



IKER
GAZTE
NAZIOARTEKO
IKERKETA EUSKARAZ

V. IKERGAZTE

NAZIOARTEKO IKERKETA EUSKARAZ

2023ko maiatzaren 17, 18 eta 19a
Donostia, Euskal Herria

ANTOLATZAILEA:
Udako Euskal Unibertsitatea (UEU)



Aitortu-PartekatuBerdin 3.0

INGENIARITZA ETA ARKITEKTURA

**Kitinaren erauzketa tradizionala
aldatu ingurumena errespetatzen
duten prozesuak lortzeko**

*Mireia Martin Marcianes,
Sara Mchichou El Haouass eta
Erlantz Lizundia Fernandez*

131-136 or.

<https://dx.doi.org/10.26876/ikergazte.v.03.17>

ANTOLATZAILEA:



BABESLEAK:



LAGUNTZAILEAK:



Kitinaren erauzketa tradizionala aldatu ingurumena errespetatzen duten prozesuak lortzeko

Mireia Martin Marcianes¹, Sara Mchichou El Haouass¹, Erlantz Lizundia Fernandez^{1,2}

¹ *Life Cycle Thinking Group, Adierazpen Grafikoa eta Ingeniaritzako Proiektuak Saila, Bilboko Ingeniaritza Eskola, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU), 48013 Bilbao.*

² *Basque Center for Materials, Applications and Nanostructures, BCMaterials, UPV/EHU Parke Zientifikoa, 48940 Leioa.*

mireia.martin@ehu.eus

Laburpena

Kitina krustazeoen exoeskeletoen propietate mekaniko nabarmenen arduraduna da eta eremu ugarian aplikatzen ari da. Ekonomia zirkularreko kontzeptuei jarraituz, kitina hainbat biomasa-hondakinetatik berreskuratu daiteke, material horiek berriro ziklo ekonomikoan sartzeko. Hala ere, ezinbestekoa da ingurumenaren ikuspegitik jasangarriak diren bide berriak garatzea, kitina-nanopartikulen ohiko erauzketa gaindituko dutenak, krustazeo-oskoletatik abiatuta hidrolisi azidoaren tratamendu gogorrek egitea eskatzen duena, berotegi-efektuko gasen isurketak pixkanaka murriztu ahal izateko. Lan honetan sortzen ari diren alternatiba berriei heltzen diegu biopolimero hori CO₂ aztarna txikian ateratzeko bide berriak eskaintzeko. Espero dugu biokoloideen alorrean planteamendu jasangarrien ezarpena bideratzea.

Gako-hitzak: hondakinen balorizazioa, kitina, ekonomia zirkularra, ingurumen-inpaktua, bizi-zikloaren ebaluazioa.

Abstract

Chitin is responsible for the outstanding mechanical properties of crustacean's exoskeletons and is being applied into a plethora of fields. Following a Circular Economy approach, chitin can be valorized from several biomass wastes so these materials are reintroduced back into the economic cycle. However, it results essential to develop novel environmentally sustainable paths over the conventional chitin nanoparticle extraction involving harsh acid-hydrolysis treatments from crustacean shells so we can progressively reduce our greenhouse gas emissions. Here we tap into the new emerging alternatives to provide novel paths to extract this biopolymer at a low CO₂ footprint. We hope this work guides the implementation of sustainable approaches in the field of biocolloids.

Keywords: waste valorization, chitin, Circular Economy, environmental impact, life cycle assessment.

1. Sarrera eta motibazioa

Munduko populazioa handitzearen ondorioetako bat elikagaiak alferrik galtzea da. Arazo garrantzitsua da ingurumen-inpaktuari dagokionez, ez bakarrik baliabideak xahutzeagatik, baita horrek inplizituki dakarren berotegi-efektuko gasen isurketengatik ere (CO₂ tona baliokidetan neurtuta). Horregatik, elikagaiak alferrik galtzea minimizatzeko bide berriak bilatzea funtsezko helburua da zientzialari eta arduradun politikoentzat (Roy et al., 2023).

