Ekaia, 2023, 44, 389-404
https://doi.org/10.1387/ekaia.23844

ekaia
ZIENTZIA eta TEKNOLOGIA ALDIZKARIA

ISSN 0214-9001 – eISSN 2444-3255

Esne-gazuratik eratorritako film biodegradagarriak

(Biodegradable films from whey)

*Maite Arregi, Pedro Guerrero, Koro de la Caba, Alaitz Etxabide**

BIOMAT Ikerketa Taldea. Ingeniaritza Kimikoa eta Ingurumenaren Ingeniaritza Saila. Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola, Donostia, Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

LABURPENA: Euskadiko gaztandegietan esne-gazur ugari sortzen da eta haren isurketak kalteak eragin ditzake ingurumenean. Horregatik, ikerketa honen helburua film biodegradagarriak ekoiztea da, esne-gazuraren proteina erabiliz. Elikagaien industriako bio-hondakinetatik datorren proteinan oinarritutako elikadura-ontzien bidezko irtenbide honek, hondakinen kopurua murrizteaz gain, elikagaien bizitza erabilgarria handitzea du helburu. Esne-gazuraren proteinan oinarritutako filmak sortzeko, hainbat prozesatze-metodo erabil daitezke eta, lan honetan, konpresioa aukeratu da, ekoizpen-denborak murrizteko eta prozesu iraunkorragoak sustatzeko. Filmen eraketa-prozesua optimizatu ondoren, lortutako filmen propietate fisiko-kimikoak, optikoak, mekanikoak eta hesi-propietateak aztertu dira. Horretaz gain, filmen ingurumen-inpaktuaren azterketa egin da.

HITZ GAKOAK: esne-gazura, azido askorbikoa, ontziratzeko filmak.

ABSTRACT: *Cheese factories in Euskadi produce a significant amount of whey and its discharge can cause important environmental damage. Therefore, the objective of this study was to prepare biodegradable films using whey protein. In this way, the films prepared with proteins obtained from agroindustrial bio-waste not only will reduce the amount of food waste, but also may help increase the shelf life of foodstuffs. Among different film manufacturing techniques, compression moulding was selected to produce films based on whey protein with the aim of reducing production time and promoting more sustainable processes. After optimising the film manufacturing process, the physical, chemical, optical and mechanical properties of the films and their barrier properties were assessed. In addition to the properties of the films, an environmental impact study of the samples was conducted as well.*

KEYWORDS: whey, ascorbic acid, packaging films.

**** Harremanetan jartzeko / Corresponding author:*** Alaitz Etxabide. BIOMAT (UPV/EHU), Donostiako Ingeniaritza Eskola (20018 Donostia). – alaitz.etxabide@ehu.eus – https://orcid.org/0000-0002-8025-0717

Nola aipatu / How to cite: Arregi, Maite; Guerrero, Pedro; De la Caba, Koro; Etxabide, Alaitz (2023). «Esne-gazuratik eratorritako film biodegradagarriak». *Ekaia*, 44, 2023, 389-404. (https://doi.org/10.1387/ekaia.23844).

Jasotze-data: 2022, uztailak 29; Onartze-data: 2022, abenduak 12.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2023 UPV/EHU

Lan hau *Creative Commons Aitortu-EzKomertziala-LanEratorririkGabe 4.0 Nazioartekoa* lizentzia baten mende dago

1. **SARRERA**

Gaur egun, nabarmentzen ari da elikagaien segurtasuna eta kalitatea bermatzen duten eta elikagaien bizitza baliagarria luzatzen duten ontzien ikerketa. Hala ere, elikagaiak ontziratzeko erabiltzen diren material gehienek industria petrokimikoan dute jatorria. Material horiek ez-berriztagarriak eta ez-biodegradagarriak direnez, ingurumen-arazo larriak sortzen dituzte, batez ere itsas ekosistemetan [1]. Ingurumen-arazo horiek direla eta, elikagaien industriak interesa erakutsi du baliabide berriztagarrietatik datozen material biodegradagarrietan. Horiek horrela, aipagarri gertatzen dira biopolimeroak: iturri naturaletatik sortutako polimeroak dira, bai material biologiko batetik kimikoki sintetizatuak, bai organismo bizidunek erabat biosintetizatuak [2].

Proteinez osatutako filmak ontzi sintetikoen alternatiba gisa agertu dira. Babes fisikoa emateaz gain, proteinez eratutako filmek konposatu antimikrobianoak edota antioxidatzaileak eduki edo garraiatu ditzakete. Agente antimikrobianoek patogenoen hazkundea galarazten dute; antioxidatzaileek, berriz, elikagaien bizi-iraupena luzatzen dute oxidazioa inhibitzen dutelako [1, 3, 4]. Testuinguru horretan, bio-hondakinetatik eratorritako proteinez osatutako filmen inguruko ikerketa-lanak egin dira azken urteotan eta, jatorri horien artean, gelatina, soja-proteina edo esne-gazuraren proteinak daude.

Esnetik lortutako proteinari dagokionez, esnearen pisuaren % 80 baino gehiago ura bada ere, proteina ugariz osatuta dago, kaseina eta esne-gazuraren proteinez, kasu baterako [3]. Esne-gazuraren proteina esneak daraman proteina kantitate osoaren % 20 izan ohi da eta, gainerakoa, kaseina da [4]. Gaztaren ekoizpenean, esne-gazura bio-hondakin gisa bereizten da, azpiproduktu garrantzitsuenetako bat delako; gazta kilogramo batetik 7-9 L lortzen dira [5]. Euskal Autonomia Erkidegoan, 130 gaztandegik 32 ML/urte esne-gazur ekoizten dute, eta % 97 baino gehiago gaztandegi txiki eta ertainak dira. Sortutako bio-hondakinaren % 65 ganadua elikatzeko erabiltzen da, eta % 35 lursailetara edota araztegietara isurtzen da [5]. Esne-gazura lurzorura eta uretara isurtzean ingurumen-inpaktu nabarmenak gertatzen dira, eragin zuzena baitu oxigenoaren eskuragarritasunean. Kalkulua da 1.000 L esne-gazureko 35 kg-ko oxigeno-eskari biokimikoa (OEB) eta 68 kg-ko oxigeno-eskari kimikoa (OEK) sortzen direla [6].

