

Fermentació en estat sòlid: una tècnica amb gran potencial pel suprareciclatge (upcycling)

Solid-state fermentation: A technique with a high upcycling potential



ARNAU VILAS-FRANQUESA

Investigador postdoctoral Margarita Salas en Ciència dels Aliments a la Universitat de Barcelona (UB) i la Universitat Autònoma de Barcelona (UAB).



JULIANA VILLASANTE

Investigadora postdoctoral Margarita Salas en Ciència dels Aliments a la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC) i cofundadora de GrillCo.

RESUM: La sostenibilitat en la indústria alimentària és un concepte que cada vegada desperta més interès per la situació ambiental que vivim. Una part important de qualsevol procés alimentari subjecte a millores sostenibles són els residus o subproductes. En aplicar estratègies d'aquest tipus, és important diferenciar entre valoritzar i suprareciclar. Els dos conceptes s'integren perfectament dins el marc de la bioeconomia circular, però només el segon permetrà un ús del subproducte transformat dins la indústria alimentària. Una manera de valoritzar o suprareciclar un subproducte és a través de la fermentació en estat sòlid (FES). Aquesta tecnologia ens permet valoritzar i suprareciclar subproductes mitjançant microorganismes amb una mínima addició d'aigua i un mínim cost energètic. En el camp de la valorització, l'estratègia rau a utilitzar fermentació de precisió per produir compostos d'interès com etanol, bioestimulants o biopesticides. En el camp del suprareciclatge, la FES ens permet: 1) extraure components d'interès, com compostos fenòlics o oligosacàrids; 2) modificar la composició nutricional del subproducte, com la producció d'àcids grassos poliinsaturats a partir de saturats i monosaturats, i 3) un reciclatge del 100% del subproducte o suprareciclatge total, com la producció de farines de llavors. Malgrat els seus beneficis, la FES presenta reptes significatius, especialment en l'escalat industrial. El control precís dels paràmetres de procés, com la temperatura i la humitat, és crucial per optimitzar el creixement microbià i la producció de metabòlits. La investigació contínua en la tecnologia de FES és vital per superar aquests obstacles i destapar el potencial complet de la FES en el suprareciclatge de

ABSTRACT: *Sustainability in the food industry is a concept that is gaining increasing interest due to the environmental situation we are experiencing. An important part of any food process subject to sustainable improvements are its residues or byproducts. When applying such strategies, it is crucial to differentiate between valorization and upcycling. Both concepts integrate perfectly within the framework of a circular bioeconomy, but the latter alone allows the use of the byproduct within the food industry. One way to valorize or upcycle a byproduct is through solid-state fermentation (SSF). This technology allows us to valorize and upcycle byproducts using microorganisms, with minimal water addition and minimal energy expenditure. In the field of valorization, the strategy lies in using precision fermentation to produce compounds of interest such as ethanol, biostimulants and biopesticides. In the field of upcycling, SSF enables us to: (1) extract components of interest, such as phenolic compounds or oligosaccharides, (2) modify the nutritional composition of the byproduct, as by producing polyunsaturated fatty acids from saturated and monounsaturated fatty acids, and (3) achieve 100% recycling of the byproduct, or total upcycling, as with the production of seed flours. Despite its benefits, however, SSF presents significant challenges, especially in industrial scale-up. Precise control of process conditions, such as temperature and humidity, is critical to optimize microbial growth and metabolite production. Ongoing research in SSF technology is vital to overcome these obstacles and to unlock the full potential of SSF in the upcycling of food industry*

subproductes de la indústria alimentària. La FES és un pilar fonamental en un futur on la biotecnologia serà clau en la gestió eficient de recursos i la minimització de l'impacte ambiental de la indústria alimentària.

PARAULES CLAU: fermentació en estat sòlid, sostenibilitat, components bioactius, indústria alimentària, valorització, suprareciclar.

by-products. SSF is a fundamental pillar of a future in which biotechnology will be key in efficient resource management and in minimizing the environmental impact of the food industry.