Hala ere, azken urteotan, badirudi interes zientifikoa norabide horretan mugitzen dela. "Elikatze-katearen hondakinak" (Food Supply Chain Waste, FSCW) izenekoak, elikagaien ekoizpen-/erabilera-katean sortutako nekazaritzako eta prozesamenduko hondakinak barne hartzen dituztenak, birziklapenerako muga berri eta zirraragarritzat jotzen dira. Orain arte bioerregaien, ongarrrien, pentsuen eta ontzien ekoizpenean zentratu den arren, elikagaien hondakinak hainbat materialen (polimero-matriseak, nanopartikulak) eta balio erantsi handiko hainbat molekularen (hala nola itsasgarriak, produktu kosmetikoak, edota fuelak) iturri ezinhobea izan daitezke. Horiek material

funtzionalak egiteko erabil daitezke ekonomia zirkularraren oinarri jarraituz. Izan ere, hondakinak ziklo ekonomikoan berriro sartzen dira beren balorizazioaren ondoren.

Adibide on bat patente berri batean deskribatzen da, non superkondentsadoreetan kitinako hidrogel bat erabiltzen den mintz elektrolitiko gisa (Zhang et al., 2020). Era horretan, kitinan jarriko dugu gure arreta, materialen zientziaren eta bioingeniaritzaren hainbat arlotan aplikazio ugari aurkitzen ari den polisakaridoan. Kitina intsektuen exoeskeletotik atera daiteke, krustazeoetatik (oro har, artropodoak) (Lizundia et al., 2021), moluskuetatik, eta onddoen zelula-horman ere badago. Organismo bizidunetan dagoen biopolimero bat da, eta, gainera, egungo eskakizunak betetzen ditu: erabilgarritasuna, iraunkortasuna, biobateragarritasuna, biodegradagarritasuna, funtzionaltasuna eta berriztagarritasuna (Bai et al., 2022).

Arazoi horiek direla eta, aplikazio askotarako erabil daiteke; hala ere, kitina erauzteko eta prozesatzeko, ingurumen-inpaktu nabarmena duten produktu kimikoak erabili behar dira, oso kontzentratuta dauden soluzio azidoak eta basikoak (Berroci et al., 2022). Horregatik, kitina ateratzearen ordezkotzat aukerak bilatuko dira. Literaturan ingurumena errespetatzen duten irtenbide alternatibo batzuk proposatu dira, eta produkzio-kate iraunkor bat garatzeko bidean geratzen diren erronkak eztabaidatuko ditugu.

2. Arloko egoera eta ikerketaren helburuak

Kitina zelulosaren ondorengo polimero natural ugariena da, Henri Braconnot farmazeutiko frantsesak aurkitu zuen lehen aldiz 1811n. 1843an, Jean Louis Lassaigne kimikariak, konposatu organikoetan elementu heterogeneoak kualitatiboki zehazteko lanean ari zela, kitinan nitrogenoa dagoela frogatu zuen (Muzzarelli et al., 2012). Gaur egun badakigu kitina N-azetilglukosamina unitate anitzek osatzen dutela, eta unitate horiek elkarren artean β -1,4 lotune bidez lotzen direla. Unitateak zelulosaren unitate berak dira, baina kitinak azetilamina multzo bat du hidroxiloaren ordezkotzat (Maddaloni et al., 2020).

Kitina mikrozuntz kristalino ordenatu moduan agertzen da naturan. X-izpien difrakzioak eta erresonantzia magnetiko nuklearraren espektroskopiak egoera solidoan bi forma kristalino nagusi erakutsi zituzten, α eta β izenekoak. α egitura-formarik ohikoena eta egonkorrena da. Onddoen zelula-hormetan, otarrainxken zeluletan eta intsektuen kutikuletan dago. Tarte-kitinako kateak era antiparalelotan antolatuta daude, eta intsektu eta krustazeoen exoeskeletoaren erresistentzia bereizgarriaren arduradunak dira (Rinaudo, 2006). β egitura, ez hain egonkorra eta bakanagoa, txipiroietan eta anelidoetan aurki ditzakegu; kateak paraleloki antolatuta daude, eta horregatik dauka biguntasun-maila handiagoa (Lavall et al., 2007).

