

Insectes en productes extrudits: una aplicació amb gran potencial

ARNAU VILAS-FRANQUESA



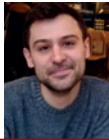
Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), MALTA Consolider Team, Animal and Food Science Department, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra. Professor Lector Serra Hünter.

IDOIA CODINA-TORRELLA



Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), MALTA Consolider Team, Animal and Food Science Department, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra.

ARTURO BLÁZQUEZ SORO



Centre d'Innovació, Recerca i Transferència en Tecnologia dels Aliments (CIRTTA), MALTA Consolider Team, Animal and Food Science Department, Facultat de Veterinària, Universitat Autònoma de Barcelona, 08193 Bellaterra, Espanya. Professor Lector Serra Hünter.

La necessitat social i ambiental de transformar el sistema alimentari actual i reduir la producció animal ha impulsat l'interès de la indústria alimentària per l'obtenció de noves propostes com a alternatives a la carn, el que s'anomenen *proteïnes alternatives* (Godfray *et al.*, 2024). Actualment ja hi ha al mercat diferents alternatives, anàlegs que intenten suplir els productes carnis mimetitzant-ne les característiques nutricionals, fisicoquímiques, organolèptiques i funcionals. La utilització d'aquestes fonts alternatives de proteïnes s'ha consolidat com una estratègia reeixida i prometedora per al desenvolupament de nous productes alimentaris alineats amb les noves tendències del sector. Entre aquestes alternatives, trobem els insectes, una proposta molt prometedora per a la indústria (Conway *et al.*, 2024).

La producció d'insectes segueix un model sostenible i econòmicament més rendible que la producció de certs productes animals (Vinci *et al.*, 2022). No obstant això, la neofòbia alimentària (també coneguda com el rebuig a aquells productes alimentaris que són nous) segueix sent una barrera important per a la comercialització de productes que contenen insectes, especialment en països on no són consumits habitualment, com són els països europeus. A més a més, la moderada existència d'informació referent als possibles riscos relacionats amb la seva composició i consum (per exemple, presència de micotoxines, pesticides, paràsits, compostos al·lèrgics, etc.), així com la seva relació amb mesures higièniques deficientes, en dificulta l'acceptació (Caparros Megido *et al.*, 2016).

Aplicar tecnologies específiques que puguin emmascarar algunes de les seves característiques i millorar-les (com la seva forma, color, sabor o aroma) pot ser una estratègia clau per incrementar-ne l'acceptabilitat (Tolve *et al.*, 2025). L'extrusió es presenta com una de les tecnologies més prometedores que poden donar resposta a aquesta necessitat. L'extrusió és un procés continu en què una barreja alimentària s'impulsa a través d'un barril mitjançant un vis sens fi, dins el qual és sotmès a diferents fenòmens físics (compressió, escalfament, forces de cisalla, etc.) (Yacu, 2020) i és forçat a sortir a través d'un orifici final de mida reduïda. La combinació d'aquests fenòmens determinarà les propietats nutricionals, fisicoquímiques, organolèptiques i fins i tot microbiològiques del producte processat (Sánchez-Velázquez *et al.*, 2024).

El procés d'extrusió es divideix, principalment, en extrusió d'alta humitat o extrusió de baixa humitat. A part de diferències durant el procés, que es detallen més avall, el contingut d'humitat durant l'extrusió serà el principal paràmetre que diferirà, i aquest condicionarà, en certa mesura, les propietats del producte final: l'extrusió d'alta humitat genera productes densos i fibrosos similars a la carn, mentre que la de baixa humitat produeix textures poroses i cruixents, ideals per a *snacks*.

«El procés d'extrusió es divideix, principalment, en extrusió d'alta humitat o extrusió de baixa humitat.»

