

Tenebrio molitor com a font de proteïna per a l'elaboració d'anàlegs carnis

Tenebrio molitor as a protein source for meat analogues development

ÀLVAR GRÀCIA



Doctor en ciència dels aliments per la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB). Investigador sènior del Centre Tecnològic Leitat, en l'Àrea de Bio-recursos i Tecnologies Agroalimentàries. Professor associat de la UAB, Departament de Ciència Animal i dels Aliments.

IRINA ELENA CHIRIAC



Llicenciada en ciència i tecnologia dels aliments per l'Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Agrària (ETSEA) de la Universitat de Lleida (UdL). Investigadora principal de l'Equip de Biorecursos i Tecnologies Agroalimentàries de Leitat.

CRISTINA FABREGAT



Llicenciada en biologia per la Universitat de Barcelona (UB). Investigadora principal de l'Equip de Biorecursos i Tecnologies Agroalimentàries de Leitat.

MONTSE JORBA



Doctora en enginyeria de projectes i sistemes per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC). Cap d'àrea de l'Equip de Biorecursos i Tecnologies Agroalimentàries de Leitat.

RESUM: L'article presenta els resultats del projecte GO DIIANA, una iniciativa per desenvolupar aliments innovadors basats en larves de *Tenebrio molitor* (TM), també anomenat *cuc de la farina*, com una alternativa sostenible a les fonts proteiques d'origen carni. El projecte, executat per Iberinsect, Zyrcular i Leitat, va processar la farina de TM produïda per Iberinsect mitjançant tècniques de deshidratació, desgreixament i hidròlisi proteica, amb l'objectiu d'obtenir nous ingredients amb propietats funcionals, sensorials i nutricionals millorades. Finalment, es va seleccionar una farina millorada de TM mitjançant un procés de deshidratació i desgreixament parcial per premsatge de les larves, seguit d'una deshidratació tèrmica, molta i tamisatge, que millorava les propietats tecnològiques i el perfil nutricional de la farina de TM (fins a un 65 % p/p de proteïna) i garantia un nivell suficient de producció per a l'elaboració dels nous productes alimentaris. Aquestes farines es van analitzar pel que fa a la composició (proximal, aminograma, macronutrients i micronutrients, perfil lipídic), microbiologia i metalls pesants, els dos últims per tal de garantir-ne la seguretat alimentària. Es van desenvolupar amb èxit anàlegs carnis (del tipus hamburgueses, salsitxes i delícies de po-

ABSTRACT: This article presents the results of the GO DIIANA project, an initiative aiming to develop innovative food products based on *Tenebrio molitor* (TM) larvae, also known as mealworms, as a sustainable alternative to conventional animal-based protein sources. Carried out by Iberinsect, Zyrcular and Leitat, the project involved processing TM powder produced by Iberinsect by dehydration, defatting and protein hydrolysis techniques, with the goal of obtaining new ingredients with improved functional, sensory and nutritional properties. An enhanced TM powder was ultimately selected by a process involving partial defatting by pressing the larvae, followed by thermal dehydration, milling and sieving. This process improved the technological properties and nutritional profile of the TM powder (up to 65% w/w protein) while ensuring a sufficient production level for the development of new food products. These powders were analyzed in terms of composition (proximate analysis, amino acid profile, macronutrients and micronutrients, lipid profile), as well as microbiological safety and heavy metal content – the latter two to ensure food safety. Meat analogues (such as burgers, sausages and nuggets) were successfully developed with

llastre) amb textura i propietats sensorials mimètiques als homòlegs d'origen animal. Seguidament, es va realitzar l'escalat de la producció de l'anàleg de tipus hamburguesa fins a un nivell preindustrial a la planta de Zyrccular. El treball demostra que el *Tenebrio molitor* és una opció viable basada en un model de producció circular, nutricionalment equilibrada i mediambientalment sostenible, tot i els reptes pendents en acceptació cultural i optimització de costos.

PARAULES CLAU: *Tenebrio molitor*, insecte, proteïna alternativa, anàleg carni, circularitat, sostenibilitat, indústria alimentària, transició proteica, ingredients alimentaris.

texture and sensory properties mimicking those of animal-based counterparts. Then, burger-type analogues were scaled up to a pre-industrial production level at the Zyrccular plant facility. This project demonstrates that Tenebrio molitor is a feasible option based on a circular production model and is nutritionally balanced and environmentally sustainable, despite some remaining challenges related to cultural acceptance and cost optimization.

KEYWORDS: *Tenebrio molitor*, insect, alternative protein, meat analogues, circularity, sustainability, food industry, protein transition, food ingredients.

NECESSITAT D'ALTERNATIVES A LA CARN

La creixent demanda global de proteïna i els límits ambientals associats a la ramaderia tradicional fan urgent la recerca de fonts alternatives i sostenibles. En aquest context, la proteïna d'insecte destaca per la seva elevada eficiència en la conversió de nutrients, el seu baix impacte ambiental i el seu alt valor nutricional (Huis, 2020; Vauterin *et al.*, 2021). A més, la capacitat dels insectes per transformar subproductes orgànics en biomassa rica en proteïna obre la porta a models d'economia circular dins el sector agroalimentari (Smetana *et al.*, 2019). Per tot això, la proteïna d'insecte representa una alternativa estratègica per garantir la seguretat alimentària i construir sistemes alimentaris més resilient i sostenibles (FAO, 2021). Tanmateix, l'adopció a gran escala d'aquesta proteïna depèn de l'evolució de les regulacions alimentàries, ja que la seva comercialització com a nou aliment a la Unió Europea (UE) requereix una avaluació de seguretat prèvia. La normativa actual, com la Regulació (UE) 2015/2283, permet l'ús de la farina de TM en productes alimentaris, però els reptes persistents inclouen la variabilitat de les lleis en l'àmbit internacional, la gestió dels processos de producció per garantir la seguretat i la confiança del consumidor. Així, els marcs reguladors clars i una transició normativa seran clau per a l'acceptació global de la proteïna d'insecte i el desenvolupament d'un sistema alimentari més sostenible.

«La proteïna d'insecte destaca per la seva elevada eficiència en la conversió de nutrients.»

