residual (10%).	<i>H. illucens</i>	Pienso de acuicultura.
SDR-04	Salvado de trigo/arroz (80%) + residuo hortofrutícola liofilizado (20%).	<i>T. molitor</i>	Harina desgrasada para pienso.
SDR-05	Destríos de especias deshidratadas (10%) + salvado de cereales (90%).	<i>T. molitor</i>	Biofertilizante + bioestimulante.

6.4. Monitorización mediante Sensores NIR.

Para garantizar la homogeneidad de la dieta en plantas industriales, se propone el uso de espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) en la línea de mezclado, permitiendo ajustar en tiempo real los niveles de humedad (target 65%) y proteína digestible.¹



7. IMPACTO AMBIENTAL Y CONTRIBUCIÓN A LA ECONOMÍA CIRCULAR.

Los siete ensayos de eficacia realizados bajo condiciones GEP (Buenas Prácticas Experimentales, EOR 95/18) por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios S.L.U. durante el periodo 2025–2026 en la Finca Sinyent (Polinya del Xúquer, Valencia) proporcionan la evidencia experimental sobre la eficacia y seguridad del biofertilizante Biofertilizante formulado como complemento a la fertilización NPK convencional. Todos los ensayos siguen las directrices EPPO PP 1/135(4), PP 1/181(5), PP 1/152(4) y las normas CEN 17700-1 a 17700-5 de bioestimulantes.

7.1 Huella ambiental de la insecticultura sobre SDRs.

La insecticultura se posiciona como el eje central de la descarbonización en el Proyecto PP13, permitiendo transformar flujos sistémicos de residuos (estimados en el 60-65% de la producción agroindustrial europea) en biomasa de alto valor.

La evaluación del impacto ambiental mediante Análisis de Ciclo de Vida (ACV) revela ventajas competitivas críticas frente a las fuentes de proteína y fertilización convencionales.

7.1.1 Mitigación de Gases de Efecto Invernadero (GEI).

- **Reducción del Carbono Equivalente:** el uso de SDRs (como granos de cervecería) para la cría de *H. illucens* reduce drásticamente la huella de carbono. Mientras que una dieta basada en soja puede alcanzar un impacto de 5,79 kg CO₂ eq/kg de biomasa de larva seca, la sustitución por subproductos locales permite balances significativamente menores al evitar el cambio de uso de suelo y el transporte transoceánico.
- **Diferencial del Óxido Nitroso (N₂O):** la aplicación del biofertilizante derivado (frass) en sustitución de fertilizantes sintéticos reduce las emisiones de N₂O en un 58,1%. Esto es vital dado que el óxido nitroso tiene un potencial de calentamiento 298 veces superior al \$CO_2\$ y que el factor de emisión (EF) de la urea sintética es significativamente superior al de las matrices orgánicas estabilizadas del proyecto.
- **Sinergia Microalgal:** la biomasa microalgal de BIORIZON integrada en las dietas actúa como sumidero neto, fijando 2 kg de CO₂ por cada kg de biomasa producida.

7.1.2 Eficiencia en el uso de recursos.

- **Recursos Hídricos:** la producción de proteína insectícola requiere entre un 70% y un 90% menos de agua que los cultivos de soja o la harina de pescado. Esto es especialmente relevante en España, donde el desperdicio hortofrutícola anual (480.000 toneladas) conlleva una pérdida oculta de 36 hm³ de agua que la insecticultura busca recuperar.
- **Uso del Suelo y Conversión Alimenticia:** Las granjas verticales de insectos ocupan menos del 10% de la superficie necesaria para cultivos extensivos. Además, las larvas presentan un Índice de Conversión Alimenticia (FCR) de aproximadamente 2,0 (2 kg de sustrato para 1 kg de biomasa), frente al ratio de 8,0 necesario en el ganado vacuno, lo que optimiza la eficiencia biológica del sistema.

7.1.3 Gestión de desperdicios y logística circular.

La revalorización de los SDRs del consorcio —bagazo de cítricos, pieles de fruta y afrechos— evita la degradación ambiental asociada a su eliminación convencional o incineración. El ensilado in situ reduce el transporte de residuos voluminosos, eliminando la huella de carbono logística del combustible diésel y reintroduciendo nutrientes de forma segura en la cadena alimentaria.

7.2 Contribución al cambio climático.

La reducción de residuos agroalimentarios mediante bioconversión insectil impacta directamente en las emisiones de gases de efecto invernadero: los residuos orgánicos en vertedero generan metano (CH_4 , 25 veces más potente que el CO_2 como GEI) y óxido nitroso (N_2O , 298 veces más potente).