Forma egonkorrean, kitina solido zuri edo arrosa zurbil, usaingabe eta hits gisa aurkezten da. Hidrogeno intra- eta inter-molekulen arteko lotura sendoen ondorioz, kitina disolbatzaile arruntetan disolbaezin bihurtzen du, hala nola uretan, disolbatzaile organikoetan eta disoluzio azido edo base gozoetan (Bai et al., 2022). Eragozpen hori muga handia da aplikazio askorentzat. Aitzitik, disolbatzaile oso polarretan disolba daiteke, hala nola alkohol hexafluoroisopropilikoan eta hexafluorazetonan, litiozko tiozianatoan (Ma et al., 2011), etab.

Disolbatzaile horietako asko toxikoak edo mutagenikoak direnez, ordezkotzat seguruagoak bilatzea ezinbestekoa da ikerketa-eremu honetarako. Kitina disolbatzeko ordezkotzat "berde" on baten adibide bat "*Kitina disolbatzeko metodoa*" patentean jasotzen da. NaOH eta karbamida nahasketa bat erabiltzen da protokoloan, kitina 3-10 ordu mantendu. Soluzioa giro-temperaturan mekanikoki astintzen da, 7 egunetan $-18\text{ }^{\circ}\text{C}/-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ bitartean izoztu ondoren. Metodo honen abantaila nagusia da hondar-likidoa gehiagotan berrerabil daitekeela, azpiproduktu toxikoak murrizten dira, baina beharrezko disoluzio-denbora (10 h + 7 egun) altuegia da eta oraindik asko dago egiteko (Mitsunori et al., 1994).

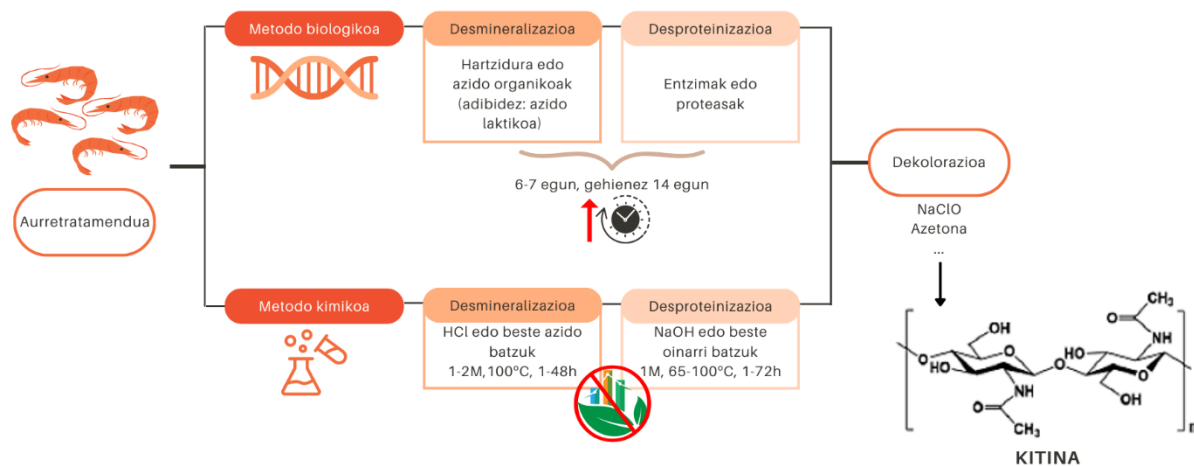
2.1 Kitina lortzeko era konbentzionala

Krustazeo-hondakinetak exoeskeletoen ugaritasunari esker, prozedurarik ohikoena krustazeoen bidezko erauzketa da, eta bi ibilbideri jarrai dakieke: metodo biologikoak eta metodo kimikoak. 1. irudian ageri den bezala, prozesu biek funtsezko bi urrats dituzte: desmineralizazioa eta desproteinizazioa.

Metodo biologikoan, desmineralizazioa bakterio laktikoek sortutako azido laktikoari esker gertatzen da. Azido laktikoak krustazeoaren exoeskeletoaren kaltzio karbonatoarekin erreakzionatzen du, eta kaltzio laktatoa sortzea eragiten du, prezipitatu eta kenduz. Gainera, azido laktikoak beharrezko pH-a sortzen du biohondakinetan dagoen proteasa aktibatzeko, desproteinizazio-etaparen arduraduna baita. Metodo biologikoak ingurumena errespetatzen badu ere, azido laktikoaren bakterioak (desmineralizaziorako) eta proteasak (desproteinizaziorako) erabiltzeak denbora asko eskatzen du (batez beste 6-7 egun, gehienez 14 egun). Horregatik, metodo kimikoa da gehien erabiltzen dena (Arbia et al., 2013).