EXTRUSIÓ DE BAIXA HUMITAT AMB FARINA D'INSECTE

L'extrusió a baixa humitat (coneguda per les sigles LME, de l'anglès *low moisture extrusion*) és un procés en què una barreja d'ingredients es comprimeix, s'escalfa i es força per una petita obertura al final de l'extrusor. En sortir de l'extrusor, el canvi bruscat de pressió provoca una abrupta evaporació de l'aigua, que causa una ràpida expansió, i genera un producte cruixent, lleuger i porós, típic en *snacks* com ara cereals inflats (Dekkers *et al.*, 2018; Schmid *et al.*, 2022). Durant el procés es treballa amb un contingut d'aigua d'entre el 14% i el 32%. L'aigua és essencial per a la correcta hidratació del midó, un altre component molt important per a aquest tipus d'extrusions. El fet que el producte es pugui expandir més o menys dependrà no només de la quantitat de midó, que és el polímer que s'expandeix quan s'evapora l'aigua, sinó també de la seva correcta hidratació i gelatinització durant el procés.

Altres factors clau en el procés d'extrusió per aconseguir la textura ideal, a part de la presència de midó i el contingut d'aigua, són la temperatura i la velocitat de gir del vis sens fi. En extrusions de baixa humitat normalment es treballa entre 100-160 °C, i se sap que temperatures més altes afavoreixen una millor expansió (Bouvier i Campanella, 2014). Les velocitats més altes també incrementen la porositat i proporcionen una textura més cruixent (Azzollini *et al.*, 2018).

Hi ha diferents factors que poden influir negativament en la capacitat d'expansió del producte i, en general, es deriven de les possibles interaccions amb el midó. Això és molt important especialment quan estem dissenyant nous productes derivats de l'ús de nous ingredients, com és el cas de l'ús de farina d'insecte. Els insectes tenen altes concentracions de proteïnes, greixos i quitina. La quitina és un tipus de carbohidrat present a l'exoesquelet dels insectes en la seva fase adulta i (habitualment) larvària. Aquest carbohidrat actua com a fibra en humans, tal com la cel·lulosa, ja que no la podem digerir. Encara que això aporta beneficis nutricionals, la presència de quitina pot afectar l'expansió i textura dels productes extrudits (Azzollini *et al.*, 2018). La quitina pot interferir en les interaccions midó-proteïna, limitar l'expansió del midó i generar productes més densos (Ruszkowska *et al.*, 2022). Els greixos dels insectes també poden dificultar la hidratació del midó, essencial per a la gelatinització i l'expansió. Tot i això, els greixos també aporten beneficis durant el procés, ja que poden actuar com a

lubricants naturals dins l'extrusora (Wójtowicz *et al.*, 2023). Les proteïnes són la fracció més important de les farines d'insectes i un dels atributs que les fa més valuoses. S'ha vist, però, que una quantitat elevada pot reduir l'expansió del producte i crear textures més denses, ja que les proteïnes interactuen amb el midó i n'afecten la capacitat d'expansió (Azzollini *et al.*, 2018). Això es pot veure clarament als extrudits de soja amb baixa humitat, que són productes densos que necessiten una hidratació abans de ser cuinats.

Els *snacks* extrudits amb insectes poden tenir un gust lleugerament torrat o ametllat gràcies a la reacció de Maillard (interacció entre aminoàcids i sucres reductors durant l'extrusió). En productes que fan servir farina d'insecte, la coloració sol ser més fosca a causa d'aquesta reacció (l'insecte aporta molta quantitat de proteïna), la qual cosa pot ser un repte en l'acceptació visual del consumidor (Ribeiro *et al.*, 2021). Per millorar-ne l'acceptació, és recomanable utilitzar insectes de coloració clara, com els grills, que aporten menys canvis visuals (Ramírez-Rivera *et al.*, 2021; Ribeiro *et al.*, 2021). Així mateix, la combinació d'insectes amb altres ingredients coneguts pels consumidors, com el blat de moro o l'aròs, pot facilitar-ne l'acceptació.