TENEBRIO MOLITOR COM A FONT DE PROTEÏNA ALTERNATIVA PER A ALIMENTACIÓ HUMANA

Davant la necessitat global de fonts proteiques alternatives a la carn, la proteïna d'insectes, i en particular la del TM, es posiciona com una opció prometedora per a l'alimentació humana. El TM ha emergit com una font alternativa de proteïna d'alt valor biològic, amb un perfil nutricional ric en proteïnes, greixos saludables i micronutrients (Rumpold i Schlüter, 2013). El consum d'algunes espècies d'insectes està autoritzat a la UE (Reglament (UE) 2015/2283), i es permet comercialitzar-ne després de seguir el procediment com a «nou aliment» en diverses formes (larves senceres, moltes, deshidratades, congelades) i s'incorporen habitualment com a farines en les formulacions de *snacks*, galetes, pasta, anàlegs carnis, barretes energètiques, batuts, etc. L'Autoritat Europea de Seguretat Alimentària (EFSA) n'ha confirmat la seguretat, tot i advertir de possibles al·lèrgies en persones sensibles als crustacis o àcars. Des del 2 de juny de 2021, la legislació europea permet la comercialització de productes basats en TM (EFSA, 2021; Reglament d'execució (UE) 2021/882), i n'afavoreix la incorporació en estratègies de sostenibilitat alimentària i com a resposta a la creixent demanda de proteïnes alternatives. Recentment, la UE ha autoritzat la comercialització de farina de TM tractada amb radiació ultraviolada (UV) com a nou ingredient per a l'elaboració de diferents aliments com pans, pastissos, pastes alimentàries, compotes de fruites, etc. (Reglament (UE) 2025/89).

PROJECTE GO DIIANA

El present article es basa en els resultats del projecte GO DIIANA, «Desenvolupament d'una cadena de valor circular i sostenible basada en la integració d'insectes en aliments basats en proteïnes alternatives». Aquest projecte ha estat executat per un consorci empresarial entre Zyrcular Plant, SL i Iberinsect, SL, amb la participació del Centre Tecnològic Leitat com a entitat coordinadora de recerca. GO DIIANA s'ha finançat a través del programa de Grups Operatius de l'Associació Europea per a la Innovació (AEI) en matèria de productivitat i sostenibilitat agrícoles, del Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de la Generalitat de Catalunya.

Zyrcular és una empresa dedicada a l'elaboració de productes amb noves fonts de proteïnes de manera integral en les seves plantes de producció pròpies, que busca la màxima sostenibilitat en les seves formulacions, i orientada a la inclusió de productes de proximitat. Actualment elabora principalment productes *plant-based* (anàlegs carnis i de peix), com també productes vegetals, i comercialitza productes innovadors (Beyond Meat, Gardein, Quorn, etc). Zyrcular té un gran interès a fer recerca en noves fonts de proteïnes alternatives amb una petjada ambiental reduïda, com la proteïna de TM.

Iberinsect és una empresa emergent (*startup*) biotecnològica, amb una visió integrada, especialitzada en la producció de l'insecte *Tenebrio molitor* i tots els seu derivats, on transforma matèries primeres vegetals de proximitat en ingredients nutricionals d'alt valor afegit per a l'alimentació animal. En el present projecte, Iberinsect ha aportat la farina de TM amb una granulometria lleugerament superior a la del cereal i amb un alt contingut en àcids grassos insaturats.

Leitat és un centre tecnològic que té com a missió col·laborar amb empreses i entitats per crear valor econòmic i social sostenible a través de la recerca i de processos tecnològics des de la innovació. Leitat està formada per cinc àrees de coneixement: economia circular i descarbonització, salut i biomedicina, serveis tecnològics avançats, química aplicada i materials, indústria digital, i ha liderat i participat en projectes estratègics i de gestió de propostes en R+D+2i (recerca, desenvolupament, innovació tecnològica i innovació no tecnològica o social) i en l'àmbit nacional i europeu.

En el projecte GO DIIANA s'ha dut a terme el desenvolupament de nous ingredients i anàlegs carnis a partir de

TM, superant les limitacions d'aplicació relacionades, principalment, amb la manca de propietats funcionals, qualitat fisicoquímica i propietats organolèptiques dels insectes. En aquest sentit, és necessari que les noves fonts de proteïna alternativa tinguin unes propietats òptimes, no sols des del punt de vista tecnològic, sinó també sensorial, i s'aconsegueixi l'acceptació per part dels consumidors.

En el projecte GO DIIANA es van identificar els reptes tecnològics següents:

- Millorar l'aplicabilitat dels ingredients derivats de TM com a font de proteïna alternativa en productes alimentaris, mitjançant el desenvolupament i avaluació de processos de transformació de la larva (deshidratació, desgreixament, hidròlisi) per dur a terme millores en l'ingredient final.
- Desenvolupar nous anàlegs carnis basats en TM.
- Establir les condicions fisicoquímiques i sensorials per a la incorporació dels ingredients derivats de TM en els productes finals, determinant els paràmetres de qualitat que millorin l'experiència i la percepció del consumidor.

El resultat del projecte pretén establir una cadena de valor integrada per al desenvolupament de productes per a alimentació humana basada en proteïna de TM de producció local, buscant un valor afegit per incentivar l'accés a mercats d'exportació que valoren la traçabilitat i el control de la producció. Alhora, el projecte s'ha enfocat a proporcionar una solució que completi el lineal proteic i augmenti les opcions de selecció per al consumidor.

OBTENCIÓ D'UN NOU INGREDIENT A PARTIR DE TM

La mostra inicial de partida del projecte és farina deshidratada de TM de l'empresa Iberinsect. La deshidratació de les larves facilita el procés de molta, n'assegura una millor qualitat microbiològica i n'allarga la vida útil. Tot i que el producte es pot conservar a temperatura ambient, es recomana mantenir-lo en refrigeració per tal de preservar millor l'estabilitat fisicoquímica i les propietats sensorials de la farina. La molta de les larves és un procés fonamental en l'estratègia de comercialització de les farines d'insectes.



Figura 1. Larves, farina inicial de TM i farina millorada de TM.
Font: Elaboració pròpia.

La farina deshidratada de larves de TM d'Iberinsect presenta un color marró enfosquit (figura 1) i té l'aroma i olor característiques de la farina de TM, sovint identificada amb notes aromàtiques que evoquen fruits secs, bolets, cereals, olor de terra mullada i notes olioses (Seo *et al.*, 2020). També s'ha identificat com a potenciador del sabor i s'ha relacionat amb el sabor umami (Wendin *et al.*, 2019; Elhassan *et al.*, 2019). La farina presenta una textura trencadissa amb una certa tendència a l'aglomeració quan es pressiona o barreja degut al seu alt contingut lipídic (31,1 % p/p).