Esne-gazur proteina kontzentratua eta isolatua alderantzizko osmosia, ultrairagazketa eta kromatografia bezalako tekniken bidez lortu daitezke [5] eta hainbat proteina globular dituzte produktu horiek: β-laktoglobulina (β-Lg) (~ % 57), α-laktoalbumina (α-La) (~ % 19), albumina (~ % 7), hainbat immunoglobulina (~ % 13) eta proteosa-peptona polipeptidoak (~ % 4). β-Lg barrualdea aminoazido ez-polarrez osatuta dago eta egitura globularraren kanpoko aldea, berriz, aminoazido polarrez osatuta; hori dela eta, disolbagarritasun ona du uretan. α-La bigarren proteina ugariena da eta egonkortasun termiko handiagoa dauka lotura-disulfurorik eta

sulfhidrilo (-SH) talde askerik ez duelako. Esne-gazuraren proteinek katearen egitura eraldatzeko eta elkarren artean elkar eragiteko duten gaitasuna dela eta, propietate bikaineko hiru dimentsioko sare eraldatuak sor ditzakete, film zein estaldura gisako aplikazioetan erabiltzeko [7].

Gaur egun hainbat estrategia garatu dira esne-gazura balio erantsiko produktu (adibidez, elikagaiak ontziratzeko ontziak) bihurtzeko. Gaztaren ekoizpenean sortutako esne-gazura balio erantsiko produktu bihurtzeak ekonomia zirkularra sustatu dezake: lehengaiak, esne-gazuraren proteinak, gaztaren ekoizpenean sortutako bio-hondakin batean du jatorria eta elikagaientzako ontzi konpostagarriak ekoizteko erabil daiteke, gaztarentzat esaterako, elikagai koipetsuekin biopolimero honek duen portaera onagatik. Horrela, elikagaien ontzi konbentzionaletan ez bezala, konpostaren bidez hondakinak sortzea ekidingo litzateke (1. irudia). Era horretan jokatuta, biopolimeroetan oinarritutako film biodegradagarriak erabiliz murriztu egingo litzateke plastiko sintetikoen eskaria [8]. Biopolimeroen iturri gisa bio-hondakinak erabiltzea baliabideen eraginkortasunaren erronkari heltzeko estrategia bat da. Era berean, elikagaien bizitza baliagarria luzatzeak elikagaien xahutzea murrizten laguntzen du, Ekonomia Zirkularrerako Ekintza Planarekin eta Garapen Iraunkorrerako Helburuekin bat datorren jokabidea [9].

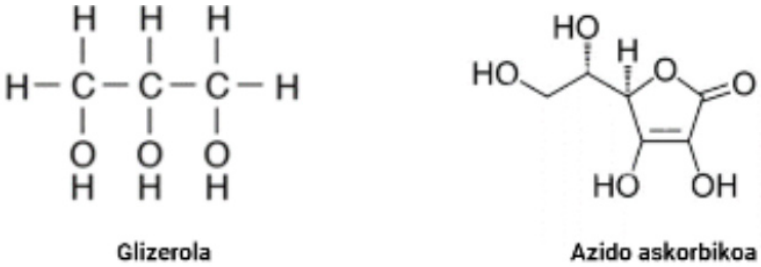
1. irudia. Ekonomia Zirkularra: gazta bezalako elikagaiak ontziratzeko balio dezakeen esne-gazuraren proteina erabiliz prestatutako film konpostagarrien bizi zikloa.

Ohikoa da plastifikatzaileak gehitzea proteinazko filmen malgutasuna handitzeko eta proteina-kateen arteko indar intermolekularrak murrizteko; izan ere, filmak hauskor bihur daitezke proteina-sarearen gehiegizko gurutzaketaren ondorioz [7]. Erabiltzen diren plastifikatzaileen artean, glizerola nabarmentzen da. Gainera, aipatzekoa da glizerola biodieselaren ekoizpenaren azpiproduktuetatik lor daitekeela, ekonomia zirkularraren estrategiarekin bat eginez. Bestetik, konposatu antioxidatzaile bat gehituz, hobetu egin daiteke esne-gazuraren proteina-filmen bidez elikagaietan dauden lipidoen oxidazioaren atzerapena. Horri dagokionez, elikagai-industrian asko erabiltzen da azido askorbikoa osagai eta gehigarri gisa (E300), propietate nutritiboak eta antioxidatzaileak dituelako [10]. Beraz, lan honetan, prestatu eta aztertu egin dira glizerola eta, zenbait kontzentraziotan, azido askorbikoa duten esne-gazuretik eratorritako film biodegradagarriek dituzten propietateak, filmak elikagaiak ontziratzeko aplikazioetan erabiltzeari begira. Aipatzekoa da lan honetan geruza bakarreko filmak sortu direla. Geruza anitzeko plastikozko ontzien heterogeneotasuna faktore eragozlea da birziklatze-industriarentzat, hondakinak kudeatzeko ohiko sistemak ez daudelako egokituta material anitzeko geruzak identifikatu, antolatu eta birziklatzeko.

2. MATERIALAK ETA METODOAK

2.1. Materialak

Filmak osatzeko hainbat lehengai erabili ziren, hala nola esne-gazuraren proteina (EGP, Nutrition Chefs, Espainia), ur destilatua, glizerola (Gli, Panreac, Espainia), eta azido askorbikoa (AA, Sigma Aldrich, Espainia). EGP disolbatzeko ur destilatua erabili zen (Milli-Q Ultrapure, Espainia). Plastifikatzaile gisa Gli eta, antioxidatzaile gisa, AA erabili ziren (2. irudia).



2. irudia. Esne-gazuraren proteinazko filmak osatzeko erabilitako gehigarriak.

2.2. **Filmen prestaketa**

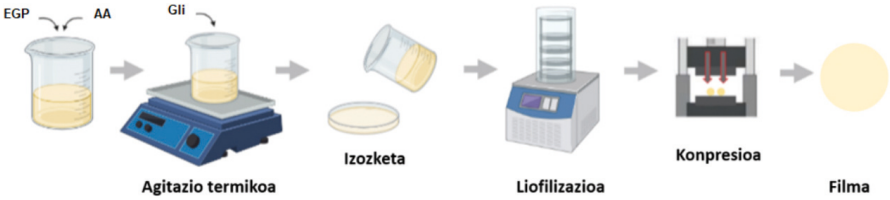
Filmak osatzeko erabilitako kontzentrazioak eta prozesuak aurretik egindako proben arabera aukeratu ziren. Esne-gazuraren proteinan oinarritutako filmak prestatzeko orduan, nahastu egin ziren % 10 EGP soluzioak % 50 Gli (proteina-edukiari dagokionez) eta zenbait kontzentraziotako AA, 1. taulan ikus daitekeen bezala.

1. taula. Esne-gazuraren proteinaz osatutako filmen konposizioa.