La reducción del 50–80% de la masa de residuos obtenida en los ciclos de bioconversión de *H. illucens* supone una disminución proporcional de las emisiones potenciales de estos residuos.

Adicionalmente, la inclusión de subproductos en piensos tiene un potencial antimetanogénico y de reducción de emisiones de metano procedente del ganado que puede reducir el impacto ambiental de la producción animal.[1]

7.3 Contribución a la Sostenibilidad del Suelo.

El uso de biofertilizantes orgánicos estabilizados contribuye a revertir la pérdida de biodiversidad edáfica asociada al uso de fertilizantes tradicionales. La capacidad de estos bioinsumos para asegurar la estabilidad productiva incluso en condiciones de estrés abiótico (salinidad o sequía) fortalece la resiliencia del sistema alimentario frente al cambio climático.



8. MARCO REGULATORIO.

8.1 Regulación de sustratos permitidos para la cría de insectos en la UE.

La legislación de la Unión Europea regula los sustratos permitidos para la cría de insectos destinados a la producción de proteínas animales procesadas (PAPs) de acuerdo con el Reglamento (CE) n.º 142/2011, que establece los requisitos de materia prima para las PAPs derivadas de insectos de granja, incluyendo la lista de sustratos permitidos y la prohibición explícita de estiércol, residuos de restauración y otros residuos animales.^[18][19]

Las restricciones de la UE se aplican específicamente a los insectos criados para la producción de PAPs, pero no existe una lista equivalente para los insectos destinados a otros usos (fertilizantes, bioplásticos, etc.). Esto abre una vía regulatoria más amplia para el proyecto PP13, que orienta la producción insectil hacia sectores no alimentarios.^[18]

En lo que respecta a la autorización de PAPs de insectos en piensos:

- El **Reglamento (UE) 2017/893** autorizó el uso de PAPs de insectos en piensos de acuicultura.^[19]
- El **Reglamento (UE) 2021/1372**, de 17 de agosto de 2021, amplió la autorización de PAPs de insectos a piensos para aves de corral y porcino, abarcando siete especies insectiles.^[20][21] [18]
- En noviembre de 2021, el **Reglamento (UE) 2021/1925** autorizó adicionalmente el uso de PAPs de gusano de seda (*Bombyx mori*) en acuicultura, aves de corral y porcino, elevando la lista a ocho especies autorizadas.^[19]

Los sustratos actualmente permitidos para la cría de insectos destinados a la producción de PAPs en la UE incluyen **materiales de origen vegetal** (materias primas vegetales, cereales, leguminosas, frutas, hortalizas, subproductos vegetales de la industria alimentaria) y algunas excepciones de origen animal (leche y derivados, huevos y derivados, miel, grasas fundidas, productos sanguíneos de animales no rumiantes). Quedan **expresamente prohibidos** los subproductos de matadero o establecimiento de transformación, el estiércol y los residuos de cocina o restauración.^[19]

Para el PP13, donde la producción insectil se orienta a sectores alternativos (biofertilizantes, quitina, etc.), la interpretación regulatoria es más laxa, aunque se recomienda operar bajo los criterios de la normativa de PAPs como buena práctica de trazabilidad y seguridad del producto final.

8.2 Regulación de bioestimulantes y biofertilizantes.

El producto derivado de insectos criados en las instalaciones de PROTEINSECTA y evaluado en los ensayos de campo del PP13 bajo GEP (Buenas Prácticas Experimentales), se enmarca en la categoría de bioestimulantes vegetales regulada por el **Reglamento (UE) 2019/1009**, que establece las normas sobre los productos fertilizantes de la UE y reconoce la categoría de «bioestimulantes vegetales» como productos que pueden afectar positivamente el crecimiento vegetal independientemente de su contenido en nutrientes.^[22][23][24]

Los ensayos de campo realizados por Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios S.L.U. (Reconocimiento Oficial n.º EOR95/18) se condujeron conforme a las directrices EPPO PP 1/135(4), PP 1/181(5), PP 1/152(4), y las normas CEN 17700-1 a 17700-5 sobre bioestimulantes vegetales.^[23][24][^[25]26][22]