KEYWORDS: *solid-state fermentation, sustainability, bioactive compounds, food industry, valorization, upcycling.*

INTRODUCCIÓ

La fermentació és un procés biològic en què microorganismes com llevats, bacteris i alguns fongs transformen substàncies orgàniques com sucres i midons, en alcohols, gasos i àcids orgànics, per l'obtenció d'energia, a través de rutes metabòliques en les quals l'acceptor final d'electrons no és l'oxigen sinó altres compostos orgànics. La fermentació és un procés fonamental en diverses indústries, com l'alimentària, la farmacèutica i la dels biocombustibles. Dins del procés de fermentació, podem discernir dos grans camps: la fermentació en estat sòlid (FES) i la fermentació en estat líquid (FEL). La FEL utilitza medis aquosos dissenyats per optimitzar el creixement i la producció de metabòlits d'interès, mentre que **la FES es realitza en substrats sòlids o semisòlids sense la presència de lliure flux d'aigua**. Aquesta diferència fonamental afecta tant el tipus de microorganisme que es pot cultivar com el producte que se'n pot obtenir. El procés més utilitzat en l'àmbit industrial és la FEL, perquè és la tecnologia que està més estudiada i perquè (en general) hi ha més microorganismes disponibles. Un exemple d'aquesta tecnologia és la producció de micoproteïna (proteïna de fong) a través de solucions riques en carbohidrats simples i amb l'addició d'amoni com a font de nitrogen. La FES sol estar reservada només a aquells microorganismes que es poden permetre créixer en condicions amb poca aigua. Tot i això, en la FES, com que s'utilitzen substrats sòlids, **sovint s'aprofiten residus orgànics com a medi de cultiu**, la qual cosa promou la sostenibilitat del procés productiu perquè recicla subproductes i així redueix la producció potencial de residus (Oiza *et al.*, 2022; Mattedi *et al.*, 2023). Cal mencionar que, en general, s'utilitza el terme *FES* per referir-se al creixement de microorganismes en suports sòlids, però en molts processos **la FES requereix una aportació d'oxigen adequada**.

En el camp de la FES disposem d'una àmplia gamma de microorganismes, incloent llevats, bacteris i fongs filamentosos, que són utilitzats per la seva eficàcia en la

transformació de substrats sòlids en productes d'alt valor afegit. Els microorganismes més comuns inclouen *Aspergillus* spp., *Bacillus* spp. i llevats com *Saccharomyces cerevisiae*. Les aplicacions de la FES són extenses i diverses, en destaca la producció d'enzims, biopesticides i biostimulants que ofereixen alternatives sostenibles als mètodes convencionals de producció química (Solano Porras *et al.*, 2023). També es pot utilitzar FES per produir àcids orgànics (p. e., àcid cítric (Hamdy, 2013)), extracció de compostos fenòlics (Spaggiari *et al.*, 2020) o producció de biomassa (Ibarruri, Cebrián i Hernández, 2021).

La recerca en aquest camp ha evidenciat la seva importància creixent en la promoció d'una agricultura més verda i en processos interessants dins el marc de l'economia circular, utilitzant residus agrícoles i industrials com a substrats per produir bioproductes de valor afegit. Aquesta convergència de gestió de residus i producció sostenible obre noves vies per a la innovació en sectors com l'alimentari, el farmacèutic i l'agrícola, i promet un futur on la biotecnologia té un paper clau en l'assegurament de processos més nets i eficients (Oiza *et al.*, 2022; Mattedi *et al.*, 2023). Quan ens endinsem en el món alimentari, que és el cor d'aquest article, és necessari entendre el concepte de suprareciclatge i diferenciar-lo del concepte de valorització, un altre concepte àmpliament utilitzat en la indústria.