Filmak	EGP (g)	Gli (%)	AA (%)
Kontrola	10	50	0
AA5	10	50	5
AA10	10	50	10
AA15	10	50	15

EGP eta AA uretan disolbatu ziren 30 minutuz 80 ºC-an eta 200 bira/min-an IKA berogailu magnetiko batean. Disoluzioen prozesatze-tenperatura 80 °C-koa izan zen, EGP pH basikoetan tenperatura horretan desnaturalizatzen baita. Desnaturalizazio-tenperaturatik gorako tenperaturetan, proteinak beren artean pilatzen dira [7].

Aurretiazko hainbat proba egin ziren Gli-ren proportzioa eta pH-a zehazteko. Film guztietarako Gli-ren kontzentrazioa % 50ekoa izan zen eta disoluzioaren pH-a 10era egokitu zen NaOH (1 N) gehituz, ingurune basikoan lan egiteko. Baldintza horietan film homogeneoak eta erabilgarriak lortzen zirela ikusi zen. Disoluzioak beste 30 minutuz 80 ºC-an berotu eta 200 bira/min-an irabiatu ziren. Gero, Petri plaketan isuri ziren, eta laginak 48 orduz liofilizatu ziren Alpha 1-4 LDplus liofilizatzailea erabiliz (Martin Christ, Alemania). Liofilizatutako laginak ganbera batean egokitu ziren 48 orduz, 25 ºC-an eta % 50eko hezetasunean. Lortutako hautsak filmak konpresio-metodo bidez prestatzeko erabili ziren. Horretarako, 1,8 g lagin jarri ziren aluminiozko bi plaken artean eta, 105 ºC-an berotutako prentsan (Specac, Espainia), 2 minutuz prentsatu ziren 3 MPa-era (3. irudia). Prestaturiko film guztiek ~120 μm inguruko lodiera zuten, gehituriko AAren kantitatea edozein zela ere. Filmaren lodiera neurtzeko, QuantuMike Mitutoyo (Neurtek, Espainia) eskuzko mikrometro digitala erabili zen, 0,001 mm-ko bereizmenarekin.



3. irudia. Esne-gazuraren proteinazko filmak eratzeko emandako pausuak.

2.3. **Filmen karakterizazioa**

2.3.1. *Espektroskopia infragorria Fourierren transformatuarekin (FTIR)*

Fourierren transformatua duen espektroskopia infragorria (FTIR PE 16C, Nicolet Nexus, Espainia) erabili zen filmeko osagaien arteko elkarrekintzak aztertzeko. Guztira 32 ekorketa egin ziren, 4 cm^{-1}-eko bereizmenarekin, 800 cm^{-1} eta 1.800 cm^{-1} arteko uhin-zenbakietan.

2.3.2. *Espektroskopia ultramore-ikuskorra (UV-Vis)*

Filmen argiarekiko erresistentzia aztertzeko, argiaren transmitantzia neurtu zen 200 nm eta 800 nm arteko uhin-luzeretan, V-630 UV-Jasco (Jasco, Espainia) espektrofotometroa erabiliz.

2.3.3. *Kolore-parametroak*

Kolorea Konica Minolta CR-400 (Konica-Minolta, Espainia) kolorimetroaren bidez aztertu zen. Kalibrazioa plater zuriarekiko egin zen (L^* = 97,39, a^* = 0,03 eta b^* = 1,77) eta, ondoren, film bakoitzeko L^*, a^* eta b^* parametroak neurtu ziren. Kolore-parametroak CIELab kolore-eskala erabiliz finkatu ziren: L^* = 0 (iluna) eta L^* = 100 (argitsua); $-a^*$ (berdexka) eta $+a^*$ (gorrixka); eta $-b^*$ (urdinxka) eta $+b^*$ (horixka) direlarik. Lagin bakoitzeko 10 neurketa egin ziren. Azkenik, film bakoitzaren kolore-aldaketa (ΔE^*) neurtu zen honako formula erabiliz:

$$\Delta E^* = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

Emaitzak ΔE^* balio gisa adierazi ziren eta Kontrol filma erabili zen erreferentzia gisa.

2.3.4. *Distira*

Filmen distira 60º-ko angeluarekin neurtu zen, ASTM D-523 arauari jarraituz. Islapen-indize finkoa duen beira beltz estandarrarekiko egin zen neurketa; estandar beltzaren distira 100º-koa da eta neurketa tartea 0-100º-koa, 0 matea delarik; hau da, 0 distirarik gabea eta 100 distiratsuena. Multi gloss 268 plus distirametroak (Konica-Minolta, Espainia) intentsitate iraunkorreko eta angelu finkoko argi izpi bat zuzentzen du neurtu nahi den gainazalerantz eta, ondoren, islatu den argiaren kantitatea neurtzen da angelu horretan. 10 neurketa egin ziren lagin bakoitzeko.

2.3.5. *Ekorketazko elektroi-mikroskopia (SEM)*

Filmen morfologia aztertzeko, SEM Hitachi S-4800 (Hitachi, Espainia) ekorketazko elektroi-mikroskopioa erabili zen. Behaketa egin aurretik, laginak metalezko oinarri batean kokatu ziren, alde biko zinta itsaskor baten laguntzaz, eta hutsean urrez estali ziren, argoizko atmosfera batean, JEOL JFC-1100 (Izasa, Espainia) geruza fineko lainoztagailu ioniko bat erabiliz. Laginak 15 kV-eko azelerazio-tentsioaz eta × 250-eko handipena erabiliz aztertu ziren.

2.3.6. *Propietate mekanikoak*

Trakzioarekiko erresistentzia, hausturarekiko elongazioa eta modulu elastikoa ASTM D 638-03 arauaren arabera neurtu ziren, MTS Insight 10 (MTS Systems, Espainia) sistema elektromekanikoa erabiliz, 250 N-ko kargarekin eta 1 mm/min abiaduran. Probetak (22,25 mm × 4,75 mm) trokel pneumatiko baten laguntzaz prestatu ziren eta 10 neurketa egin ziren lagin bakoitzeko.

2.3.7. *Ingurumen-inpaktua*

EGP filmen ingurumen-ebaluazioa ISO 14040 (ISO, 2006) arauaren gomendioei eta jarraibideei jarraituz egin zen. Horretarako, SimaPro softwarea (PRé Consultants, Herbehereak) eta Ecoinvent datu-baseko datuak erabili ziren. Esne-gazuraren proteinaz osatutako filmak ikerketa- eta garapen-fasean daudenez eta produkzio-prozesua laborategi mailan gauzatu zenez, inbentarioa egiteko orduan laborategian erabilitako materialak eta kontsumitutako energia hartu ziren kontuan. Aukeratutako unitate funtzionala 10 g EGP izan zen.