Metodo kimikoa hainbat urrats ditu. Hasieran, materiala, hauts eran, disoluzio azido batekin prozesatzen da (normalean HCl 1-2 M 100 °C) 48 orduz gehienez. Exoeskeletoaren osagai mineralak kentzea da helburua (kaltzio karbonatoa eta kaltzio fosfatoa). Ondoren, maskor desmineralizatueta desproteinizazioa lortzeko tratamendu alkalinoa egiten da. Proteinak NaOH bidez kentzen dira (normalean 1 M; 3-6 ordu 65-100 °C), kitina ekoizteko. Kolorerik gabeko produktu bat nahi izanez gero, koloregabetzeko beste urrats bat egin daiteke. Pigmentuak ezabatzeko azetona, H₂O₂ %10eko disoluzioa, NaClO edo disolbatzaile organikoen nahasketak erabiltzen dira. Urrats horiek guztiak elkarren segidan egin daitezke, ur gezaz garbitzeko urratsak tartekatuz neutralizazioa lortzeko. Zoritxarrez, garbiketa-urrats horiek ur kantitate handiak eskatzen dituzte, eta horrek are gehiago mugatzen du prozesu osoaren iraunkortasuna (Maddaloni et al., 2020). Horrela, gure taldeak duela gutxi neurtu duenez, kitinarekin lan egiteak CO₂ aztarna handia dakar jatorri naturaleko beste materialekin (zelulosarekin, adibidez) alderatuta (Berroci et al., 2022).

1. irudia. Kitinaren erauzketa konbentzionala.



3. Kitina erauzteko metodo jasangarriagoen bila

Azido indartsuak edo soluzio alkalinoak erabiltzea, tratamendu azidoen eta alkalinoen arteko neutralizazio-pasabideetarako ur-kantitate handiak, eta denbora luzeak dira deskribatutako erauzketa-protokolo konbentzionalen muga nagusiak.

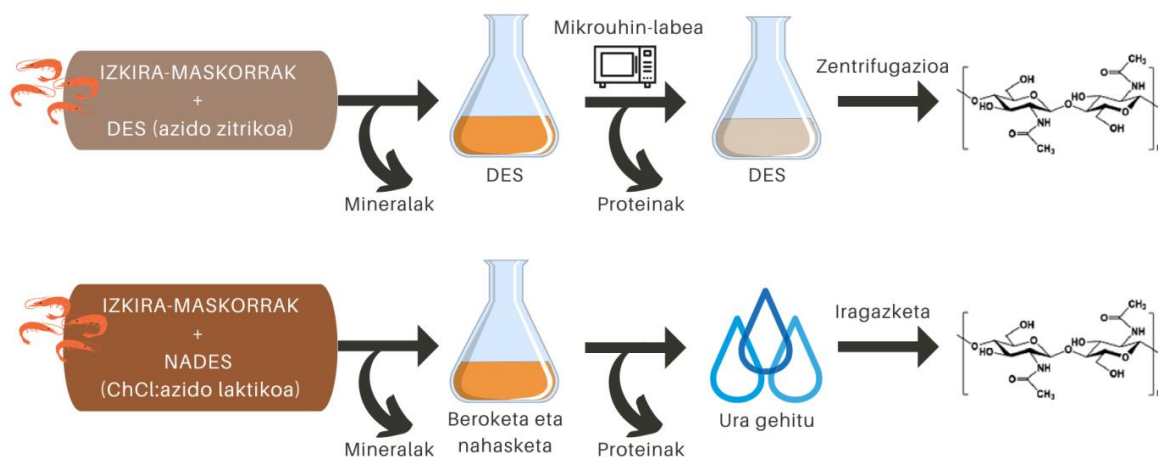
Azken urteotan, kitina ateratzeko baliozko aukera egonkor bat aurkitzeko beharra erronka bihurtu da, ekonomia zirkularren ikuspegia hartuta. Disolbatzaile eutektiko sakonek (DES) eta disolbatzaile eutektiko sakon naturalek (NADES) (*Deep Eutectic Solvents* (DES) eta *Natural Deep Eutectic*

Solvents (NADES), ingelesez), bereziki, interes zientifikoa piztu dute iturri naturaletatik materialak desegiteko eta ateratzeko duten gaitasunagatik (Zhang et al., 2012).