VALORITZAR VS. SUPRARECICLAR

Moltes vegades ens referim a valoritzar un residu alimentari com a eina per fer-ne un ús alternatiu. No obstant això, a vegades ens referim a valoritzar quan en realitat ens estem referint a suprareciclar o supravvaloritzar (*upcycling*), i és necessari separar el terme *valoritzar* del terme *suprareciclar*. Valoritzar és utilitzar un residu com a matèria primera, ja sigui parcialment o totalment, per a la producció d'un altre ingredient o producte amb

un benefici clar per a la societat. En general, quan parlem de valorització parlem de fermentacions de precisió per **produir un producte amb alt valor afegit fora de la indústria alimentària** (vegeu la figura 1). Per exemple, podem parlar de producció de bioestimulants, biopesticides, enzims (també utilitzats en la indústria alimentària), biogàs, etc. L'objecte de la valorització és el producte resultant en comptes del màxim aprofitament del producte original dins la indústria alimentària. En aquest cas, posteriors etapes de purificació del compost (o etapes de *downstream*) són necessàries per aconseguir el producte d'interès, cosa que pot comprometre la sostenibilitat general del procés. Un clar exemple de valorització és l'obtenció d'enzims cel·lulòsics a través de la fermentació de pell de patata (Dos Santos *et al.*, 2012).

En canvi, el terme *suprareciclar* va més enllà. **Suprareciclar és utilitzar un subproducte** com a matèria primera per a la producció d'un nou ingredient o producte amb un **alt valor afegit dins la indústria alimentària** (vegeu la figura 1). En aquest cas, doncs, el subproducte mai abandona la cadena alimentària (mai es defineix com a residu), un atribut molt interessant dins el marc del reaprofitament alimentari. En aquest cas, la transformació és per motius nutricionals, a banda dels ja exemplificats motius ecològics i econòmics en processos de valorització. Alguns exemples inclouen la producció

d'extractes funcionals (rics en compostos fenòlics, oligosacàrids amb capacitat prebiòtica, vitamines, etc.) a partir de productes lignocel·lulòsics (p. e., bagàs de la canya de sucre) o la producció de farina funcional a partir de pinyols de fruita (p. e., utilitzant la llavor del mango o del préssec).

El suprareciclatge pot derivar en dos escenaris: originar o no originar un nou subproducte. Això és perquè quan es volen extreure compostos bioactius i produir extractes de material inicialment insoluble, el procés no és eficient al 100%, i això condueix a l'origen d'un subproducte sòlid exhaust. Aquest subproducte exhaust es pot tractar amb més subprocessos que no incloguin la FES, però això podria generar un impacte negatiu en la sostenibilitat de tot el procés, especialment quan es podrien explorar altres vies de suprareciclatge. De totes maneres, aquestes extraccions són àmpliament utilitzades en etapes inicials d'investigació (proves de concepte). Per exemple, *Aspergillus niger* i *Aspergillus oryzae* han sigut utilitzats recentment en la producció d'extractes rics en compostos fenòlics després de la FES de la brisa del raïm (Meini *et al.*, 2021). Normalment, l'extracte és el que es considera més preuat i se'n fa una anàlisi exhaustiva, deixant de banda l'eficiència del procés i per descomptat la qualitat del subproducte (exhaust), que perdura.