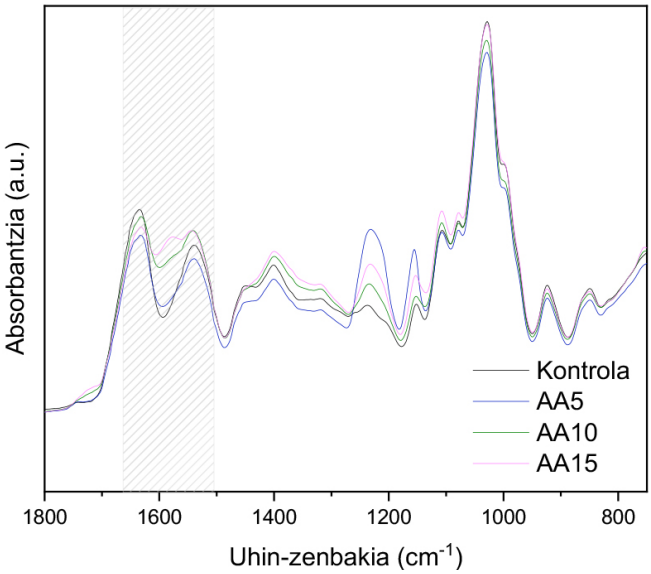
ReCiPe 2016 metodologia kontuan hartuta, honako inpaktu-kategoria hauek aztertu ziren: berotze globala, ozono estratosferikoaren agortzea, erradiazio ionizatzailea, ozonoaren eraketa, partikula finen eraketa, lurraren azidifikazioa, ur gezaren eutrofismoa, itsasoaren eutrofismoa, lurraren ekotoxikotasuna, ur gezaren ekotoxikotasuna, itsasoaren ekotoxikotasuna, giza toxikotasun (ez-) kartzinogenikoa, lurzoruaren erabilera, baliabide mineralen urritasuna, baliabide fosilen urritasuna eta uraren kontsumoa.

3. **EMAITZAK ETA EZTABAIDA**

3.1. **Propietate fisiko-kimikoak**

Filma osatzen duten osagaien arteko elkarrekintzak aztertzeko, FTIR bidezko analisia egin zen, eta EGP, Gli eta AAren banda bereizgarriak ikusi ziren (4. irudia). 1.640 cm^{-1}-eko uhin-luzeran C=O (amida I) talde fun-

tzionalaren luzatze-bibrazioarekin elkartzen den banda nabarmendu zen; 1.520 cm^{-1}-ean zentratuta, N–H talde funtzionalaren flexioarekin erlazionatzen den amida II banda ikusi zen, eta 1.230 cm^{-1}-ean zentratutakoa C-N loturaren bibrazioarekin (amida III) erlazionatu zen: guztiak EGP lotura peptidikoekin erlazionatuta daude [11, 12]. 937 cm^{-1} eta 1.155 cm^{-1} arteko tartean laktosa bezalako sakarido/karbohidratoen presentziarekin erlazionatzen diren bandak ikusi ziren; hain zuzen, 1.060 cm^{-1}-ean laktosaren C-O loturarekin erlazionatzen den banda ikusi zen, izan ere laktosa esne-gazuraren proteinan aurkitzen baita. 800 cm^{-1} eta 1.150 cm^{-1} arteko tartean, berriz, Gli-ren C-C eta C-O loturen bibrazioei dagozkien bandak nabarmendu ziren: 852 cm^{-1}, 925 cm^{-1} eta 995 cm^{-1}-eko bandak C–C bibrazioari esleitu zitzaizkion, 1.035 cm^{-1}-eko banda C1 eta C3 (muturreko karbonoak) C–O loturaren luzapenarekin elkartu ziren eta, 1.108 cm^{-1}-eko banda, C2-ko (erdiko karbonoa) C–O luzapenarekin. Azkenik, AAren banda bereizgarriak 1.756 cm^{-1}-ean C=O loturen luzapenarekin lotu ziren, 1.650 cm^{-1}-ean C=C lotura bikoitzaren luzatzearekin, 1.268-1.078 cm^{-1} uhin-luzera tartean C-O-C luzatzearekin, 1.046-1.081 cm^{-1} eremuko bandak C-O-H loturarekin, eta 983-1.020 cm^{-1} eremuan dauden bandak, eraztunaren (2. irudia) deformaziorekin [13].



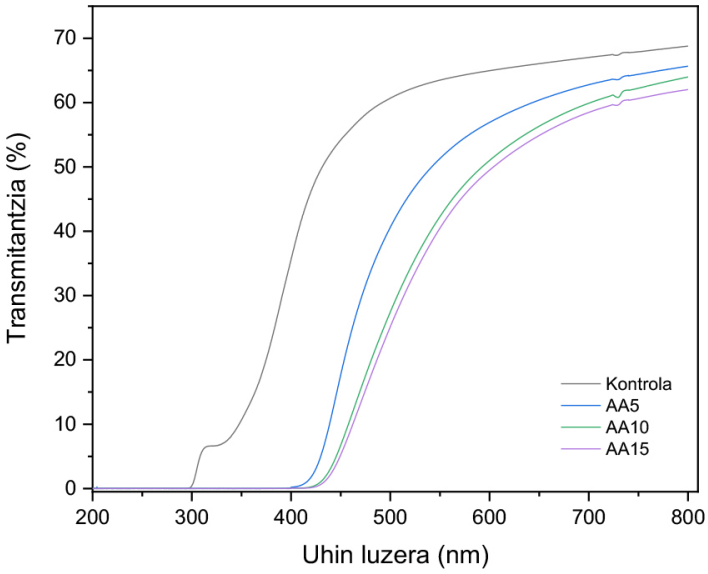
4. irudia. Gehitutako azido askorbikoaren (AA % 5-15) arabera, glizerola duten esne-gazuraren proteinazko filmen FTIR espektroak.

Azpimarratzekoa da, oro har AA gehitzean ez zela banda berrien agerpenik edo desagerpenik ikusi. Horrek antioxidatzailearen eta proteina-

ren artean erreakzio kimikorik gertatu ez zela adierazi zuen [14]. Hala ere, AAren banda bereizgarrietan (1.600 cm^{-1} uhin luzera inguruan) desplazamenduak nabarmendu ziren, eta EGP eta AAren arteko interakzio fisikoekin erlazionatu ziren (4. irudia).