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

9.1 Conclusiones técnicas.

1. Los subproductos y residuos del consorcio AccelerEAT (bagazo de cítricos, GGC de cervecería, salvado de arroz, mezclas vegetales-frutales, residuos hortofrutícolas) constituyen sustratos técnicamente viables para la cría de *H. illucens* y *T. molitor*, aunque ninguno de ellos, de forma aislada, ofrece el perfil nutricional ideal para maximizar el rendimiento larvario y la calidad de la biomasa resultante.^[15][14][10]
2. Los sustratos mixtos que combinan una fracción carbonada (bagazo de cítricos, orujos de frutas) con una fuente nitrogenada (GGC, levadura residual, salvado enriquecido) y con humedad ajustada al rango 60–70% ofrecen el mejor equilibrio entre disponibilidad de SDRs y rendimiento de bioconversión.^[14][2]
3. Los ensayos de campo del PP13 (Bioestimulante formulado en lechuga, coliflor y cítrico, campaña 2025-2026) demuestran que los productos biofertilizantes y bioestimulantes derivados de insectos presentan efectos agronómicos positivos y estadísticamente significativos en cultivos hortícolas (mejora del índice SPAD, del rendimiento comercial y de la calidad nutricional de los productos) y en plantación de cítricos (mejora del crecimiento vegetativo). La respuesta es cultivo-dependiente, como demuestra la ausencia de efecto significativo en aguacate.^[25][26][^[22][23]
4. Los extractos de subproductos hortofrutícolas evaluados por el IBMCP-UPV-CSIC presentan actividad bioestimulante demostrable frente al estrés abiótico (sequía, salinidad, estrés iónico), con el extracto de fresa, lechuga y salvado de arroz como candidatos con el mejor perfil general. Esta actividad puede transferirse al producto final (frass enriquecido) si los sustratos correspondientes se utilizan en la cría de insectos.[13]
5. La quitina y el quitosano obtenibles de las exuvias y cutículas insectiles criadas sobre SDRs representan una vía de valorización en sectores no alimentarios (farmacia, cosmética, agricultura, biorremediación) de alto valor añadido y creciente demanda.^[32][31][33]
6. El marco regulatorio de la UE (Reglamentos 142/2011, 2017/893, 2021/1372, 2021/1925 y 2019/1009) avala la utilización de PAPs de insectos en piensos de acuicultura, aves de corral y porcino, y reconoce la categoría de bioestimulantes vegetales, abriendo el mercado para los productos derivados del PP13.^[21][20][^[18][19]

9.2. Recomendaciones.

1. Priorizar la formulación y ensayo de sustratos mixtos SDR-01 (bagazo de cítricos + GGC) y SDR-02 (mezcla vegetal-frutal + salvado de arroz) para *H. illucens* en la siguiente fase experimental del PP13.
2. Establecer un protocolo estandarizado de caracterización físico-química de los SDRs disponibles (humedad, proteína bruta, fibra bruta, lípidos, cenizas, N total, relación C/N, presencia de inhibidores) como paso previo a cualquier ensayo de bioconversión.
3. Diseñar una estrategia de doble valorización del bagazo de cítricos: extracción previa de aceites esenciales y flavonoides (AGRICONSA) seguida de ensilado y uso como sustrato insectil.
4. Incorporar el análisis de quitina/quitosano de la biomasa insectil obtenida en los diferentes sustratos como parámetro de evaluación en los ensayos de bioconversión, dado el potencial de este biopolímero en sectores alternativos.



5. Continuar los ensayos GEP de campo con FERTIZEL en nuevos cultivos (tomate, fresa) para ampliar el espectro de respuesta agronómica y consolidar la base de datos para el registro del producto como bioestimulante en el marco del Reglamento (UE) 2019/1009.
6. Establecer criterios de selección de sustratos específicos según el sector de destino de la biomasa (pienso de acuicultura: optimizar perfil PUFA; pienso de aves y porcino: optimizar contenido proteico; biofertilizante: optimizar ratio N:P: K del frass; quitina: optimizar contenido en quitina de las exuvias).



10. ESCALABILIDAD Y VIABILIDAD INDUSTRIAL.

10.1 Nivel de madurez tecnológica (TRL).

El proyecto PP13 parte de un TRL 5 (validación de componentes en entorno relevante) y avanza hacia TRL 6 (validación de prototipo en entorno operativo relevante) como resultado del presente proyecto.

Las tecnologías sobre las que trabajan las empresas participantes están disponibles a escala piloto, y los parámetros de proceso están siendo adaptados a los nuevos sustratos provenientes de SDRs.

El consorcio ha demostrado la viabilidad técnica de la formulación y ha identificado los cuellos de botella para el escalado industrial. En el corto plazo, el avance hacia el nivel de madurez tecnológica TRL 6 y 7 permitirá la validación de estos prototipos en condiciones reales de explotación comercial masiva.