DESa hidrogenoaren lotura-emaile batek (HBD) eta hidrogenoaren lotura-hartzaile batek (HBA) osatutako nahasketa da. Osagai puru bakoitzaren fusio-tenperatura txikiagoa dute, HBDaren eta HBAREN arteko karga-deslokalizazioari esker. Haien propietate fisikoengatik, likido ioniko mota berri gisa defini daitezke, kostu txikiko osagaietatik abiatuta erraz prestatu eta eskuragarri egotearen abantailarekin. Gaur egun, DESen erabilera sustatzen da hainbat eremutan, haien prezio baxuak, toxikotasunik ezak, sukoiatasun baxuak eta biodegradagarritasunak bultzatuta. DESak jada erabiltzen dira katalisi eta sintesi organikoan, elektrokimikan eta kimika analitikoan, eta espazioa irabazten ari dira disoluzio- eta erauzketa-prozeduretan (Maddaloni et al., 2020).

2. irudian eskematikoki laburtzen den bezala, Zhao eta kideek (2019) kitina ateratzeko metodo interesgarri bat deskribatu zuten bi etapatan, DES eta azido zitriko desberdinak erabiliz, mikrouhin bidezko beroketarekin konbinatuta. Erauzteko prozedura horretan, ganba-oskolak, behar bezala garbituta, lehortuta eta birrinduta, azido zitrikoarekin tratatzen dira % 10ean, desmineralizatzeko. Kasu honetan, azido zitrikoak (iturri naturaletatik atera daitekeena) HCl ordezkatzan du erauzketa kimiko klasikoan. Desproteinizazio-etapa DESaren hainbat soluziotan aurretratatutako lagina esekiz eta mikrouhin-labeen irradiazioaren bidez berotuz egiten da. Azkenik, zentrifugazio soil batek DESko kitina bereizteko aukera ematen du. Berreskuratutako DESak bost aldiz berrerabil daitezke purifikatu gabe, baina errendimenduak hirugarren ziklotik aurrera behera egiten du. Protokolo horrek abantaila bikoitza ematen du: alde batetik, ingurumena errespetatzen duen disolbatzailea erabiltzeak (DES nahastea), mikrouhinekin konbinatuta, NaOH soluzio kontzentratua erabiltzea saihesten du, erauzketa-disolbatzailea birziklatzeko eta berrerabiltzeko aukerarekin; bestetik, desmineralizatzeko aurretratatutako urratsean, HCl azido zitrikoarekin ordezkatu da, ingurumenarekiko errespetu handiagoa baitu. Era naturalean atera daiteke hainbat fruta eta barazkitatik (Fernández, 2010); gainera, biokimikoki *Aspergillus niger* bezalako onddoek ekoitz dezakete. Beraz, gure ikerketa-taldea horretan dihardu, kitinaren erauzketa era egonkor batean lortzeko esperantzarekin.

2. irudia. Kitinaren erauzketa konbentzionala prozesu egonkorrei jarraituz.



Zentzu horretan, Bradic eta kideek (2020) beste metodo bat ere garatu zuten izkira-oskolaren hondakinak kitina bihurtzeko. Kasu horretan, izkiren oskolak DESetan disolbatu beharrean, NADESetan disolbatzen dira. Prozesu horretan, kitina mineraletatik eta proteinetatik bereiz daiteke tenperatura altuetan (60-90 °C) urrats bakar batean. Hainbat NADES desberdin probatu dira, eta emaitzarik onenak ChCl eta azido laktikoa nahastearen kasuan lortzen dira 70 °C-ko berotze-tratamendu batekin konbinatuta. Berriz ere, mineralak eta proteinak bereiztea lortzen da eta NADESak birzikla daitezke.