EXTRUSIÓ D'ALTA HUMITAT AMB FARINA D'INSECTE

L'extrusió d'alta humitat (coneguda per les sigles HME, de l'anglès *high moisture extrusion*) és una tècnica innovadora utilitzada per transformar concentrats o aïllats de proteïna en productes densos i fibrosos amb una aparença molt similar a la carn. Aquesta tecnologia ha esdevingut fonamental en el desenvolupament d'alternatives a la carn tradicionals, especialment en el context d'una demanda creixent per a dietes més sostenibles basades en plantes (Schmid *et al.*, 2022).

Per dur a terme aquest procés, habitualment s'utilitzen extrusores de doble cargol, que permeten una gran versatilitat i l'obtenció d'una àmplia gamma de productes, des d'imitacions de pollastre fins a peces que simulen filets o trossos de peix (Zhang *et al.*, 2023). Aquest tipus d'extrusió es caracteritza per treballar amb un contingut d'humitat del material que oscil·la entre el 40% i el 70%, i amb temperatures que poden arribar als 140-170 °C. Aquest nivell d'humitat diferencia l'HME de l'extrusió de baixa humitat (LME). L'aigua s'introdueix generalment al barriol d'extrusió a través d'una entrada específica. A l'interior, el disseny dels cargols incorpora zones de pastat i barreja per assegurar una mescla adequada entre la frac-

Taula 1. Resum de les diferències més importants entre extrusions d'alta i baixa humitat per a la producció d'extrudits d'insectes

CATEGORIA	EXTRUSIÓ D'ALTA HUMITAT (HME)	EXTRUSIÓ DE BAIXA HUMITAT (LME)
Humitat	40-70 %. Afavoreix l'estructura fibrosa	14-32 %. Expansió ràpida i textura porosa
Proteïnes	Necessita control precís per a textura fibrosa	Alta proteïna redueix l'expansió i gelatinització
Greixos	>15% desfavoreix l'estructura; millor amb desgreixament	≥5% limita expansió; pot actuar com a lubricant
Carbohidrats	—	Influeixen en l'expansió segons tipus i contingut
Quitina	Dificulta alineació proteica	Redueix l'expansió i digestibilitat
Textura	Densa i fibrosa (similitud a carn)	Cruixent i lleugera
Estabilitat microbiològica	Més limitada; calen tractaments complementaris	Més estable; baixa activitat d'aigua
Envasament	Control d'oxigen i humitat (atmosfera modificada, buit, etc.)	Requisits d'envasament mínims
Aplicacions	Sucedanis carnis, proteïnes estructurades	Snacks, pinso

Font: Elaboració pròpia.

ció sòlida i el líquid, a més d'augmentar la fricció mecànica i l'energia mecànica específica (SME, per la seva sigla en anglès) aplicada al producte (Schmid *et al.*, 2022). Aquesta energia, mesurada en kJ/kg, reflecteix la quantitat de treball transmès del motor al material extrudit. És un factor clau que influeix tant en la textura com en la microestructura del producte final (Fang *et al.*, 2014).

La combinació de calor, hidratació, pressió i deformació mecànica fa que les proteïnes es plastifiquin i es fonguin (Dekkers *et al.*, 2018). Aquests canvis s'inicien a la zona de barreja, on la temperatura i la pressió comencen a augmentar i provoquen nombroses modificacions conformacionals en les proteïnes, com la desnaturalització i la reorganització de les cadenes polipeptídiques (Zhang *et al.*, 2019). L'abast i la naturalesa d'aquestes modificacions depenen tant de la composició del material de partida —per exemple, el tipus i contingut de proteïna, la presència de midons o fibres— com de les condicions específiques del procés d'extrusió, com la temperatura, la humitat, la velocitat de gir dels cargols o el disseny de l'extrusora.