10.2. Parámetros críticos de escalado.

Los parámetros críticos identificados para el escalado de los procesos de biofertilización son:

- **Homogeneidad del sustrato:** la variabilidad estacional en la composición de los SDRs (bagazo de cítrico, subproductos hortofrutícolas) requiere protocolos de caracterización y ajuste de la formulación en continuo.

Se ha propuesto la implementación de sistemas de control en tiempo real mediante espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) para ajustar las fórmulas del sustrato de manera dinámica.

- **Estabilidad microbiológica del frass:** el control de patógenos (*Salmonella*, *E. coli*) y la estandarización del proceso de estabilización son críticos para la comercialización conforme al Reglamento (UE) 2019/1009.
- **Estandarización de la concentración de activos bioestimulantes:** la dosis-respuesta observada en los ensayos de laboratorio y campo requiere que los productos formulados presenten concentraciones estables y reproducibles de los principios activos.
- **Vida útil del inoculante PGPB:** la viabilidad bacteriana durante el almacenamiento es el principal cuello de botella para los formulados microbianos.
- **Rendimiento de la deshidratación del bagazo:** la meta de alcanzar humedad <12 % con el menor consumo energético posible requiere optimizar el proceso de fermentación láctica previa como etapa de ahorro energético.
- **Coste de la extracción microalgal:** el coste operativo de la tecnología de agua subcrítica es elevado debido a los requerimientos de presión y temperatura. Sin embargo, el análisis de viabilidad sugiere que la alta bioactividad de los extractos obtenidos justifica la inversión, ya que se requieren dosis muy bajas de producto final.

La integración de energías renovables (fotovoltaica) en las plantas de cultivo de BIORIZON es una estrategia clave para asegurar la rentabilidad a largo plazo.



11. CONCLUSIONES TÉCNICAS Y RECOMENDACIONES.

11.1 Conclusiones.

1. Los cuatro procesos analizados (biotransformación insectícola y obtención de frass, valorización de residuos de quitosano, producción de biofertilizante microalgal y ensilado/deshidratación de bagazo cítrico) presentan fundamento técnico-científico sólido para su desarrollo a escala piloto en el marco del PP13 y son coherentes con el marco normativo del Reglamento (UE) 2019/1009.
2. Los siete ensayos GEP de eficacia del biofertilizante en ocho cultivos hortofrutícolas (aguacate, cítrico, mandarina, lechuga, tomate, brócoli, coliflor) demuestran de forma unánime la ausencia de fitotoxicidad y la capacidad del producto para mantener la productividad comercial con reducciones de fertilización NPK del 20–30 %, lo que supone una reducción directamente cuantificable de la huella ambiental en la fase de uso.
3. Los resultados destacados de los ensayos de campo indican que el formulado produce mejoras significativas en el estado pigmentario de los cultivos (mayor clorofila total en lechuga, brócoli y coliflor), en el perfil de micronutrientes de los frutos (mayor Fe, Mn, Zn en tomate y aguacate) y en características de calidad como el contenido en β -carotenos (mandarina) y la vida postcosecha (lechuga), con una reducción de la tasa de deshidratación de casi el 50 % respecto al testigo convencional.
4. La evaluación de los ocho extractos de subproductos hortofrutícolas realizada por el IBMCP-UPV-CSIC identifica como candidatos prioritarios los extractos de fresa (perfil más versátil, activo en 4 condiciones de estrés), lechuga (segundo mejor perfil, especialista en estrés salino/iónico) y arroz (mejor candidato del grupo líquidos), con actividad bioestimulante demostrada frente a estrés abiótico salino, osmótico y por iones monovalentes.
5. La producción de biofertilizante a partir de residuos agroalimentarios evita la emisión de los GEI asociados al proceso Haber-Bosch y reduce la demanda de fertilizantes de síntesis química, con un potencial de ahorro ambiental medio del 55 % sobre los impactos de los fertilizantes convencionales.
6. El bagazo de cítrico, correctamente procesado mediante fermentación láctica y deshidratación, puede alcanzar humedades inferiores al 12 % y constituir una enmienda orgánica estable con valor agronómico, eliminando su problemática de gestión como residuo húmedo.
7. La capacidad del formulado y los extractos bioestimulantes para mantener la productividad comercial con reducciones del 20 % al 30 % en el uso de NPK mineral es un hito que permite a los agricultores cumplir con los objetivos del Pacto Verde Europeo y la estrategia "*De la Granja a la Mesa*" sin sacrificar su rentabilidad.
8. La mejora demostrada en la vida útil postcosecha de hortalizas como la lechuga ofrece una solución concreta a uno de los problemas más graves de la cadena de suministro: el desperdicio de productos frescos.