La farina de TM va presentar una solubilitat baixa en aigua, però es va observar una certa capacitat emulsionant i de retenció d'oli que afavoria l'obtenció d'emulsions estables amb olis vegetals. Aquestes característiques tecnofuncionals van millorar amb l'obtenció de la nova farina de TM.

Durant el projecte es va realitzar un estudi de diferents processos de transformació de la larva de TM: des-

hidratació tèrmica, desgreixament per solvent i desgreixament físic per premsatge. A més a més, es van desenvolupar processos enzimàtics per tal d'obtenir hidrolitzats rics en proteïna soluble i aminoàcids lliures. Les condicions per a cada tipus de procés es van determinar mitjançant un disseny experimental d'anàlisi de superfície de resposta (RSM —de l'anglès *response surface methodology*—, RSM, Design-Expert v13, Minneapolis, Estats Units). Per a cadascun dels processos es van estudiar diferents condicions de tractament, seleccionant un tipus d'ingredient per procés. Seguidament es van avaluar les característiques sensorials, la composició nutricional i les propietats tecnofuncionals de cada nou derivat de TM.

Les farines millorades presentaven resultats molt eficaços de desgreixament per solvent (<1 % greix p/p) i l'hidrolitzat proteic obtingut presentava una millora significativa de la solubilitat i amb continguts de proteïna elevats per sobre el 60 % en pes sec. Del conjunt d'ingredients desenvolupats i seleccionats en el marc del pro-

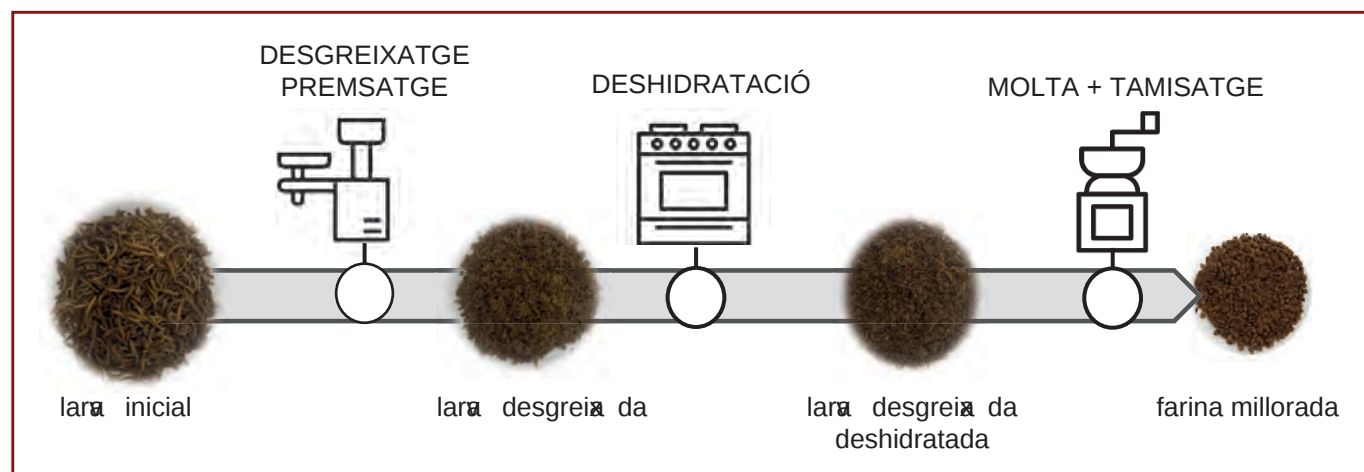


Figura 2. Diagrama de procés per a l'obtenció de la farina millorada.
Font: Elaboració pròpia.

jecte, finalment es va procedir a la selecció de farina parcialment desgreixada i deshidratada per premsatge, seguida d'un assecatge tèrmic, molta i tamisatge (vegeu la figura 2). La mida de partícula de la farina millorada després del procés de molta i tamisatge és inferior a 0,5 mm. La farina obtinguda mitjançant aquest procés tenia bones característiques tecnològiques i nutricionals, alhora que assegurava el nivell requerit de producció del nou ingredient per realitzar l'escalat industrial de l'anàleg a partir de TM.

Cal destacar que aquesta nova farina de TM va millorar la solubilitat en aigua i va mantenir la capacitat emulsio-nant i de retenció d'oli. Aquests resultats també es corresponen amb les propietats funcionals del TM incloses en l'article de revisió de Queiroz *et al.* (2023). La microestructura de les emulsions es va avaluar per microscòpia òptica (Iroscope, Microlux MX-T, Mèxic DF, Mèxic). En la figura 3 s'observa una imatge representativa de la microestructura formada per una emulsió d'aigua en oli (9 % farina millorada de TM, 45 % oli de gira-sol), preparada per agitació. Aquestes emulsions es poden descriure com a no floculades, ja que es van mantenir estables i no es van observar fenòmens de coalescència durant els dos mesos d'emmagatzematge en refrigeració. Aquests resultats es corresponen amb els obtinguts per Gould i Wolf (2018), en què emulsions d'oli en aigua (20 % p/p oli de gira-sol) van ser estabilitzades amb aïllament de proteïna de TM (entre el 0,44 % i 2,63% p/p) i es van mantenir estables sense fenòmens de coalescència significatius durant un període de dos mesos.

A continuació es mostra una comparativa entre les característiques inicials de la farina de TM i les de la farina millorada pel que fa a la composició nutricional i microbiològica.

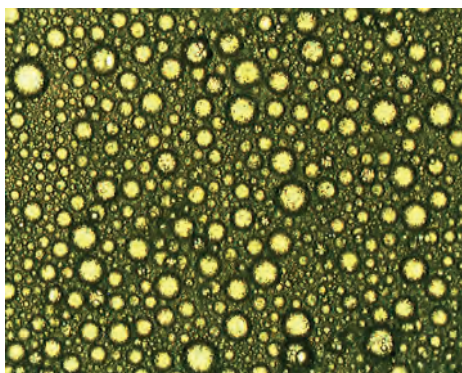


Figura 3. Imatge obtinguda per microscòpia òptica de la microestructura d'una emulsió d'aigua en oli (45 % p/p oli de gira-sol) estabilitzada amb un 9 % de farina millorada de TM.
Font: Elaboració pròpia.

«La microestructura de les emulsions es va avaluar per microscòpia òptica.»