Metodo honen potentzial nagusia, klasikoarekin konparatuta, hau da: kitina, baizik eta erauzketan erabilitako produktu kimikoek (NADES) ere, elikagai-hondakinetatik, landareetatik eta iturri naturaletatik berreskura daitekeela. Gainera, NADESak gehiagotan birziklatzeko aukerak ekonomia zirkularraren printzipioekin bat etortzea eragiten du.

4. Ondorioak

Munduko biztanleriaren hazkundeak elikagaien hondakinak ezabatzeko eta berrerabiltzeko metodo jasangarri berriak ikertzea ekarri du. Bereziki, elikagaien hondakinak balio erantsi handiko molekulen iturri izan daitezkeela jakiteak (adibidez, proteinak, polisakaridoak, lipidoak, etab.) ikerketa berriak eragin ditu materialen zientziaren eta bioingeniaritzaren arloan.

Kitina eta haren deribatua, kitosanoa, elikagaien hondakinetatik atera daitezkeen polisakaridoen adibide giltzarriak dira, bereziki krustazeo eta onddoetatik. Berriztagarritasuna, biodegradagarritasuna eta toxikotasunik eza dira haren erabileraren abantaila nagusiak hainbat aplikaziotarako material funtzional aurreratuak prestatzeko. Hala ere, ekoizpenaren oinarri diren prozesuek ez dute beti ingurumen-iraunkortasun bera izaten. Izan ere, molekulen erauzketak eta ekoizpenak zenbait puntu kritikagarri dituzte. Erauzketa-prozesuan, oinarri eta azido gogorren erabilerak, tenperatura altuek eta garbiketa-pasabideetarako ur kopuru handi batek muga garrantzitsuak dituzte, eta oraindik ere aurre egin behar zaie.

Ikuspegi honek laburbiltzen ditu aurki daitezkeen lan batzuk, ibilbide ekologikoak ustiatzera bideratuak. Estrategia ez-konbentzional horiek kitina erauzteko eta desegiteko disolbatzaile berdeak (muino-kloruroa, urea, azido organikoak), beroketa-iturri aukera berriak (mikrouhinak) eta/edo erretikulatzaile ez-toxikoak eta naturalak (azido zitrikoa, genipina edo limonenoa) erabiltzean oinarritzen dira. Ildo horretan, nabarmendu nahi genuke azido zitrikoak eta DES/NADESek emaitza onak konbina ditzaketela kitina ateratzean, eta prozesatuaren ondorengo pasabideetan berrerabil daitezkeela. Erauzketako produktu kimiko horiek garbitzeko eta birziklatzeko aukerak prozesu zirkular oso bat garatzeko aukera ematen du, non urrats bakarreko azpiproduktuak erreaktibo gisa erabil daitezkeen hurrengoan, "ekonomia zirkularra" kontzeptuarekin lotzen diren barne-begiztak sortuz.

Era berean, azpimarratu nahi da prozedura "berde" berrietan erabiltzen diren produktu kimiko gehienak (muino kloruroa, urea, azido organikoak, glizerola, limonenoa edo genipina) iturri naturaletatik atera daitezkeela eta, kasu batzuetan, beste prozesu kimiko batzuetako azpiproduktuak direla, eta horrek interkonektatutako sistema jasangarriak garatzea dakarrela.

5. Etorkizunerako planteatzen den norabidea

Artikulu honek adibide kopuru mugatua baino ez du erakusten, eta oraindik lan asko dago egiteko esparru horretan. Etorkizunean, arreta handiagoa jarri beharko zaio DES eta NADESen azterketa intentsiboari eta kitina erauzteko aplikazioari, baita kitina eta kitosanoa erauzteko tenperatura baxuko eta energia-kontsumo txikiko prozesuetan ere. Kontuan hartu behar da ibilbide ekologikoetan erabilitako produktu kimikoak ekoiztearen eta ezabatzearen kostua ebaluatzea.

Gainera, benetan iraunkorra den sistema bat lortzeko, beharrezkoa da inplikaturako produktu kimikoen toxikotasuna ez ezik, produktu horien ekoizpenari lotutako energia erantsia, prozesu osoaren CO₂ aztarna eta azken produktuaren bizi-zikloaren ebaluazioa (*life cycle assessment*, ingelesez) ere ebaluatzea.