3.2. **Hesi-propietateak**

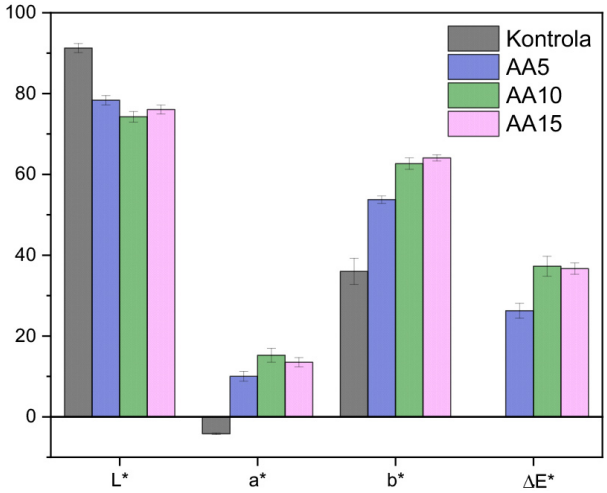
Argiak bitaminen degradazioa, elikagai freskoen koloregabetzea, zapore arrotzen garapena eta koipeen oxidazioa eragin dezakeenez, UV-Vis argiaren aurkako babesa funtsezko propietatea da elikagaiak ontziratzeko erabiltzen diren ontzietan. Filmen argiarekiko erresistentzia 5. irudian ikus daiteke. Kontrol filmetan, 200 nm eta 300 nm arteko uhin-luzeretan ez zen inolako transmisiorik gertatu, eta horrek adierazten zuena da esne-gazuraren proteinazko filmek hesi-propietate bikainak zituztela UV eskualdean, ziurrenik EGPk argia xurgatzen duten aminoazido aromatiko asko dituelako [12]. 300 nm-tik aurrera, Kontrol filmetan transmisioak gora egin zuela ikusi zen, film horiek Vis argiarekiko babesik ez zutela adieraziz. Hala ere, AA zuten filmetan (AA5-AA15) argiarekiko erresistentziaren propietate hobeak lortu ziren, AAren presentziak argiaren transmisioa galarazi baitzuen 400 nm-raino. Aipatzekoa da AAren kontzentrazioaren igoerarekin (AA10 arte) zertxobait hobetu zela argiarekiko babesa, baina AAren presentzia handiagoak (AA15) ez zuela filmen argiarekiko babesa gehiago hobetu.



5. irudia. Gehitutako azido askorbikoaren (AA % 5-15) arabera, glizerola duten esne-gazuraren proteinazko filmen espektroskopia ultramore-ikusgaia.

3.3. **Propietate optikoak**

Esne-gazuraren proteinan oinarritutako filmen propietate optikoak ere aztertu ziren, elikagaientzako ontziek erakargarriak izan behar baitute kontsumitzailearentzat. Horretarako, L*, a*, b* eta ΔE* kolore-parametroak neurtu ziren, baita laginen distira ere. Balioak 6. irudian erakusten dira. AA zuten filmekin alderatuta, Kontrol filmek argitasun-balio (L*) altuagoak eta a* eta b* balio baxuagoak erakutsi zituzten. AAren gehikuntzarekin ilunagoak ziren eta argitasun-balio txikiagoak (~ % 16) zituzten filmak lortu ziren. Emaitza hau AA filmek UV-Vis argiaren aurreko babes hobea izatearekin erlazionatu daiteke (5. irudia). a* eta b* parametroen balioak, aldiz, handitu egin ziren, filmak gorrixkagoak eta horixkagoak zirela adieraziz. ΔE*-ren balioak aztertuz, AA filmen kolorearen iluntzea ikus daiteke. Filmen ΔE* balioak 6 baino handiagoak zirenez, giza begiak AA gehitzeak eragindako kolore-aldaketa hautemateko gai direla adierazi zuen horrek [15].

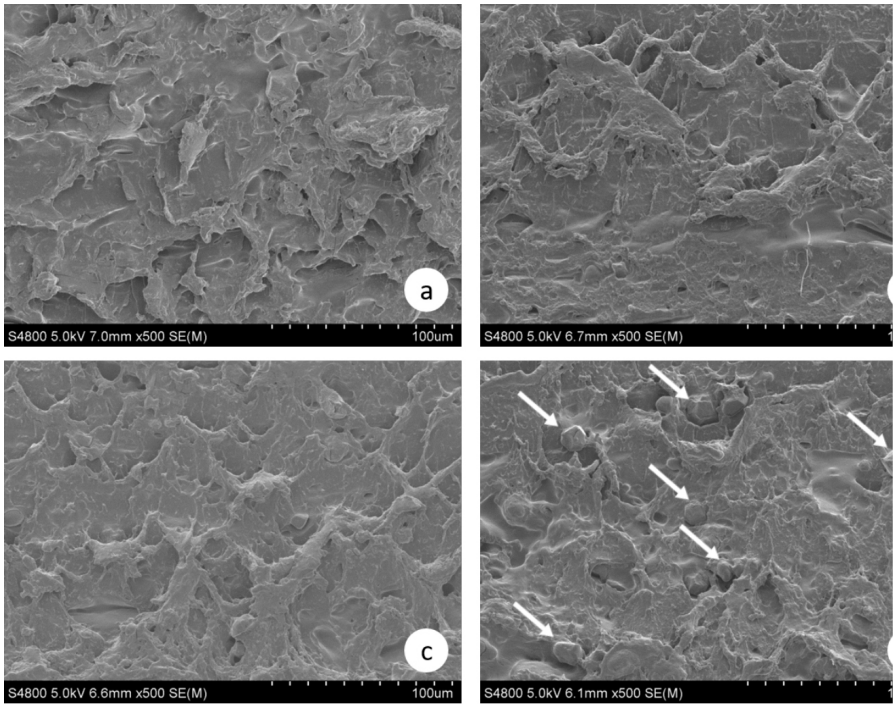


6. irudia. Gehitutako azido askorbikoaren (AA % 5-15) arabera, glizerola duten esne-gazuraren proteinazko filmen kolorea.

Filmen distirari dagokionez, 23,2 ± 3,7 G.U. inguruko balioak neurtu ziren eta laginen artean ez zen desberdintasun nabarmenik antzeman. Kontuan hartuta 0 G.U. distira-balioak distira gabea (matea) eta 100 G.U. balioak oso distiratsua adierazten dutela, esan daiteke esne-gazuraren proteinazko filmak distira baxua zutela. Distira filmen gainazalaren zimurtasunarekin erlazionatu daitekeenez (gainazal zimurragoak distira-balio txikiagoak ditu [16]), antzeko distira-balioek lagin desberdinen zimurtasun antzekoa adierazi zuten.