METODOLOGIA DE LES ANÀLISIS DE CARACTERITZACIÓ DE LA FARINA DE TM

Anàlisis de la caracterització composicional

Per tal de caracteritzar la farina s'han fet les anàlisis següents: proximal, perfil lipídic, aminograma, macronutrients i micronutrients i metalls pesants, usant mètodes estandarditzats d'anàlisi química per a aliments. En l'anàlisi proximal es determina la humitat per gravimetria del residu sec, els greixos per extracció de la fase lipídica (Soxhlet), la proteïna per determinació del nitrogen total (Kjeldahl), les cendres per gravimetria, els carbohidrats solubles pel mètode fenol - àcid sulfúric (espectrofotometria UV-Vis, 490 nm) i carbohidrats totals per diferència respecte a la resta de components. El perfil lipídic es determina per cromatografia de gasos (GC) i espectroscòpia de masses (MS) a partir de la fracció lipídica obtinguda en el Soxhlet. El contingut en aminoàcids totals es quantifica per cromatografia líquida (HPLC, de l'anglès *high pressure liquid chromatography*) amb un detector díode Array (DAD). Els macro- i micronutrients (Si, Al, Fe, Mg, K, Ca, Na) i els metalls pesants (Cr, As, Cd, Ba, Hg, Pb) es determinen per espectrometria de masses per plasma d'acoblament inductiu (ICP-MS).

Anàlisis de la caracterització microbiològica

A continuació s'indiquen els mètodes ràpids de detecció microbiològica emprats per a la caracterització microbiològica de la farina de TM: bacteris aerobis mesofílics totals mitjançant el medi agar de triptona de soja (Oxoid Ltd., Basingstoke, Regne Unit), *Salmonella* spp. mitjançant el medi IRIS Salmonella Agar®, *Listeria* spp. i *Listeria monocytogenes* mitjançant el medi Compass Listeria Agar®, *Bacillus cereus* mitjançant Compass Bacillus Cereus Agar®, *Pseudomonas* spp. mitjançant el medi Rhapsody Agar®, *Escherichia coli* i coliformes mitjançant la placa de recompte Petrifilm® 3M *E. Coli*/coliformes, enterobacteris mitjançant la placa de recompte Petrifilm® 3M *Enterobacteriaceae*, *Staphylococcus aureus* mitjançant la placa de recompte Petrifilm® 3M Staph Express. Tots aquests

mètodes compten amb les certificacions AOAC/AFNOR corresponents. Per calcular i expressar els resultats s'apliquen els criteris de la norma UNE-EN ISO 7218:2008/A1:2013.

RESULTATS

Els resultats inclosos en les taules 1, 2 i 3 i en les figures 4 i 5 demostren que la farina deshidratada inicial de TM és una molt bona font de proteïna (49,5 % p/p) i de greixos saludables (32,0 % p/p), amb una relació de greixos insaturats-saturats (3:1) i amb un 18,5 % d'àcids grassos del tipus omega-6, i amb el 14,7 % de carbohidrats totals (dels quals el 6,7 % p/p són carbohidrats solubles). En la farina millorada la concentració de proteïna arriba fins al 65,21 % p/p, mentre que la concentració de greixos totals es redueix parcialment fins al 18 % p/p. L'anàlisi del perfil d'aminoàcids ens mostra que la farina inicial presenta una gran diversitat d'aminoàcids: la Prolina (PRO) amb contingut de 5 g / 100 g

de farina (10 g / 100 g de proteïna), l'àcid glutàmic (GLU) amb contingut de 5 g / 100 g de farina (10,7 g / 100 g de proteïna), l'arginina (ARG) amb contingut de 4 g / 100 g de farina (8,3 g / 100 g de proteïna) i l'àcid aspàrtic (ASP) amb 3,8 g / 100 g (7,7g / 100 g de proteïna). Cal destacar també la riquesa en leucina (LEU), lisina (LYS) i alanina (ALA). També s'observa que la concentració de tots els aminoàcids augmenta en la farina millorada.

Respecte als àcids grassos majoritaris, la farina inicial de TM conté àcid mirístic (C14:0), amb valors d'1,23 g / 100 g de farina (3,4 g / 100 g greix); àcid palmític (C16:0), amb valors de 5,7 g / 100 g de farina (17,7 g / 100 g greix); àcid esteàric (C18:0), amb valors d'1,2 g / 100 g de farina (3,7 g / 100 g greix); l'àcid palmitoleic (C16:1) es troba amb valors de 0,8 g / 100 g de farina (2,5 g / 100 g de greix); l'àcid cis-oleic (C18:1n9), amb valors de 16,6 g / 100 g de farina (51,9 g / 100 g greix), així com l'àcid cis-linoleic (C18:2n6), amb valors de 5,9 g / 100 g de farina (18,5 g / 100 g de greix). Tenint en compte la

Taula 1. Composició nutricional comparativa de la farina inicial amb la farina millorada de TM (valors expressats en grams de component / 100 grams de farina)

MOSTRES	PROTEÏNA (G / 100 G)	GREIX (G / 100 G)	CARBOHIDRATS (G / 100 G)	CENDRES (G / 100 G)	HUMITAT (G / 100 G)
Farina inicial	49,5 ± 0,3	31,1 ± 0,5	14,7 ± 1,5	3,8 ± 0,1	1,9 ± 0,1
Farina millorada	65,2 ± 0,3	18,0 ± 0,5	11,3 ± 1,7	3,9 ± 0,2	1,6 ± 0,1

Font: Elaboració pròpia.