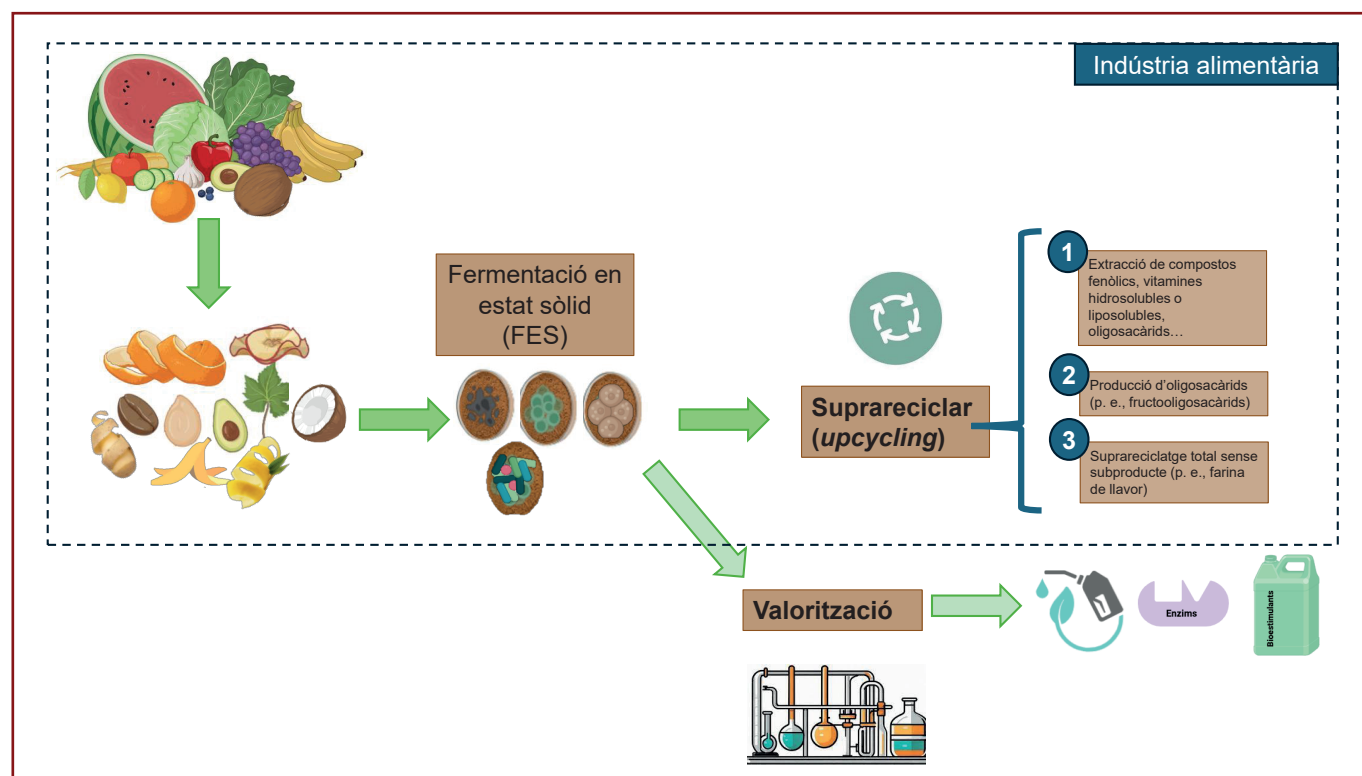


Figura 1. Representació esquemàtica del concepte de suprareciclatge a partir de la FES i les estratègies més utilitzades fins al moment.
Font: Elaboració pròpia.

Investigacions recents comencen a utilitzar l'estratègia **residu zero** com a tècnica per reduir al màxim l'empremta ambiental de tot el procés i tenir un sistema sòlid dins el marc de la bioeconomia circular. En aquesta línia, la idea en aplicar FES és utilitzar soques de grau alimentari per facilitar l'ús no només dels components que es solubilitzen, sinó de la biomassa del fong mateix o del subproducte exhaust que en resulti. Un exemple que no està gaire explorat d'aquesta estratègia seria la producció de farines a partir de l'aplicació de FES en llavors de productes vegetals.

FES COM A EINA PER SUPRARECICLAR

En la FES, els fongs del gènere *Aspergillus* ssp. són dels més utilitzats, donat que creixen ràpidament i produeixen una quantitat important d'enzims extracel·lulars. Dins d'aquest gènere, l'espècie *Aspergillus niger* és la més usada precisament per aquesta capacitat de producció d'enzims i per l'àmplia adaptació a molts tipus de substrats. Per exemple, la FES a través d'*A. niger* s'ha utilitzat en l'extracció de compostos bioactius en residus de la figuera (de la fabricació de melmelades i vi) i ha derivat en un alt contingut de compostos fenòlics en l'extracte comparat amb el control (sense inoculació) (Buenrostro-Figueroa *et al.*, 2017).