Un cop el material arriba a l'extrem de l'extrusora, es troba a alta pressió i alta temperatura. Si es deixés expandir lliurement, l'aigua residual es vaporitzaria sobtadament i provocaria l'expansió del producte, tal com passa a la LME. Aquest fenomen és contraproductiu en la producció de substituents carnis, en els quals es busca obtenir una estructura compacta i fibrosa, similar a la carn (Dekkers *et al.*, 2018; Schmid *et al.*, 2022). Per evitar aquesta expansió, en l'extrusió d'alta humitat s'instal·la un motlle de refredament allargat just després de la sortida de l'extrusora. Aquest motlle permet que el material es refredi de manera controlada, sovint reduint la tempe-

ratura fins als 30-80 °C abans que el producte surti. Durant aquest refredament, el producte se solidifica de manera controlada, sense expandir-se, i es formen fibres a mesura que les proteïnes tornen a establir enllaços intra- i intermoleculars que s'havien trencat durant la fase de processament (Schmid *et al.*, 2022). A més, el flux laminar que es genera dins del motlle de refredament també afavoreix l'alineació de cadenes proteiques i, per tant, la formació d'una xarxa densa i orientada, que confereix al producte final la textura característica que recorda la carn animal (Dekkers *et al.*, 2018).

L'orientació de la xarxa proteica és essencial per imitar la mossegada i la sensació en boca de productes carnis en aquest tipus d'extrudits, aspectes clau per a l'acceptació per part dels consumidors. Gràcies a la capacitat de modular les condicions d'extrusió i de refredament, l'HME permet crear una gran varietat de textures, adaptant-se tant a productes que imiten filets i tires de pollastre com a ingredients més suaus o esponjosos per a la producció d'hamburgueses vegetals (Guyony *et al.*, 2022).

REFERÈNCIES

- AZZOLLINI, D.; DEROSI, A.; FOGLIANO, V.; LAKEMOND, C. M. M.; SEVERINI, C. (2018). «Effects of formulation and process conditions on microstructure, texture and digestibility of extruded insect-riched snacks». *Innovative Food Science & Emerging Technologies* [en línia], 45, p. 344-353. <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2017.11.017>>.
- BOUVIER, J.; CAMPANELLA, O. H. (2014). *Extrusion processing technology* [en línia]. Nova York: Wiley. <<https://doi.org/10.1002/9781118541685>>.
- CAPARRÓS MEGIDO, R.; GIERTS, C.; BLECKER, C.; BROSTAUX, Y.; HAUBRUGE, É.; ALABI, T.; FRANCIS, F. (2016). «Consumer acceptance of insect-based al-