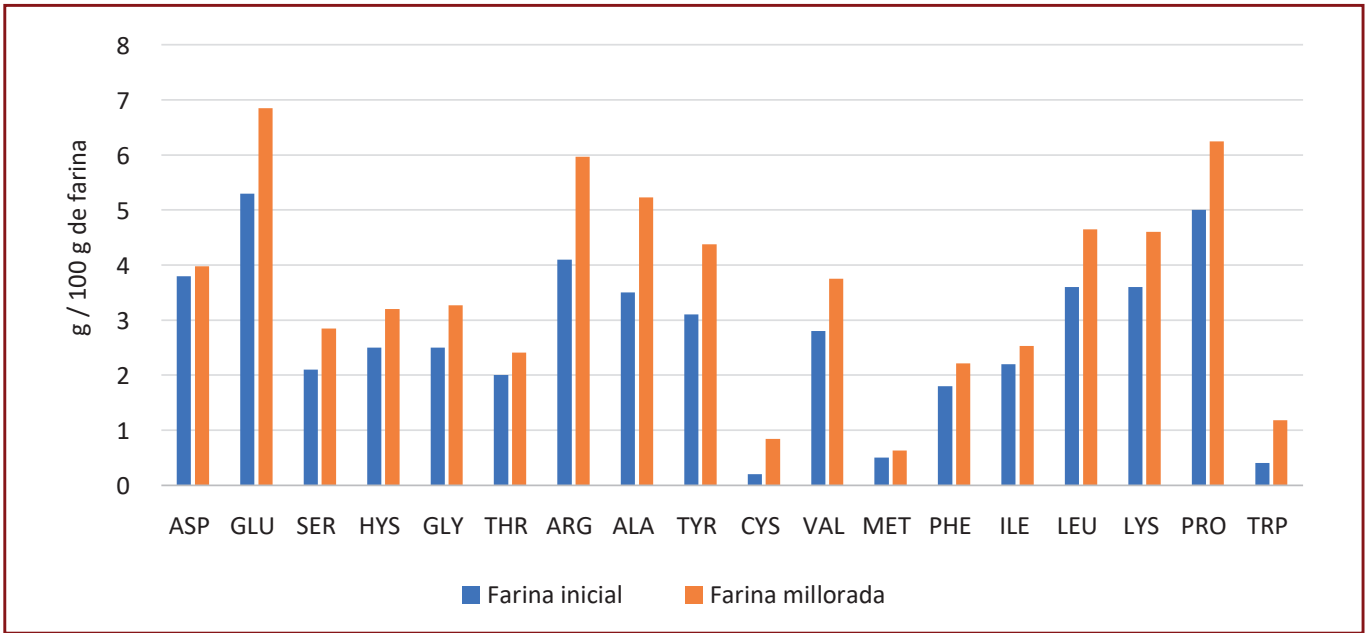


Figura 4. Composició d'aminoàcids totals de la farina inicial i de la farina millorada de TM (valors expressats en grams d'aminoàcids / 100 grams de farina). Font: Elaboració pròpia.

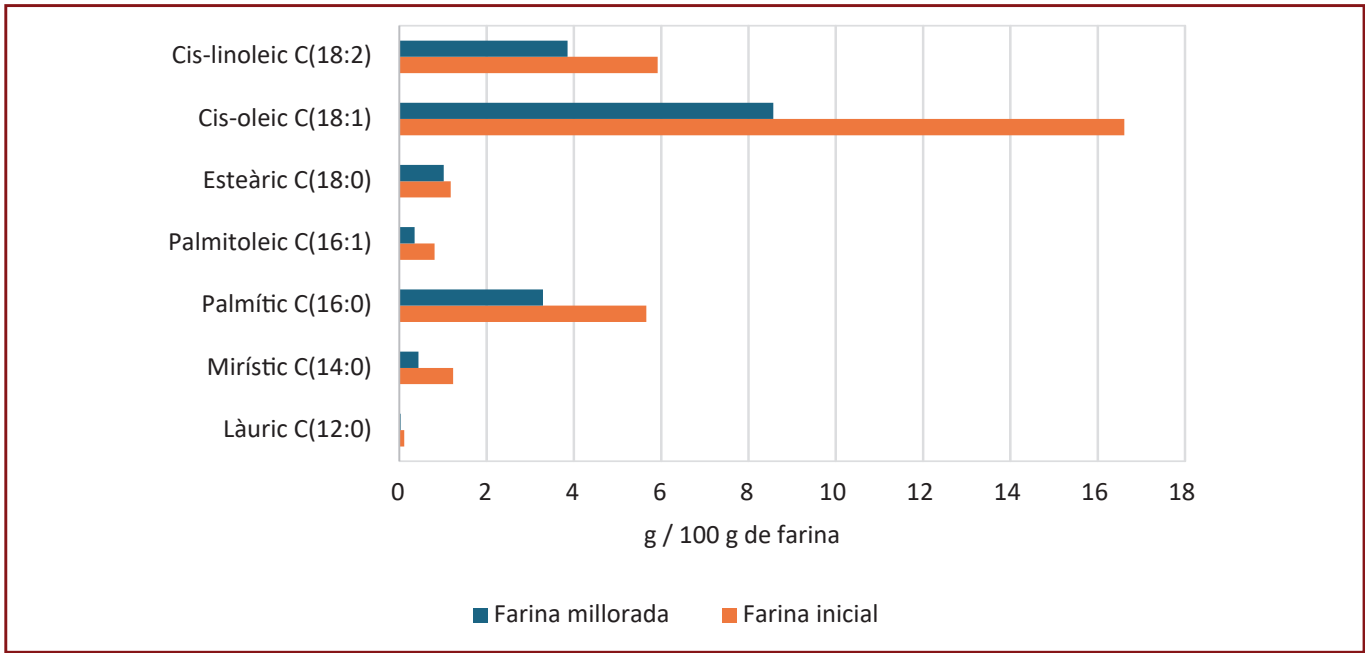


Figura 5. Composició del perfil lipídic de la farina inicial i de la farina millorada de TM (valors expressats en grams d'àcids grassos / 100 g de farina).
Font: Elaboració pròpia.

suma de tots els àcids grassos saturats, la farina de TM té 8,3 g / 100 g de farina (25,9 g / 100 g de greix); com a àcids grassos poliinsaturats, la farina té un total de 6,2 g / 100 g de farina (19,4 g / 100 g de greix), i, com a àcids grassos majoritaris, serien els monoinsaturats, amb un total de 14,5 g / 100 g de farina (54,6 g / 100 g de greix). Respecte a la farina millorada, en els resultats de la taula 1 s'observa que manté el mateix perfil lipídic i es redueixen les quantitats globals degut al desgreixament.

L'anàlisi de minerals i metalls de la farina inicial ens mostra que el fòsfor (P) i el potassi (K) són els macroelements majoritaris, amb continguts d'aproximadament 9.200 ppm (0,9 g / 100 g de farina) i 10.000 ppm (1 g / 100 g de farina), respectivament. En relació amb els microelements, el Zn i el Fe són els majoritaris, amb concentració de 165 ppm (16 g / 100 g de farina) i 68 ppm (6,8 g / 100 g de farina). També cal destacar que no s'ha detectat la presència de metalls pesants en la farina

Taula 2. Composició dels àcids grassos saturats, monoinsaturats i poliinsaturats de la farina inicial i de la farina millorada de TM (valors expressats en grams d'àcids grassos / 100 g de farina)

	FARINA INICIAL (G / 100 G DE FARINA)	FARINA MILLORADA (G / 100 G DE FARINA)
Àcids grassos saturats totals	8,30 ± 0,00	4,90 ± 0,00
Àcids grassos monoinsaturats totals	17,47 ± 0,01	8,99 ± 0,01
Àcids grassos poliinsaturats totals	6,21 ± 0,01	4,10 ± 0,01
Àcids grassos omega-3 (linolènic + EPA + DPA + DHA)	0,20 ± 0,00	0,11 ± 0,01
Àcids grassos omega-6 (linoleic + araquidònic)	5,92 ± 0,01	3,86 ± 0,01

Font: Elaboració pròpia.