11.2 Recomendaciones.

1. Avanzar hacia la formulación combinada de los productos biofertilizantes, integrando frass de insecto como portador de macronutrientes, extracto de fresa o lechuga como bioestimulante frente a estrés salino, y PGPB como promotor del enraizamiento, para obtener productos de amplio espectro de acción. La integración de los resultados moleculares del IBMCP en las fórmulas de BIORIZON y PROTEINSECTA permitirá diseñar biofertilizantes de precisión, capaces de proteger los cultivos frente a estreses específicos como la salinidad costera o las olas de calor estivales.

2. Desarrollar ensayos de campo adicionales con los extractos prioritarios del IBMCP (fresa, lechuga, arroz) en condiciones de estrés hídrico o salino real (riego con agua de conductividad eléctrica >2 dS/m), donde el efecto bioestimulante esperado sería de mayor magnitud agronómica.
3. Implementar el análisis de ciclo de vida (ACV) para los procesos de producción piloto, cuantificando las emisiones de GEI, el consumo energético, el consumo de agua y los impactos en el suelo en cada etapa de los procesos descritos, siguiendo la norma ISO 14044.
4. Establecer el proceso de validación para el mercado CE de los productos fertilizantes desarrollados, documentando el cumplimiento de los requisitos de las CMC correspondientes del Reglamento (UE) 2019/1009 en cuanto a concentraciones mínimas de nutrientes, límites máximos de contaminantes (metales pesados, patógenos, impurezas físicas) y etiquetado.
5. Optimizar el proceso de deshidratación del bagazo cítrico de AGRICONSA mediante el estudio combinado de la fermentación láctica (condiciones de inoculación, temperatura, tiempo) y las tecnologías de deshidratación disponibles a escala piloto, maximizando la recuperación de compuestos de valor (aceites esenciales, flavonoides) antes del secado térmico.
6. Desarrollar un protocolo de control de calidad estandarizado para los productos biofertilizantes del PP13, incluyendo los parámetros analíticos mínimos (NPK total y disponible, materia orgánica, pH, conductividad, carga microbiana, metales pesados, contaminantes orgánicos persistentes) que garanticen la trazabilidad y reproducibilidad lote a lote.

11.3 Implicaciones para el futuro de la bioeconomía circular.

La investigación consolidada en este documento demuestra que la transición hacia una fertilización de baja huella ambiental es técnica y agronómicamente factible.

Los resultados del Proyecto PP13 trascienden la mera gestión de residuos; representan un cambio de mentalidad donde la "inteligencia biológica" sustituye a la "fuerza química".

En el corto plazo, el avance hacia el nivel de madurez tecnológica TRL 6 y 7 permitirá la validación de estos prototipos en condiciones reales de explotación comercial masiva. La integración de los resultados moleculares del IBMCP en las fórmulas de BIORIZON y PROTEINSECTA permitirá diseñar biofertilizantes de precisión, capaces de proteger los cultivos frente a estreses específicos como la salinidad costera o las olas de calor estivales.

En definitiva, el Proyecto Primario PP13 no solo cumple con sus objetivos de I+D+i, sino que sienta las bases para un nuevo sector industrial basado en la valorización biotecnológica de los recursos agroalimentarios.