Hi ha diferents vies per les quals la FES es pot aplicar en termes de suprareciclatge en la indústria alimentària, tal com ja s'ha explicat: 1) la producció d'extractes; 2) la modificació nutricional del subproducte, o 3) el suprareciclatge total del subproducte (**residu zero**, vegeu la figura 1).

La producció d'extractes a través de la FES és interessant perquè **es produeixen amb un menor ús d'aigua i químics que extraccions convencionals i s'extreuen en grans quantitats**, quan es compara amb altres tecnologies germanes com la FEL. A més a més, la FES s'ha estat aplicant recentment com a eina per substituir l'ús d'enzims en l'extracció de compostos bioactius (Cano y Postigo *et al.*, 2021), ja que els enzims són més costosos i al final provenen de la mateixa font: els microorganismes. Hi ha molts subproductes que poden servir per exemplificar l'ús de FES en comptes d'enzims, com per exemple el pinyol d'oliva, la brisa del raïm o les despulles de nous, entre altres (Oiza *et al.*, 2022; Kalkan Yıldıırım i Sözmen, 2021). Un altre exemple és l'ús de la FES en subproductes del processament de cereals com el salvat de blat. S'ha treballat amb diferents microorganismes

«En la FES, els fongs del gènere *Aspergillus* ssp. són dels més utilitzats.»

(bacteris, fongs i llevats), i en tots els casos s'ha produït un augment dels polifenols lliures, així com de la capacitat antiradicalària —antioxidant— després de la fermentació (Roasa *et al.*, 2021).

D'altra banda, hi ha estudis que han mirat de **modificar la composició nutricional d'alguns subproductes** a través de la FES i —amb una possible extracció posterior— utilitzar-los com a ingredient funcional. Per exemple, s'ha estudiat la conversió d'àcids grassos monoinsaturats (MUFA, de l'anglès *monounsaturated fatty acids*) i saturats (SFA, de l'anglès *saturated fatty acids*) a poliinsaturats (PUFA, de l'anglès *polyunsaturated fatty acids*) a partir d'una FES amb *Mortierella alpina*, utilitzant com a substrat diferents subproductes de la indústria de l'oli (Ferreira *et al.*, 2020). Aquesta faceta de la FES és molt interessant, donat que no només podria ajudar en la producció de molècules d'interès (com en aquest exemple, PUFA), sinó que també podria millorar-ne la biodisponibilitat. Un altre exemple clar de la bioconversió del substrat és la producció de prebiòtics. Els residus agroindustrials solen ser rics en carbohidrats i fibres, font de carboni per molts fongs, i material inicial per a la producció de compostos bioactius derivats d'aquestes fibres, com oligosacàrids. En alguns casos, el simple fet de degradar el teixit vegetal —per l'acció dels enzims secretats pels fongs— ja deriva en la producció d'oligosacàrids. En altres, els oligosacàrids es poden sintetitzar. És el cas de la producció de fructooligosacàrids (FOS) mitjançant una FES amb *Aspergillus flavus*, per exemple. S'ha vist que aquest microorganisme és capaç de produir aquests FOS a través de la fructosiltransferasa, un enzim capaç de transferir residus de fructosa d'un compost a un altre, amb la consegüent formació de FOS. L'*A. flavus* és capaç de sintetitzar FOS a partir de setze residus agrícoles diferents, incloent-hi salvat de blat, bagàs de canya de sucre, bagàs de poma, etc. (Gonçalves *et al.*, 2023). Aquest camp cada cop està més explorat i alguns autors dirigeixen la producció de FOS amb un pretractament enzimàtic dels subproductes per originar suficient quantitat de fructosa en el medi, cosa que facilita el creixement inicial del fong i la construcció prematura dels FOS.