Taula 3. Composició de microelements i macroelements de la farina inicial de TM (valors expressats de microelement i macroelement en mg/kg de farina)

NA	MG	P	K	CA
1.845 ± 93	3.244 ± 107	9.199 ± 275	9.993 ± 499	1.205 ± 5
Mn	Fe	Zn	Se	Mo
10,8 ± 0,3	63 ± 2	165 ± 3	0,8 ± 0,1	1,06 ± 0,02

Font: Elaboració pròpia.

Taula 4. Resultats de la caracterització microbiològica de la farina inicial i de la farina millorada de TM

PARÀMETRE	FARINA MILLORADA	FARINA COMERCIAL
Recompte d'aerobis (ufc/g)	6 × 10 ³	4 × 10 ³
Recompte de fongs i llevats (ufc/g)	<10 ^[a]	<10 ^[a]
Recompte de <i>B. cereus</i> (ufc/g)	<10 ^[a]	<10 ^[a]
Recompte de coliformes 30 °C (ufc/g)	<10 ^[a]	<10 ^[a]
<i>Salmonella</i> spp. (ufc/g)	Absència en 25 g	Absència en 25 g
<i>Listeria monocytogenes</i> / <i>Listeria</i> spp. (ufc/g)	Absència en 25 g	Absència en 25 g

Nota: a. No es va observar creixement de colònies presumptives. S'indica com a inferior al límit de detecció.
Font: Elaboració pròpia.

d'Iberinsect. També s'han fet anàlisis microbiològiques i, com es pot observar en la taula 4, no s'ha detectat la presència de *Bacillus cereus*, coliformes, *Salmonella* spp. i *Listeria monocytogenes* en la farina inicial i en la farina millorada. En la farina inicial tampoc no es va detectar la presència (<10 ufc/g) de *Staphylococcus aureus*, *Clostridium perfringens*, *Pseudomonas* spp. i enterobacteris. A més, la farina presenta un recompte d'aerobis baix, de l'ordre de 10³ ufc/g. Els resultats de les darreres anàlisis aporten dades que permeten avaluar favorablement la seguretat de la farina de TM i del procés productiu de la larva.

DESENVOLUPAMENT D'ANÀLEGS CARNIS

En el marc del projecte GO DIIANA s'han desenvolupat tres anàlegs carnis elaborats a partir de farina de TM: de tipus delícia (*nugget*) de pollastre, de tipus salsitxa i de tipus hamburguesa. L'hamburguesa es va desenvolupar com a prototip en el laboratori i després es

Taula 5. Ingredients usats per a l'elaboració dels anàlegs carnis de delícia de pollastre, salsitxa i hamburguesa a partir de TM

INGREDIENT	DELÍCIA DE POLLASTRE	SALSITXA	HAMBURGUESA
Farina millorada de TM	x	x	x
Proteïna texturitzada de soja	x	x	x
Proteïna texturitzada de pèsol	x		x
Midó modificat de blat de moro	x		x
Farina de blat	x		
Farina d'arròs			x
Farina de cigró			x
Fècula de patata		x	
Aigua	x	x	x
Oli de gira-sol	x	x	x
Greix de coco desodoritzat			x
Fibres vegetals	x		x
Alginat de sodi		x	
Lactat gluconat de calci		x	
Sulfat de sodi		x	
Metilcel·lulosa	x		x
Carragenat kappa		x	
Tripolifosfat de sodi		x	
Aromes	x	x	x
Vegetals deshidratats			x
Espècies		x	
Sucre		x	
Sal	x	x	x

Font: Elaboració pròpia.

va procedir a un escalat preindustrial a les instal·lacions de Zyrcular. En el disseny de les formulacions es van establir estratègies per tal d'obtenir una textura mimètica a l'homòleg carni i per reduir o emascarar la percepció de la incorporació de la farina d'insecte. Per assolir aquestes premisses es va treballar amb diferents ingredients, additius i aromes per tal d'optimitzar la percepció aromàtica i sensorial i aportant també una textura fibrosa i consistent als anàlegs carnis. En la taula 5 es poden observar els diferents ingredients emprats per a cada aliment.

A continuació s'ha inclòs una descripció de la preparació de cada tipus d'anàleg prototip (al laboratori) i del procés d'escalat preindustrial de l'anàleg de tipus hamburguesa.

ANÀLEG CARNI DE TIPUS SALSITXA

En el cas de l'anàleg de salsitxa, es van usar com a referència salsitxes càrniques i comercials i es van identificar les fonts de proteïna vegetal i els principals ingredients incorporats en la seva formulació. A partir del recull de dades inicial, es realitzen diferents formulacions per tal de trobar aquella combinació i concentració d'ingredients, conjuntament amb la incorporació de la farina d'insecte, que ofereixi les millors característiques organolèptiques.

Per a l'elaboració de la salsitxa, es va seguir un procés de barreja i emulsió dels ingredients en la màquina per picar la carn, seguit d'embotició de la massa resultant en tripes de cel·lulosa. Les salsitxes es van deixar reposant durant 15-18 hores totalment submergides en un bany de lactat de calci durant una nit i en refrigeració, per tal d'afavorir l'enduriment de la superfície. Posteriorment, es van coure submergides en un bany d'aigua. Finalment, es va retirar la tripa de les salsitxes i es van envasar al buit en bosses retràctils per ser pasteuritzades en l'interior de les bosses.

L'anàleg de salsitxa es va formular a partir d'alginat de sodi, amb les corresponents fonts de calci (sulfat de calci, gluconolactat de calci) per tal de garantir la gelificació de l'alginat. Es va escollir sulfat de calci procurant que la gelificació tingués una cinètica relativament lenta per tal de facilitar el procés d'embotició després de la barreja d'ingredients. La duresa de la salsitxa augmenta durant el procés de cocció degut a l'efecte combinat de la gelificació de la fècula, la solubilització i

activació del carragenat i la coagulació de la proteïna de soja. La duresa de la salsitxa també augmenta durant el temps d'emmagatzematge en refrigeració, degut a la progressiva reacció de l'alginat amb les diferents fonts de calci. Cal tenir en compte que s'ha usat un bany de lactat de calci per tal d'aportar una duresa extra en la superfície de la salsitxa, per imitar la duresa de la mossegada de la pell exterior d'una salsitxa de Frankfurt. Les propietats funcionals de la farina millorada de TM van permetre una bona incorporació en la formulació de l'anàleg de salsitxa en combinació amb la resta dels ingredients (figura 6).