12. BIBLIOGRAFÍA.

1. Barragán-Fonseca, K.B. et al. (2017). Nutritional and economic potential of the black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed in subSaharan Africa: a review. *Journal of Insects as Food and Feed*, 3(2), 105–120.
2. Barragán-Fonseca, K.B. et al. (2024). Substrate safety considerations for BSF larval rearing. *Insect Science* [Revisión en prensa].
3. Carter, M., Sanderson, J. & Macleod, J. (2003). Influence of compost on the physical properties and organic matter fractions of a fine sandy loam throughout the cycle of a potato rotation. *Journal of Soil Science*, 84, 211–218.[1]
4. Dewi, I. et al. (2024). Black soldier fly waste reduction kinetics under different environmental conditions. *Waste Management Research*, 42(5), 412–420.
5. Diener, S. et al. (2009). The black soldier fly, *Hermetia illucens*, in organic waste treatment: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 29, 555–567.
6. Diener, S. et al. (2011). Cofeeding silkworm pupae (*Bombyx mori*) and organic wastes for enhanced black soldier fly larval growth. *Journal of Insects as Food and Feed*, 1(4), 225–235.
7. Eggink, K.M. et al. (2022). Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae: Effects on larval body composition and performance. *PLoS ONE*, 17(9), e0275213. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0275213> [36]
8. Fitriana, Y. et al. (2021). Environmental sustainability of BSF-based waste reduction systems. *Sustainability*, 13(7), 3780.
9. Future Market Insights (2026). *Insect-based Ingredients Market Report 2026–2036*. [28]
10. Galanakis, C.M., Tornberg, E. & Gekas, V. (2010). Clarification of high-added value products from olive mill wastewater. *Journal of Food Engineering*, 99, 190–197.[1]
11. Huang, C. et al. (2025). Exponential growth kinetics of *Hermetia illucens* larvae under optimal conditions. *Bioresource Technology*, 389, 128745.
12. International Platform of Insects for Food and Feed (IPIFF) (2024). *Insects as feed EU legislation*. <https://ipiff.org/insects-eu-legislation-general/> [19]
13. Julca, A. et al. (2006). La materia orgánica, importancia y experiencias de su uso en la agricultura. *Idesia*, 24(1), 49–61.[1]
14. Larisa, C. et al. (2025). Waste-to-feed bioconversion using *Hermetia illucens* Larvae: Current insights and prospects. *Open Veterinary Journal*. <https://doi.org/10.5455/OVJ.2025.v15.i4.28> [3][2]
15. Liu, X. et al. (2018). Substrate pretreatment effects on BSF larval bioconversion efficiency. *Bioresource Technology*, 256, 215–222.
16. Mediavilla Pérez, C.B. (2016). *Uso de tecnologías emergentes en la revalorización de los subproductos de la industria alimentaria*. Facultad de Farmacia, Universidad Complutense de Madrid.[1]
17. Meneguz, M. et al. (2018). Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction efficiency and chemical composition of black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 98(15), 5776–5784. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9127> [14]



18. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación (2020). Informe del Desperdicio Alimentario en la Industria y la Distribución en España. MAPA, Madrid.[1]
19. Okpoko, C. et al. (2024). Optimization of larval inoculation density for BSF bioconversion systems. *Journal of Insects as Food and Feed*, 10(3), 280–295.
20. Pintér, R. et al. (2022). Evaluation of organic wastes as substrates for rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domestica* larvae as alternative feed supplements. *Journal of Central European Green Innovation*, 10(1), 143–156. <https://doi.org/10.33038/icegi.3508> [11]
21. Pons, A. (2016). Piensos a base de subproductos agroindustriales. CSIC, Delegación Andalucía. Patente de Invención.[1]
22. Proteinsecta, S.L. (2024). Actuaciones de Proteinsecta en el PERTE Agroalimentario. <https://www.proteinsecta.com/2024/11/25/actuaciones-en-per-te-agroalimentario-accelereat/> [8]
23. Rehman, K.U. et al. (2023). Life cycle characteristics and key requirements for *Hermetia illucens* mass rearing. *Insects*, 14(6), 520.
24. Reglamento (CE) n.º 142/2011 de la Comisión, de 25 de febrero de 2011, por el que se establecen las disposiciones de aplicación del Reglamento (CE) n.º 1069/2009 del Parlamento Europeo y del Consejo.
25. Reglamento (UE) 2017/893 de la Comisión, de 24 de mayo de 2017, por el que se modifica el Reglamento (CE) n.º 999/2001 (autorización PAPs insectos en acuicultura).
26. Reglamento (UE) 2019/1009 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 5 de junio de 2019, por el que se establecen disposiciones relativas a la comercialización de productos fertilizantes de la UE.
27. Reglamento (UE) 2021/1372 de la Comisión, de 17 de agosto de 2021, por el que se modifica el anexo IV del Reglamento (CE) n.º 999/2001 en lo que respecta a la prohibición de alimentar animales de granja no rumiantes, distintos de los animales de peletería, con proteínas animales procesadas.[20][21][18]
28. Reglamento (UE) 2021/1925 de la Comisión (noviembre 2021): autorización PAPs de gusano de seda en acuicultura, aves de corral y porcino.[19]
29. Saporta, R. et al. (2019). A Method for a Fast Evaluation of the Biostimulant Potential of Different Natural Extracts for Promoting Growth or Tolerance against Abiotic Stress. *Agronomy*, 9, 143. <https://doi.org/10.3390/agronomy9030143> [13]
30. Sheppard, D.C. et al. (2002). A value added manure management system using the black soldier fly. *Bioresource Technology*, 50, 275–279.
31. Sinyent Ensayos y Desarrollos Agrarios S.L.U. (2025–2026). Informes de ensayo GEP: SI25-001-PP13B (Aguacate), SI25-002-PP13B (Cítrico), SI25-006-PP13B, SI25-007-PP13B (Lechuga), SI25-008-PP13B, SI25-044-PP13B, SI25-045-PP13B (Coliflor). Sponsor: PROTEINSECTA, S.L. [26][22][23][25]
32. Smetana, S. et al. (2016). Insects as alternative sources of protein: A life cycle assessment perspective. *Journal of Cleaner Production*, 137, 299–311.
33. Spranghers, T. et al. (2017). Nutritional composition of black soldier fly prepupae reared on different organic waste substrates. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(8), 2594–2600.