Una darrera aplicació de la FES, però no menys interessant, és el **suprareciclatge total del subproducte a tractar**. En determinades regions del món s'utilitzen

«La FES també és una tècnica que ens permet utilitzar subproductes de la indústria agroalimentària.»

subproductes, com la llavor del mango, per fer-ne farina. Aquesta llavor generalment té un alt contingut energètic i és molt útil per complementar formulacions en la indústria alimentària (p. e., producció de pa). Tot i això, aquests subproductes poden tenir determinades concentracions d'antinutrients, com l'àcid fític, oxalats o inclús tanins. Això fa que el procés pugui arribar a gastar molta energia o aigua, ja que s'ha de disminuir la concentració d'aquests antinutrients per calor o solubilització (p. e., la llavor del mango es bull amb aquesta finalitat). En aquest sentit, els fongs, especialment algunes espècies de fongs filamentosos, són capaços de produir enzims que podrien degradar aquests antinutrients. Això ens permetria fer ús de la FES per reduir el contingut d'antinutrients i addicionalment generar biomassa de fong, així com incrementar la concentració de greix (degut a l'activitat metabòlica del propi fong). Amb tot, aquest camp encara no està massa explorat i es necessiten estudis que enfocin el suprareciclatge per FES com a eina per donar-li una sortida a la totalitat del subproducte originat.

DESAVANTATGES DE LA FES

L'ús de la FES no està exempt de desafiaments, el més important dels quals és l'escalat. Això és degut principalment a la dissipació i transferència de calor i a la dificultat en la homogeneïtzació durant el procés (Kumar *et al.*, 2021). Hi ha certes variables que resulta difícil controlar si es fa a escala industrial, com ara el nivell òptim d'humitat, temperatura, agitació, pH i oxigen lliure durant la fermentació, així com el creixement de microorganismes, ja que no existeix una forma simple i ràpida d'analitzar-ho.

També s'ha de considerar que la FES ja és una tecnologia que treballa amb una limitació important per a la vida —aigua— i això fa que s'hagi de facilitar l'accés dels microorganismes al substrat d'interès mitjançant pretractaments (per no tenir més dificultats durant el procés). Un dels pretractaments més utilitzats és reduir la mida de partícula, que es pot aconseguir —de forma econòmica— mitjançant tractaments físics com la molta o mitjançant tècniques de cisallament.

Finalment, la generació i selecció del microorganisme adequat és important, ja que cada un té necessitats i comportaments diferents d'acord amb el substrat utilitzat. Com ja s'ha comentat, els fongs filamentosos són els microorganismes més adequats per la FES, perquè creixen de forma natural en un gran ventall de materials en el mateix estat sòlid (com el creixement de *Rhizopus ssp.* en fruites cítriques), i en comparació amb els bacteris i llevats, els fongs filamentosos són els que requereixen una menor quantitat d'aigua per créixer. A més a més, també són capaços d'utilitzar el carboni de diferents fonts per créixer i tenen la capacitat d'adherir-se i penetrar en diversos substrats gràcies als seus filaments, cosa que els fa molt versàtils (Pastrana, 1996).