Figura 6. Anàleg de salsitxa.
Font: Elaboració pròpia.

ANÀLEG CARNI DE TIPUS DELÍCIA DE POLLASTRE

Com a punt de partida es van caracteritzar delícies i productes vegans de tipus *nugget* disponibles comercialment i es van identificar les fonts de proteïna vegetal i els principals ingredients incorporats en la seva formulació. Es van realitzar diferents formulacions per establir el percentatge d'incorporació màxim de la farina d'insecte, per tal d'avaluar-ne l'impacte en les propietats sensorials, tant pel que fa a la textura com al perfil aromàtic. En la formulació escollida desapareix la sensació farinosa, degut a la reducció de la mida de partícula de la farina millorada de TM, i l'aroma de pollastre escollit emmascara les notes aromàtiques característiques del TM.

Per preparar les delícies, primer s'hidraten en les proporcions requerides els texturitzats de soja i pèsol. Seguidament es dispersa la metilcel·lulosa en aigua per tal d'assegurar-ne una correcta hidratació i s'hi afegeixen la resta d'ingredients sòlids, prèviament barrejats entre

ells. Després s'hi incorporen els texturitzats vegetals hidratats i, una vegada barrejats, s'hi afegeix l'oli amb l'agitació mecànica de cisalla necessària per emulsionar-lo, sense afectar la fibrositat que aporten els texturitzats. A partir de la massa resultant, es procedeix a la formació de les delícies en unitats individuals de 25 grams i a l'arrebossat.

En els anàlegs de delícia s'ha cercat una formulació que, en escalfar-se durant la cocció, n'augmenti significativament la duresa. L'aplicació de calor durant la cocció afavoreix la gelificació dels midons, la metilcel·lulosa i la coagulació de les proteïnes, cosa que fa augmentar la textura (compressió i tall) de les delícies en consumir-les en calent. També és important mantenir la fibrositat dels texturitzats vegetals per tal d'imitar les fibres característiques de la carn de pollastre. Els resultats de les delícies es poden veure en la figura 7.



Figura 7. Anàleg de delícia de pollastre.
Font: Elaboració pròpia.

ANÀLEG CARNI DE TIPUS HAMBURGUESA

A partir del recull de dades inicials d'hamburgueses càrniques i productes vegans de tipus hamburguesa comercials, s'han dissenyat formulacions que mantinguessin la composició visual de tipus carn picada característica d'una hamburguesa, així com la seva textura i el perfil aromàtic de vedella. Es va seleccionar una barreja de texturitzat de soja i pèsol i es van seleccionar unes mides de partícula específiques, amb l'objectiu d'imitar les característiques organolèptiques pel que fa a la textura i sensació fibrosa en boca de l'homòleg carni. El greix de coco desodoritzat completava el disseny visual amb els punts de greix blanc característics de la carn picada i

aportava palatabilitat, juntament amb l'oli de gira-sol. L'adequació de la mida de partícula i la concentració de la farina **millorada** de TM van permetre la seva incorporació en la formulació de les hamburgueses.

Per a la preparació de les hamburgueses, es van hidratar els texturitzats de soja i pèsol amb les proporcions d'aigua requerides. Seguidament, es va picar el greix de coco desodoritzat. Després de pesar tots els ingredients secs, es van hidratar i barrejar en aigua. Després es van afegir i barrejar els texturitzats vegetals hidratats i el greix de coco. Finalment s'hi va incorporar l'oli de gira-sol mitjançant un procés de pastament. A partir d'aquesta massa resultant es van formar anàlegs de tipus hamburguesa en unitats de 70 grams (figura 8).

Les bones característiques sensorials d'aquesta hamburguesa, el procés de fabricació adaptat a un procés industrial d'una hamburguesa de matriu càrnica i la disponibilitat dels ingredients van fer que Zyrular decidís escalar-ne la producció fins a un nivell preindustrial.



Figura 8. Anàleg d'hamburguesa.
Font: Elaboració pròpia.

ESCALAT INDUSTRIAL DE L'ANÀLEG D'HAMBURGUESA

Zyrular va procedir a l'escalat preindustrial de l'hamburguesa. Partint de la fórmula aportada per Leitat, Zyrular va realitzar-ne alguns canvis al laboratori per tal que la massa es pogués formatejar a escala industrial. Es van fer 50 kg de massa total seguint el procediment estàndard de preparació de productes vegans de tipus hamburguesa. Inicialment, s'hidraten els texturitzats de soja i de proteïna de pèsol en la pastadora. Seguidament, s'hi afegeix el greix de coco, prèviament picat, i la resta d'ingredients en pols i es pasten. Després, s'hi incorpora l'oli de gira-sol i es procedeix al pastament final. Es descarrega de la pastadora i es porta a l'embotidora, on es preparen les hamburgueses estàndard de 100 g. S'envasa en atmosfera modificada de 100 % de nitrogen.

S'obté un producte final compacte i de molt bona qualitat organolèptica. L'anàlisi sensorial en un panel de consumidors ha aportat bones valoracions pel que fa als atributs sensorials avaluats en una escala de 9 punts: aparença, sabor, farinositat, duresa, textura fibrosa i color (figura 9). Cal destacar que la duresa i textura fibrosa obtingudes han estat molt ben valorades pels consumidors (7,8 i 7,5, respectivament). També s'ha obtingut un bon sabor de vedella (7,3), fet que indica que les aromes aplicades permeten aportar un bon perfil aromàtic que emmascara el potencial aroma de TM, i una baixa sensació farinosa (2,1), que podria ser indicativa de la presència de la farina molta de TM. En l'àmbit microbiològic, el producte era segur (lliure de patògens), amb un recompte d'aerobis de 5×10^3 ufc/g i amb un recompte de fongs i llevats per sota del límit de detecció (<10 ufc/g).



Figura 9. Anàleg d'hamburguesa.
Font: Elaboració pròpia.

CONCLUSIONS

El projecte ha demostrat que la farina de TM és una font proteica d'alt valor biològic, amb un perfil nutricional ric en proteïnes (fins al 65,2 % després del procés de millora), àcids grassos saludables (com omega-6) i minerals essencials (Fe, Zn, P).