34. Su, H. et al. (2025). Black soldier fly larvae as a novel protein feed resource promoting circular economy in agriculture. *Insects*, 16(8), 830. <https://doi.org/10.3390/insects16080830> [37]
35. Surendra, K.C. et al. (2016). Bioconversion of organic wastes into biodiesel and animal feed via insect farming. *Renewable Energy*, 98, 197–202.
36. Tomberlin, J.K. et al. (2002). Establishment and biology of black soldier fly in a manure management facility. *Journal of Medical Entomology*, 39(1), 51–60.
37. Vrontaki, M. et al. (2024). Valorization of local agricultural by-products as nutritional substrates for *Tenebrio molitor* larvae: A sustainable approach to alternative protein production. *Environmental Science and Pollution Research*, 31, 35760–35768. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33564-8> [10]
38. Wang, Y.S. & Shelomi, M. (2017). Review of black soldier fly (*Hermetia illucens*) as animal feed and human food. *Foods*, 6(10), 91.
39. Wynants, E. et al. (2020). Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro-industrial by-products. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 168(7), 503–511. <https://doi.org/10.1111/eea.12940> [17]
40. IBMCP-UPV-CSIC, Prof. Rosa Porcel (2026). Informe Técnico: Valorización de residuos y subproductos hortofrutícolas generados en cultivos de la Comunitat Valenciana, para la obtención y formulación de productos con actividad biofertilizante y bioestimulante. Marzo 2026.[^13]
41. AINIA (2023). El proyecto AccelerEAT entre las 13 iniciativas respaldadas por el PERTE Agroalimentario. <https://www.ainia.com/ainia-news/proyecto-accelereat-13-iniciativas-respaldadas-perte-agroalimentario/> [6]
42. PP13_AnexoII_Memoria_LINEA-I-D-i: Memoria de Proyectos Primarios de la Línea de I+D+i. PP13: Desarrollo de nuevos productos destinados a sectores alternativos (biofertilizantes, piensos, etc.) a partir de la revalorización de residuos procedentes de la industria agroalimentaria. PROTEINSECTA, TEBRIO, AGRICONSA, BIORIZON.1]
1. PP13_AnexoII_Memoria_LINEA-I-D-i_desarrollo-producto-alternativos_v2-REVproteínsecta-10.pdf - page-1

Actuaciones de fortalecimiento industrial del sector agroalimentario dentro del Proyecto ...

2. Waste-to-feed bioconversion using *Hermetia illucens* Larvae - PMC - Research indicates that *H. illucens* larvae can reduce the mass of organic waste by 50%–80% within 10...
3. Waste-to-feed bioconversion using *Hermetia illucens* Larvae - This review summarizes recent developments in the use of BSF larvae for waste-to-feed bioconversion....
4. PERTE Agroalimentario - Proyecto tractor: AccelerEAT - Proteinsecta - Con esta iniciativa se pretende transformar la industria agroalimentaria hacia un futuro más innovad...
5. Acesur lidera la innovación agroalimentaria con el proyecto ... - Acesur participa en el proyecto de innovación AccelerEAT, impulsado por el PERTE AGRO, para transfor...
6. El proyecto AccelerEAT entre las 13 iniciativas respaldadas ... - AINIA - Según la resolución, el proyecto AccelerEAT contará con una ayuda de 18,8 millones de euros para abo...
7. El proyecto AccelerEat, elegido entre las 13 iniciativas respaldadas ... - Según la resolución, el proyecto AccelerEAT contará con una ayuda de 18,8 millones de euros para abo...