PROJECCIÓ DE FUTUR DE LA FES

La FES s'ha utilitzat durant milers d'anys en el processament d'aliments, per exemple en la producció de formatges i pans, així com d'enzims. En l'última dècada, ha augmentat la seva aplicació pilot (i en alguns casos a escala industrial), ja que s'ha demostrat que pot ser una alternativa de baix cost. La sequera recentment viscuda en molts països (entre ells, Espanya), juntament amb altres catàstrofes meteorològiques propiciades pel canvi climàtic, ha generat gran preocupació. Per aquest motiu s'està apostant pel desenvolupament i l'ús de noves tecnologies que puguin ser utilitzades per l'obtenció de nous productes amb poc ús directe d'aigua i que encaixin dins del context d'economia circular. Per això és especialment interessant la FES. A més a més, la FES també és una tècnica que ens permet utilitzar subproductes de la indústria agroalimentària i cada cop és una opció més vàlida, com es pot veure en la creació del BioHubCat, una iniciativa que compta amb possibilitats d'escalat per la FES. Paralelament, s'està millorant el disseny de bioreactors i sensors, la qual cosa permet una millor monitorització, facilita l'escalat i atrau interès empresarial. Tot i això, en el marc del suprareciclatge, encara ens falta entendre millor quins tipus de fongs es poden fer servir en quins tipus de subproductes. Estudis de prova de concepte en aquest camp haurien de ser el centre d'atenció per a molts investigadors que estiguin treballant ja amb la FES, per crear coneixement i aportar solucions sostenibles.

AGRAÏMENTS

Els autors volen expressar el seu agraïment al Ministeri d'Universitats d'Espanya i a la Unió Europea, d'on els

dos autors han rebut una beca postdoctoral Margarita Salas a través del programa de finançament NextGenerationEU en les convocatòries del 2021 i del 2022.