La farina millorada de TM d'Iberinsect permet incorporar-la d'una manera estable a nivell fisicoquímic en les quatre formulacions alimentàries que s'han desenvolupat en el present projecte. Aquest fet mostra que la farina de TM posseeix unes propietats funcionals adequades per a l'elaboració d'anàlegs carnis en combinació amb fonts de proteïnes vegetals.

Les formulacions d'anàlegs carnis han estat desenvolupades usant els mateixos processos i maquinària presents a la indústria càrnica, fet que permet integrar-ne l'elaboració usant la maquinària ja existent.

L'escalat industrial de l'hamburguesa n'ha confirmat la viabilitat comercial, amb una bona valoració per part dels consumidors en atributs com fibrositat, sabor i absència de farinositat.

«El projecte ha demostrat que la farina de TM és una font proteica d'alt valor biològic.»

Tot i els avanços tecnològics, persisteixen reptes com l'acceptació cultural dels insectes a Occident i l'optimització de costos en la producció a gran escala. No obstant això, el marc regulatori favorable (autorització EFSA) i l'interès creixent en aliments innovadors obren oportunitats per a l'exportació i diversificació de productes basats en proteïna d'insecte.

AGRAÏMENTS

Agraïm especialment la col·laboració de Jordi Calbet, d'Iberinsect, i d'Ot Fortuny i Laia Vergés, de Zyrcular, per tot l'esforç i col·laboració durant l'execució del projecte. També volem agrair especialment tota la dedicació de Naia Almirall durant l'elaboració dels prototips alimentaris.

El projecte GO DIANA ha estat finançat pel programa de Grups Operatius de l'Associació Europea per a la Innovació (AEI) en matèria de productivitat i sostenibilitat agrícoles (operació 16.01.01 del Programa de Desenvolupament Rural de Catalunya (PDR) 2014-2020), del Departament d'Acció Climàtica, Alimentació i Agenda Rural de la Generalitat de Catalunya.

REFERÈNCIES

- EFSA PANEL ON NUTRITION, NOVEL FOODS AND FOOD ALLERGENS (NDA) (2021). «Safety of dried yellow mealworm (*Tenebrio molitor* larva) as a novel food pursuant to Regulation (EU) 2015/2283 (2021)». *EFSA Journal* [en línia], 19 (1), 6343. <<https://doi.org/10.2903/j.efsa.2021.6343>>.
- ELHASSAN, M.; WENDIN, K.; OLSSON, V.; LANGTON, M. (2019). «Quality aspects of insects as food - Nutritional, sensory, and related concepts». *Foods* [en línia], 8 (3), 95. <<https://doi.org/10.3390/foods8030095>>.
- FAO = FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS (2021). *Looking at edible insects from a food safety perspective: Challenges and opportunities for the sector* [en línia]. Roma: FAO. <<https://doi.org/10.4060/cb4094en>>.
- GOULD, J.; WOLF, B. (2018) «Interfacial and emulsifying properties of mealworm protein at the oil/water interface». *Food Hydrocolloids* [en línia], 77, p. 57-65. <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.018>>.
- HUIS, A. van (2020). «Insects as food and feed, a new emerging agricultural sector: a review». *Journal of Insects as Food and Feed* [en línia], 6 (1), p. 27-44. <<https://doi.org/10.3920/JIFF2019.0017>>.
- QUEIROZ, L. S.; SILVA, N. F. N.; JESSEN, F.; MOHAMMADIFAR, M. A.; STEPHANI, R.; CARVALHO, A. F. de; PERRONE, Í. T.; CASANOVA, F. (2023). «Edible insect as an alternative protein source: A review on the chemistry and functionalities of proteins under different processing methods». *Heliyon* [en línia], 9 (4), e14831. <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e14831>>.

Reglament (UE) 2015/2283 del Parlament Europeu i del Consell, de 25 de novembre de 2015, relatiu als nous aliments, pel qual es modifica el Reglament (UE) núm. 1169/2011 del Parlament Europeu i del Consell i es deroga el Reglament (CE) núm. 258/97 del Parlament Europeu i del Consell i el Reglament (CE) núm. 1852/2001 de la Comissió [en línia]. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32015R2283>> [Consulta: 15 abril 2025].

Reglament d'execució (UE) 2021/882 de la Comissió, d'1 de juny de 2021, pel qual s'autoritza la comercialització de larves de *Tenebrio molitor* dessecades com a nou aliment d'acord amb el Reglament (UE) 2015/2283 del Parlament Europeu i del Consell i es modifica el Reglament d'execució (UE) 2017/2470 de la Comissió [en línia]. <<https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=CELEX:32021R0882>> [Consulta: 17 abril 2025].

Reglament d'execució (UE) 2025/89 de la Comissió, de 20 de gener de 2025, pel qual s'autoritza la comercialització de pols tractada amb radiació ultraviolada de larves senceres de *Tenebrio molitor* (cuc de la farina) com a nou aliment i es modifica el Reglament d'Execució (UE) 2017/2470 [en línia]. <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/ES/TXT/HTML/?uri=OJ:L_202500089> [Consulta: 17 abril 2025].

RUMPOLD, B. A.; SCHLÜTER, O. K. (2013). «Nutritional composition and safety aspects of edible insects». *Molecular Nutrition & Food Research* [en línia], 57 (5), p. 802-823. <<https://doi.org/10.1002/mnfr.201200735>>.

SEO, H.; KIM, H. R.; CHO, I. H. (2020). «Aroma characteristics of raw and cooked *Tenebrio molitor* larvae (Mealworms)». *Food Science of Animal Resources* [en línia], 40 (4), p. 649-658. <<https://doi.org/10.5851/kosfa.2020.e35>>.

SMETANA, S.; SCHMITT, E.; MATHYS, A. (2019). «Sustainable use of *Hermetia illucens* insect biomass for feed and food: Attributional and consequential life cycle assessment». *Resources, Conservation and Recycling* [en línia], 144, p. 285-296. <<https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.01.042>>.

VAUTERIN, A.; STEINER, B.; SILLMAN, J.; KAHILUOTO, H. (2021). «The potential of insect protein to reduce food-based carbon footprints in Europe: The case of broiler meat production». *Journal of Cleaner Production* [en línia], 320, 128799. <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128799>>.

WENDIN, K.; OLSSON, V.; LANGTON, M. (2019) «Mealworms as food ingredient —Sensory. Investigation of a model system (2019)». *Foods* [en línia], 8 (8), 319. <<https://doi.org/10.3390/foods8080319>>.