3.4. **Filmen egitura**

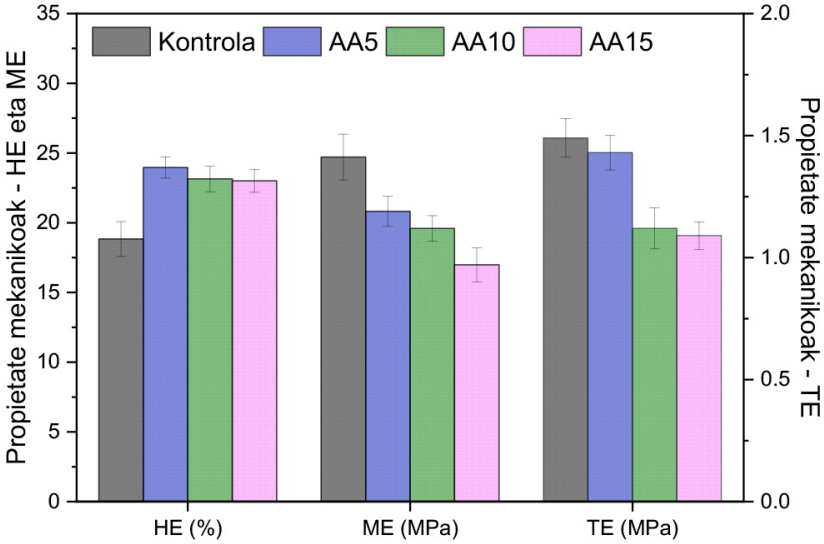
Laginen morfologia aztertzeko, SEM analisia egin zen. 7. irudian filmen zeharkako sekzioen mikrografiak erakusten dira. Kontrol-laginetan egitura homogeneoa nabarmendu zen. AA15 laginean, berriz, granuluak ikusi ziren, AAren presentzia altuagatik. Nabarmentzekoa da lagin guztietan ez zela egitura porotsurik ageri, eta hori filmak konpresio-prozesu bidez prestatzerakoan bertan egindako presioagatik izan zen. Era berean, ez zen fase-diferentziarik ikusi, eta horrek EGP, Gli eta AAren arteko bateragarritasuna iradoki zuen.



7. irudia. Esne-gazuraren proteinazko filmen SEM mikrografiak azido askorbiko (AA) kantitatearen (% 0-15) arabera: (a) Kontrol (b) AA5 (c) AA10 eta (d) AA15 filmetan.

3.5. **Propietate mekanikoak**

Trakzio-saiakuntzak hainbat propietate bereizgarri zehazteko erabili ziren, hala nola trakzioarekiko erresistentzia, haustura-elongazioa eta filmen modulu elastikoa. Propietate mekanikoen emaitzak 8. irudian erakusten dira.



8. irudia. Gehitutako azido askorbikoaren (AA % 5-15) arabera, glizerola duten esne-gazuraren proteinazko filmen propietate mekanikoak: haustura-elongazioa (HE), modulu elastikoa (ME) eta trakzioarekiko erresistentzia (TE).

9. irudia. Gazta zati bat esne-gazuraren proteinaz egindako filmarekin ontziratua.

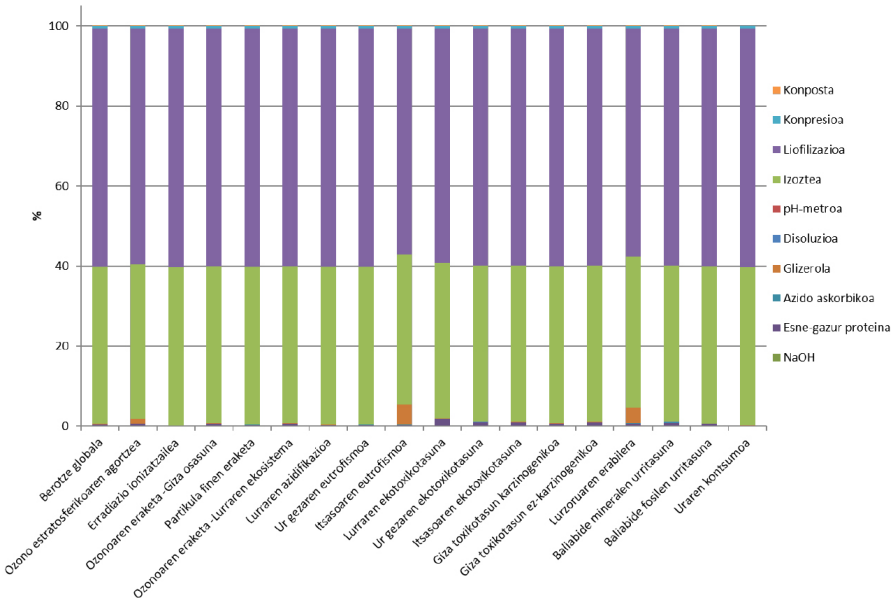
Azido askorbikoa gehitzean trakzioarekiko erresistentzia eta modulu elastikoa murriztu ziren eta, haustura-elongazioaren balioak, berriz, handitu. AA molekula txiki bat da lau hidroxilo taldeduna (2. irudia) eta haren gehikuntzak EGP-kateen arteko bolumen librea handitzea eragin zezakeen, plastifikatzaile gisa jokatuz. Horrela, AAk proteinaren kateen arteko interakzioak murriztu zitzakeen eta, ondorioz, proteinaren kateen mugikortasun molekular handiagoa sustatu eta filmei malgutasun handiagoa eman. Ezaugarri hori interesgarria izan daiteke filmak elikagaiak ontziratzeko aplikazioetan erabiltzeko; adibidez, gazta ontziratzeko (9. irudia).

3.6. **Ingurumen-inpaktuaren ebaluazioa**

Bizi-zikloaren azterketa ingurumen-inpaktua neurtzeko tresna bat da, ondasunak eta zerbitzuak ekoiztean balio-kate osoan zehar sortutako inpaktua neurtzen duena, baliabideen erabilera eta sortutako emisioak kontuan hartuta. Haren abantailetako bat ikuspegi globala da; elikagaientzako ontzi batzuek eragin txikiagoa izan dezakete ekoizpen-prozesuan, baina ez dira beharbada hain eraginkorrak elikagaiak babesteko eta, horrela, ingurumen -inpaktu handiagoa sortuko dute balio-katearen beste puntu batean [17]. Lan honetan hainbat etapa hartu ziren kontuan ingurumen-inpaktuaren ebaluazioa gauzatzeko, hala nola EGPren garraioa, ur destilatuaren ekoizpena, NaOH-aren prestaketa, filmen fabrikazio-prozesua eta konposta biziamaiera gisa. Azpimarratzekoa da ez zela EGPren erauzketa kontuan hartu, proteina-hondakin agroindustrial batetik eratorria delako eta lan honen helburua horri balio erantsi bat ematea delako. Ur destilatua lortzeari dagokionez, kontuan hartu zen prozesuan 100 mL ur destilatu erabili zirela. Gainera, lehen aipatu bezala, pH-a doitzeko NaOH (1 N) erabili zen. Beraz, NaOH disoluzioaren prestaketa kontuan hartu zen, baita ur destilatuaren kontsumoa ere. Gainera, konposta inguru egoki gisa hautatu zen filmak, erabili ondoren, ezabatzeko. Filmen fabrikazio-etapan, lehengaiak film bihurtzeko prozesuarekin lotutako ingurumen-inpaktua hartzen da kontuan. Horrela, esne-gazuraren proteinaz gain erabilitako osagaiekin eta kontsumitutako energiarekin lotutako ingurumen-kargak hartu ziren kontuan, eta kalkulatutako inpaktu-kategorietan filmen prestaketarako emandako urrats bakoitzaren ekarpena ebaluatu zen. Kategoria horiek 10. irudian adierazten dira.