6. Erreferentziak

- Arbia, W.; Arbia, L.; Adour, L.; Amrane, A. (2013). Chitin extraction from crustacean shells using biological methods—A review. *Food Technol. Biotechnol.* *51*, 12–25.
- Bai, L., Liu, L., Esquivel, M., Tardy, B. L., Huan, S., Niu, X., Liu, S., Yang, G., Fan, Y., & Rojas, O. J. (2022). Nanochitin: Chemistry, Structure, Assembly, and Applications. *Chemical Reviews*, *122*(13), 11604–11674. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.2c00125>
- Berroci, M., Vallejo, C., & Lizundia, E. (2022). Environmental Impact Assessment of Chitin Nanofibril and Nanocrystal Isolation from Fungi, Shrimp Shells, and Crab Shells. *10*, 14280-14293.
- Fernández, R.; López, J.C.; Romero, R.; Martínez, J.L.; Alarcón Flores, M.I.; Garrido Frenich, A. (2010). Simple LC-MS determination of citric and malic acids in fruits and vegetables. *Chromatographia* *72*, 55–62.
- Lavall, R.L.; Assis, O.B.G.; Campana-Filho, S.P. (2007). β -Chitin from the pens of *Loligo* sp.: Extraction and characterization. *Bioresour. Technol.* *98*, 2465–2472.
- Lizundia, E., Nguyen, T.-D., J. Winnick, R., & J. MacLachlan, M. (2021). Biomimetic photonic materials derived from chitin and chitosan. *Journal of Materials Chemistry C*, *9*, 796-817. <https://doi.org/10.1039/D0TC05381C>
- Ma, G.; Liu, Y.; Kennedy, J.F.; Nie, J. (2011). Synthesize and properties of photosensitive organic solvent soluble acylated chitosan derivatives. *Carbohydr. Polym.* *84*, 681–685.
- Maddaloni, M., Vassalini, I., & Alessandri, I. (2020). Green Routes for the Development of Chitin/Chitosan Sustainable Hydrogels. *Sustainable Chemistry*, *1*(3), 325-344. <https://doi.org/10.3390/suschem1030022>
- Mitsunori, I.; Hiroshi, S.; Seiichi, T. (1994). Chitin Solution. Japanese Patent JPH06179702A.
- Muzzarelli, R.A.A.; Boudrant, J.; Meyer, D.; Manno, N.; Demarchis, M.; Paoletti, M.G. (2012). Current views on fungal chitin/chitosan, human chitinases, food preservation, glucans, pectins and inulin: A tribute to Henri Braconnot, precursor of the carbohydrate polymers science, on the chitin bicentennial. *Carbohydr. Polym.* *87*, 995–1012.
- Rinaudo, M. (2006). Chitin and chitosan: Properties and applications. *Prog. Polym. Sci.* *31*, 603–632.
- Roy, P., Mohanty, A. K., Dick, P., & Misra, M. (2023). A Review on the Challenges and Choices for Food Waste Valorization: Environmental and Economic Impacts. *ACS Environmental Au*. <https://doi.org/10.1021/acsenvironau.2c00050>
- Zhang, L.; Deng, L. (2020). Chitin Regenerated Hydrogel as Well as Preparation Method and Application Thereof. Chinese Patent CN111312528A.
- Zhang, Q.; De Oliveira Vigier, K.; Royer, S.; Jérôme, F. (2012). Deep eutectic solvents: Syntheses, properties and applications. *Chem. Soc. Rev.* *41*, 7108–7146.
- Zhao, D.; Huang, W.C.; Guo, N.; Zhang, S.; Xue, C.; Mao, X. (2019). Two-step separation of chitin from shrimp shells using citric acid and deep eutectic solvents with the assistance of microwave. *Polymers* *11*, 409.

7. Eskerrak eta oharrak

Egileek eskertzen dute Euskampus Fundazioak emandako "2021 Euskampus Misioness 1.0. Programa"-ren laguntza ekonomikoa. Egileek Euskal Herriko Unibertsitateko funtsak (GIU21/010 ikerketa-taldeentzako laguntza-deialdia) ere eskertzen dituzte.