- ternative meat products in Western countries». *Food Quality and Preference* [en línia], 52, p. 237-243. <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.05.004>>.
- CONWAY, A.; JAISWAL, S.; JAISWAL, A. K. (2024). «The potential of edible insects as a safe, palatable, and sustainable food source in the European Union». *Foods* [en línia], 13 (3), 387. <<https://doi.org/10.3390/foods13030387>>.
- DEKKERS, B. L.; BOOM, R. M.; GOOT, A. J. van der (2018). «Structuring processes for meat analogues». *Trends in Food Science & Technology* [en línia], 81, p. 25-36. <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2018.08.011>>.
- FANG, Y.; ZHANG, B.; WEI, Y. (2014). «Effects of the specific mechanical energy on the physicochemical properties of texturized soy protein during high-moisture extrusion cooking». *Journal of Food Engineering* [en línia], 121, p. 32-38. <<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2013.08.002>>.
- GODFRAY, H. C. J.; POORE, J.; RITCHIE, H. (2024). «Opportunities to produce food from substantially less land». *BMC Biology* [en línia], 22 (1), 138. <<https://doi.org/10.1186/s12915-024-01936-8>>.
- GUYONY, V.; FAYOLLE, F.; JURY, V. (2022). «High moisture extrusion of vegetable proteins for making fibrous meat analogs: A review». *Food Reviews International* [en línia], 39 (7), p. 4262-4287. <<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2023816>>.
- RAMÍREZ-RIVERA, E. J.; HERNÁNDEZ-SANTOS, B.; JUÁREZ-BARRIENTOS, J. M.; TORRUCO-UCO, J. G.; RAMÍREZ-FIGUEROA, E.; RODRÍGUEZ-MIRANDA, J. (2021). «Effects of formulation and process conditions on chemical composition, color parameters, and acceptability of extruded insect-rich snack». *Journal of Food Processing and Preservation* [en línia], 45 (5). <<https://doi.org/10.1111/jfpp.15499>>.
- RIBEIRO, L.; CUNHA, L. M.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; MARTÍNEZ-MONZÓ, J.; IGUAL, M. (2021). «Effect of the house cricket (*Acheta domestica*) inclusion and process temperature on extrudate snack properties». *Journal of Insects as Food and Feed* [en línia], 7 (7), p. 1117-1130. <<https://doi.org/10.3920/JIFF2020.0126>>.
- RUSZKOWSKA, M.; TAŃSKA, M.; KOWALCZEWSKI, P. Ł. (2022). «Extruded corn snacks with cricket powder: Impact on physical parameters and consumer acceptance». *Sustainability* [en línia], 14 (24), p. 16578. <<https://doi.org/10.3390/su142416578>>.
- SÁNCHEZ-VELÁZQUEZ, O. A.; MA, Z.; MIRÓN-MÉRIDA, V.; MONDOR, M.; HERNÁNDEZ-ÁLVAREZ, A. J. (2024). «Insect processing technologies». A: GARCÍA-VAQUERO, M.; ÁLVAREZ GARCÍA, C. (ed.). *Insects as food and food ingredients* [en línia]. Londres: Elsevier, p. 67-92. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-323-95594-2.00020-3>>.
- SCHMID, E.; FARAHNAY, A.; ADHIKARI, B.; TORLEY, P. J. (2022). «High moisture extrusion cooking of meat analogs: A review of mechanisms of protein texturization». *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* [en línia], 21 (6), p. 4573-4609. <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.13030>>.
- TOLVE, R.; ZANONI, M.; SPORTIELLO, L.; MUSOLLINI, S.; TCHUENBOU-MAGAIA, F. L.; FAVATI, F. (2025). «From fear to fork—exploring food neophobia and the inclination towards entomophagy in Italy». *International Journal of Food Science and Technology* [en línia], 60 (1). <<https://doi.org/10.1093/ijfood/vvae047>>.
- VINCI, G.; PRENCIPE, S. A.; MASIELLO, L.; ZAKI, M. G. (2022). «The application of life cycle assessment to evaluate the environmental impacts of edible insects as a protein source». *Earth* [en línia], 3 (3), p. 925-938. <<https://doi.org/10.3390/earth3030054>>.
- WÓJTOWICZ, A.; COMBRZYŃSKI, M.; BIERNACKA, B.; ONISZCZUK, T.; MITRUS, M.; RÓŻYŁO, R.; GANCARZ, M.; ONISZCZUK, A. (2023). «Application of edible insect flour as a novel ingredient in fortified snack pellets: Processing aspects and physical characteristics». *Processes* [en línia], 11 (9), 2561. <<https://doi.org/10.3390/pr11092561>>.
- YACU, W. (2020). «Extruder screw, barrel, and die assembly: General design principles and operation». A: GANJYAL, G. M. (ed.). *Extrusion cooking* [en línia]. Londres: Elsevier, p. 73-117. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815360-4.00003-1>>.
- ZHANG, J.; LIU, L.; LIU, H.; YOON, A.; RIZVI, S. S. H.; WANG, Q. (2019). «Changes in conformation and quality of vegetable protein during texturization process by extrusion». *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* [en línia], 59 (20), p. 3267-3280. <<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1487383>>.
- ZHANG, Z.; ZHANG, L.; HE, S.; LI, X.; JIN, R.; LIU, Q.; CHEN, S.; SUN, H. (2023). «High-moisture extrusion technology application in the processing of textured plant protein meat analogues: A review». *Food Reviews International* [en línia], 39 (8), p. 4873-4908. <<https://doi.org/10.1080/87559129.2021.2024223>>.