REFERÈNCIES

- BUENROSTRO-FIGUEROA, J. J.; VELÁZQUEZ, M.; FLORES-ORTEGA, O.; ASCACIO-VALDÉS, J. A.; HUERTA- OCHOA, S.; AGUILAR, C. N.; PRADO-BARRAGÁN, L. A. (2017). «Solid state fermentation of fig (*Ficus carica* L.) by-products using fungi to obtain phenolic compounds with antioxidant activity and qualitative evaluation of phenolics obtained». *Process Biochemistry* [en línia], 62 (novembre), p. 16-23. <<https://doi.org/10.1016/j.procbio.2017.07.016>>.
- CANO Y POSTIGO, L. O.; JACOBO-VELÁZQUEZ, D. A.; GUAJARDO-FLORES, D.; GARCIA-AMEZQUITA, L. E.; GARCÍA-CAYUELA, T. (2021). «Solid-state fermentation for enhancing the nutraceutical content of agrifood by-products: Recent advances and its industrial feasibility». *Food Bioscience* [en línia], 41 (juny). <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.100926>>.
- DOS SANTOS, T. C.; GOMES, D. P. P.; BONOMO, R. C. F.; FRANCO, M. (2012). «Optimisation of solid state fermentation of potato peel for the production of cellulolytic enzymes». *Food Chemistry* [en línia], 133 (4), p. 1299-1304. <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.11.115>>.
- FERREIRA, M.; FERNANDES, H.; PERES, H.; OLIVA-TELES, A.; BELO, I.; SALGADO, J. M. (2020). «Bio-enrichment of oilseed cakes by *Mortierella alpina* under solid-state fermentation». *LWT* [en línia], 134 (desembre). <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109981>>.
- GONÇALVES, D. A.; GONZÁLEZ, A.; ROUPAR, D.; TEIXEIRA, J. A.; NOBRE, C. (2023). «How prebiotics have been produced from agro-industrial waste: An overview of the enzymatic technologies applied and the models used to validate their health claims». *Trends in Food Science and Technology* [en línia], 135 (maig), p. 74-92. <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.03.016>>.
- HAMDY, H. S. (2013). «Citric acid production by *Aspergillus niger* grown on orange peel medium fortified with cane molasses». *Annals of Microbiology* [en línia], 63, p. 267-278. <<https://doi.org/10.1007/s13213-012-0470-3>>.
- IBARRURI, J.; CEBRIÁN, M.; HERNÁNDEZ, I. (2021). «Valorisation of fruit and vegetable discards by fungal submerged and solid-state fermentation for alternative feed ingredients production». *Journal of Environmental Management* [en línia], 281, article 111901. <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111901>>.
- KALKAN YILDIRIM, H.; SÖZMEN, E. Y. (2021). «Bioconversion of wine pomace by *Lentinus edodes* in a solid-state system». *Journal of Microbiology, Biotechnology and Food Sciences* [en línia], 11 (2), article e3006. <<https://doi.org/10.15414/jmbfs.3006>>.
- KUMAR, A.; GUDIUKAITE, R.; GRICAJEVA, A.; SADAUSKAS, M.; MALUNAVICIUS, V.; KAMYAB, H.; SHARMA, S.; SHARMA, T.; PANT, D. (2020). «Microbial lipolytic enzymes - promising energy-efficient biocatalysts in bioremediation». *Energy* [en línia], 192, article 116674. <<https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116674>>.
- KUMAR, V.; AHLUWALIA, V.; SARAN, S.; KUMAR, J.; PATEL, A. K.; SINGHANIA, R. R. (2021). «Recent developments on solid-state fermentation for production of microbial secondary metabolites: Challenges and solutions». *Biore-source Technology* [en línia], 323, article 124566. <<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.124566>>.
- MATTEDI, A.; SABBİ, E.; FARDA, B.; DJEBAILI, R.; MITRA, D.; ERCOLE, C.; CACCHIO, P.; DEL GALLO, M.; PELLEGRINI, M. (2023). «Solid-state fermentation: applications and future perspectives for biostimulant and biopesticides production». *Microorganisms* [en línia], 11 (6), article 1408. <<https://doi.org/10.3390/microorganisms11061408>>.
- MEINI, M-R.; CABEZUDO, I.; GALETTO, C. S.; ROMANINI, D. (2021). «Production of grape pomace extracts with enhanced antioxidant and prebiotic activities through solid-state fermentation by *Aspergillus niger* and *Aspergillus oryzae*». *Food Bioscience* [en línia], 42, article 101168. <<https://doi.org/10.1016/j.fbio.2021.101168>>.
- OIZA, N.; MORAL-VICO, J.; SÁNCHEZ, A.; OVIEDO, E. R.; GEA, T. (2022). «Solid-state fermentation from organic wastes: A new generation of bioproducts». *Processes* [en línia], 10 (12), article 2675. <<https://doi.org/10.3390/pr10122675>>.
- PASTRANA, L. (1996). «Fundamentos de la fermentación en estado sólido y aplicación a la industria alimentaria». *Ciencia y Tecnología Alimentaria* [en línia], 1 (3), p. 4-12. <<https://doi.org/10.1080/11358129609487556>>.
- PATEL, A. K.; SINGHANIA, R. R.; PANDEY, A. (2017). «Production, purification, and application of microbial enzymes». A: BRAHMACHARI, G. (ed.). *Biotechnology of microbial enzymes: Production, biocatalysis and industrial applications* [en línia]. Cambridge (MA): Elsevier, p. 13-41. <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803725-6.00002-9>>.
- SOLANO PORRAS, R. C.; ARTOLA, A.; BARRENA, R.; GHOREISHI, G.; BALLARDO MATOS, C.; SÁNCHEZ, A. (2023). «Breaking new ground: Exploring the promising role of solid-state fermentation in harnessing natural biostimulants for sustainable agriculture». *Processes* [en línia], 11 (8), article 2300. <<https://doi.org/10.3390/pr11082300>>.
- ROASA, J.; DE VILLA, R.; MINE, Y.; TSAO, R. (2021). «Phenolics of cereal, pulse and oilseed processing by-products and potential effects of solid-state fermentation on their bioaccessibility, bioavailability and health benefits: A review». *Trends in Food Science & Technology* [en línia], 116, p. 954-974. <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.08.027>>.
- SPAGGIARI, M.; RICCI, A.; CALANI, L.; BRESCIANI, L.; NEVIANI, E.; DALL'ASTA, C.; LAZZI, C.; GALAVERNA, G. (2020). «Solid state lactic acid fermentation: A strategy to improve wheat bran functionality». *LWT* [en línia], 118, article 108668. <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108668>>.