Filmak osatzeko izozte- eta liofilizazio-prozesuetan erabilitako energiak izan zuen ingurumen-inpakturik haundiena inpaktu-kategoria guztietan. Lurzoruaren erabilera-kategorian ikusitako inpaktuari dagokionez, % 5 inguru filmen fabrikazio-etapan erabilitako glizerolari egotzi zitzaion. Glizerola soja-oliotik biodiesela ekoizteko egiten den transesterifikazio-prozesuan sortutako azpiproduktua da. Prozesu horretan kontuan hartzen dira lurraren eraldaketa, sojaren laborantza eta makinen, ongarrien eta pestiziden erabilera. Horiek guztiek ingurumen-inpaktu nabarmenak sortzen di-

tuzte lurraren erabileraren eta lurreko ekotoxikotasunaren kategorietan [1]. Azkenik, konposta aukeratu zen filmak erabili ondoren ezabatzeko inguru gisa eta, ondorioz, biodegradagarriak ez diren filmen hondakinen tratamenduarekin alderatuta, ingurumen-inpaktu murritzagoa duela esan daiteke.



10. irudia. Inpaktu-kategoria bakoitzean filmen ekoizpenaren etapek duten ekarpena.

4. **ONDORIOAK**

Ikerketa honetan, konpresio-metodoaren bidez azido askorbiko (AA) kantitate ezberdinak zituen esne-gazuraren proteina (EGPP) filmak prestatu ziren. FTIR analisiak erakutsi zuen AAk EGPrekin interakzionatu zuela. EGPP eta AAren arteko elkarrekintzek filmaren hesi-propietateak hobetu zituzten, argiarekiko erresistentzia areagotu egin baitzen. EGP filmetan AA gehitzeak aldaketak eragin zituen propietate mekanikoetan, trakzioarekiko erresistentzia murriztuz baina hausturarekiko luzapena areagotuz, AAren efektu plastifikatzailearen ondorioz. Oro har, AAren gehikuntzak aldaketa nabarmenak eragin zituen filmetan, eta elikagaiak ontziratzeko aplikazioetarako funtsezko propietateak lortu ziren. Azkenik, aipatu beharra dago filmak laborategiko eskalan egin zirela eta, beraz, fabrikazio-etapak hobeto optimizatzeak energia aurreztuko lukeela eta filmen ingurumen-inpaktuak murriztu. Ondorioz, interesgarria izango litzateke ikerketa-ildo honekin ja-

rraitu ahal izatea; izan ere, azterlan honen bidez frogatu egin da esne-gazuraren proteinaz osatutako film biodegradagarriak ohiko ontzien alternatiba egokia izan daitezkeela. Jardunbide honi jarraituz, beraz, ingurumen-inpaktu handia sortzen duten hondakinen kopurua murrizteaz gain, elikagaien bizitza erabilgarria handitu daiteke.

ESKER ONA

Eusko Jaurlaritzak (KK-2021/00131 eta IT1658-22) emandako diru laguntza eskertzen dute egileek. Maite Arregik Gipuzkoako Foru Aldundiak (Ingurumena eta Obra Hidraulikoak Departamentua) emandako diru laguntza eskertzen du.

BIBLIOGRAFIA

[1] Garrido, T., Leceta, I., Cabezudo, S., Guerrero, P., eta De la Caba, K. 2016. «Tailoring soy protein film properties by selecting casting or compression as processing methods». *European Polymer Journal,* **85**, 499-507. https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2016.11.007.

[2] Smith, A.M., Moxon, S., eta Morris, G.A. 2016. *13 - Biopolymers as wound healing materials*. Editorea: ÅGREN, M.S. *Wound Healing Biomaterials*. Woodhead Publishing. Erresuma Batua. https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-456-7.00013-1.

[3] Garrido, T., Uranga, J., Guerrero, P., eta De la Caba, K. 2018. The potential of vegetal and animal proteins to develop more sustainable food packaging. In T. J. Gutiérrez (Ed.), *Polymers for food applications* (pp. 25-59). Cham: Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-94625-2_3.

[4] Dinika, I., Verma, D. K., Balia, R., Utama, G. L., eta Patel, A. R. 2020. «Potential of cheese whey bioactive proteins and peptides in the development of antimicrobial edible film composite: A review of recent trends». *Trends in Food Science & Technology,* **103**, 57-67. https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.06.017.

[5] Cebrián, M., Rentería, M., Gutierrez, M., Orive, M., Bald, C., García, A., . . . Martinez, S. (2016). *¿Cómo valorizar el lactosuero en las pequeñas y medianas queserías? proyecto life VALORLACT*. doi:10.13140/RG.2.1.5178.5209.

[6] Gurrola, L. R. C., Martínez, A. C., Monterrubio, A. L. R., eta Figueroa, J. C. R. 2017. «Proteínas del lactosuero: Usos, relación con la salud y bioactividades». *Interciencia*, **42**, 712-718.

[7] Schmid, M., eta Müller, K. 2019. Chapter 11 - whey protein-based packaging films and coatings. In H. C. Deeth, & N. Bansal (Eds.), *Whey proteins*

(pp. 407-437) Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-812124-5.00012-6.

[8] Uranga, J., Etxabide, A., Cabezudo, S., De la Caba, K., eta Guerrero, P. 2020. «Valorization of marine-derived biowaste to develop chitin/fish gelatin products as bioactive carriers and moisture scavengers». *Science of the Total Environment,* **706**, 135747. https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.135747.

[9] Eusko Jaurlaritza. 2019. *Euskadiko ekonomia zirkularrerako estrategia 2030*. Retrieved from https://www.euskadi.eus/eusko-jaurlaritza/-/liburua/euskadiko-ekonomia-zirkularrerako-estrategia-2030-estrategia-economia-circular-2030/.