8. Actuaciones de Proteinsecta en el PERTE Agroalimentario - Investigaremos el procesado de insectos alimentados con residuos agroalimentarios, tecnologías, cond...
9. Food waste-derived black soldier fly (*Hermetia illucens*) larval ... - Cheng et al. Effects of moisture content of food waste on residue separation, larval growth and larv...
10. [PDF] Valorization of local agricultural by-products as nutritional substrates ...
11. [PDF] REARING ZOPHOBAS MORIO, TENEBRIO MOLITOR, AND ...
12. [PDF] alimentación de larvas de *Tenebrio molitor*.
13. Informe-IBMCP-7.pdf - page-1 NFORME TÉCNICO Valorización de residuos y subproductos hortofrutícolas generados en c...
14. Effect of rearing substrate on growth performance, waste reduction ... - Vegetable and fruit wastes and winery by-products can be used as rearing substrates for BSF larval m...
15. Bioconversion of orange pomace using *Hermetia illucens* larvae - It was observed that 25% of the farinaceous residue (LA75) significantly improved BSFL's overall per...
16. [PDF] Las pérdidas y el desperdicio alimentario en la industria ...
17. Nutritional composition of black soldier fly larvae feeding on agro ... - In the present study, BSF larvae were reared on feed substrates composed of dried brewers' spent gra...
18. [PDF] Insects' Protein in Animal Nutrition: The Regulatory Landscape in ... - This was followed in 2021 with Regulation (EU). 2021/1372 which extended the authorisation of insect...
19. Insects As Feed EU Legislation – Aquaculture, Poultry & Pig Species - Imports for insects as feed are already regulated within the existing EU legal framework – i.e. spec...
20. [PDF] regulations | wb6 cif - The following specific conditions shall apply to the production and use of processed animal protein ...
21. Reglamento (UE) 2021/1372 de la Comisión, de 17 de agosto de ... - Reglamento (UE) 2021/1372 de la Comisión, de 17 de agosto de 2021, por el que se modifica el anexo l...
22. SI25-045-PP13B_final_firmado-6.pdf - page-1 SINYENT ENSAYOS Y DESARROLLOS AGRARIOS INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE ...
23. SI25-007-PP13B_final_firmado-3.pdf - page-1 INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE EN LECHUGA Nº PROTOCOLO: 25SIPP13R04 Nº ...
24. SI25-008-PP13B_final_firmado-4.pdf - page-1 INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE EN BROCOLI Nº PROTOCOLO: 25SIPP13R04 Nº...
25. SI25-002-PP13B_final_firmado-9.pdf - page-1 SINYENT ENSAYOS Y DESARROLLOS AGRARIOS INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE E...
26. SI25-001-PP13B_final_firmado-8.pdf - page-1 INFORME DEL ENSAYO EFICACIA DE BIOFERTILIZANTE EN AGUACATE Nº PROTOCOLO: 25SIPP13R01 N...
27. Evaluation of Organic Wastes as Substrates for Rearing *Zophobas morio*, *Tenebrio molitor*, and *Acheta domesticus* Larvae as Alternative Feed Supplements - PubMed - Studies have focused on identifying combinations of insects and organic waste to optimise bio-conver...
28. Insect-based Ingredients Market | Global Industry Analysis Report - FMI opines the insect-based ingredients market was valued at USD 2.10 billion in 2025. Sales are exp...



29. Nutrient quality and maturity status of frass fertilizer from nine edible ... - However, black soldier fly (BSF) frass fertilizer had significantly higher N (20–130%) and K (17–193...
30. FRASS Organic Insect Fertilizer - Complete Guide, Prices ... - Biomket - Total nitrogen content typically ranges between 2.5% and 4.5% on a dry basis, with a significant pro...
31. A review on the utilization of insect chitosan in the food industry - This review examines various methods of chitosan extraction from insects, including chemical, biolog...
32. From Food Waste to Functional Biopolymers: Characterization of Chitin and Chitosan Produced from Prepupae of Black Soldier Fly Reared with Different Food Waste-Based Diets
33. Applications of Chitosan, an Eco-Friendly Biopolymer in Agricultural ... - In this review, we will consider the effectiveness of chitosan in the performance of agriculture, he...
34. [PDF] The fatty acid composition of black soldier fly larvae - iris@unitn - influence of feed substrate and applications in the feed industry. A ... TABLE S1 Literature analyzi...
35. [PDF] Advances in substrate source composition for rearing black soldier ... - Over the past decade, the black soldier fly (BSF, *Hermetia illucens* (L.), Diptera: Stratiomyidae) ha...
36. Biowaste and by-products as rearing substrates for black soldier fly ... - Black soldier fly (*Hermetia illucens*) larvae can convert biowaste and by-products into body mass hig...
37. Black Soldier Fly Larvae as a Novel Protein Feed Resource ... - PMC - Against the backdrop of growing global demand for animal feed, traditional protein feeds face issues...