[10] Min, S., eta Krochta, J. M. 2007. «Ascorbic acid-containing whey protein film coatings for control of oxidation». *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* **55**, 2964-2969. https://doi.org/10.1021/jf062698r.

[11] Andrade, J., Pereira, C. G., Almeida junior, José Carlos de, Viana, C. C. R., Neves, Leandra Natália de Oliveira, Silva, Paulo Henrique Fonseca da, Bell, M. J. V., eta Anjos, Virgílio de Carvalho Dos. 2019. «FTIR-ATR determination of protein content to evaluate whey protein concentrate adulteration». *LWT,* **99**, 166-172. https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.09.079.

[12] Ramos, Ó L., Reinas, I., Silva, S. I., Fernandes, J. C., Cerqueira, M. A., Pereira, R. N., Vicente, A. A., Poças, M. F., Pintado, M. E., eta Malcata, F. X. 2013. «Effect of whey protein purity and glycerol content upon physical properties of edible films manufactured therefrom». *Food Hydrocolloids,* **30**, 110-122. https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.05.001.

[13] Yohannan Panicker, C., Tresa Varghese, H., eta Philip, D. 2006. «FT-IR, FT-Raman and SERS spectra of vitamin C». *Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy,* **65**, 802-804. https://doi.org/10.1016/j.saa.2005.12.044.

[14] Guerrero, P., Retegi, A., Gabilondo, N., eta De la Caba, K. 2010. «Mechanical and thermal properties of soy protein films processed by casting and compression». *Journal of Food Engineering,* **100**, 145-151. https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2010.03.039.

[15] Janjarasskul, T., Tananuwong, K., eta Krochta, J. M.2011. «Whey protein film with oxygen scavenging function by incorporation of ascorbic acid». *Journal of Food Science,* **76**, E561-E568. https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2011.02409.x.

[16] Etxabide, A., Leceta, I., Guerrero, P., eta De la Caba, K. 2013. «Arrain gelatinan oinarrituriko film biodegradagarriak». *Ekaia,* 53-67.

[17] De la Caba, K., Guerrero, P., Trung, T. S., Cruz-Romero, M., Kerry, J. P., Fluhr, J., Maurer, M., Kruijssen, F., Albalat, A., Bunting, S., Burt, S., Little, D., eta Newton, R. 2019. «From seafood waste to active seafood packaging: An emerging opportunity of the circular economy». *Journal of Cleaner Production,* **208**, 86-98. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.09.164.

AURKIBIDEA

Hortzetako txantxarra: etiopatogeniaren garapena eta osasun publikoaren erronka *(Dental caries: etiopathogenesis development and public health challenge)*, Jon Fernández-Bonet, Xabier Marichalar-Mendia, Aitana Lertxundi 11

Aldizkako barauaren efektuak obesitatean eta 2 motako diabetesean *(Effects of intermittent fasting on obesity and type 2 diabetes)*, Maialen Diez, Maialen Vázquez-Polo, Silvia Matias, Gesala Perez-Junkera, Leire Cantero, Arrate Lasa, Virginia Navarro, Idoia Larretxi, Itziar Txurruka 27

Sexu-desberdintasunak Parkinson gaixotasunean *(Sex differences in Parkinson's disease)*, Maider Zubelzu, Andrea Leivar, Teresa Morera-Herreras, Ane Murueta-Goyena 41

Photovoice tresna elikadura-ingurunearen azterketa kualitatiborako *(Photovoice as a tool for qualitative analysis of the food environment)*, Ainara San Juan, Irrintzi Fernández, Amets Jauregi, Irati Ayesta, Silvia Caballero, Julia Fernández, Leyre Gravina 63

Jatorri naturaleko biofilmen garapena ekonomia zirkularra bultzatzeko *(Development of natural origin biofilms for circular economy)*, Ane Martín, Antonio Veloso-Fernández 81

Metal-nanopartikulen erabilera nanoteknologia farmazeutikoan *(the use of metallic nanoparticles in pharmaceutical nanotechnology)*, Luz Fidalgo Mayo 101

Kanptotezina eta haren deribatuak minbiziaren aurkako borrokan: Topoisomerasa I inhibitzaileak *(Camptothecin and its derivatives in the fight against cancer: Topoisomerase I inhibitors)*, Leyre Lopez-Aguileta, Concepción Alonso, Francisco Palacios, Asier Selas, Endika Martin-Encinas 127

Nanotermodinamika (Nanothermodynamics), Mikel Garitano Telleria, Josu Mirena Igartua Aldamiz 137

Geologia 1-Fisika 1: duela 65 milioi urte Lurraren aurkako meteorito baten inpaktuaren afera *(Geology 1, Physics 1: The affair of the impact of a meteorite against the Earth 65 million years ago)*, Fernando Plazaola 153

NdFeB iman sinterizatuen garrantzia eta haien produkzio bideak *(The importance of the sintered NdFeB magnets and their production routes)*, Jon Perez Arbulu 201

Tabako-ohitura eta bihotz-biriketako gaitasuna, hipertentsioa, gehiegizko pisua, bizimodu sedentarioa eta ez-aktiboa duten pertsonengan *(Smoking and cardiorespiratory fitness in people with hypertension, overweight, sedentary lifestyle, and inactivity)*, Mikel Tous-Espelosin, Jon Ander Oguet, Sara Maldonado-Martin 223

Euskal haur eta gazteen biodibertsitate-alfabetatzea: kezka iturri bat *(Biodiversity literacy of Basque teenagers: a source of concern)*, Oihana Barrutia, Oier Pedrera, José Ramón Díez 239

Isolamendu soziala, estres kronikoa eta depresioa *(Social isolation, chronic stress and depression)*, Garikoitz Azkona Mendoza 257

Intsektuak, etorkizuneko elikadura? *(Insects, the food of the future?)*, Gorka Santamarina-García, Gustavo Amores, Mailo Virto 273

Gizakiaren aurpegiaren ezaugarri fenotipikoei loturiko aldakortasun genetikoaren analisia *(Analysis of the genetic variability linked to the phenotypic characteristics of the human face)*, Amaia Cabrejas, Santos Alonso, Neskuts Izagirre 291

Arku Elektrikoaren FVM Bidezko Simulazioa Ibilgailu Elektrikoen Baterietako Hidrogenozko Etengailuetan *(Electric Arc FVM Simulation in Hydrogen Circuit Breakers for Electrical Vehicles Batteries)*, P. Sanchez, A. Iturregi, D. Gonzalez, P. Eguia, U. Villena 319

Fusio Nuklearra Euskal Herriko Unibertsitatetik *(Nuclear fusion from the University of the Basque Country)*, María Urrestizala, Jon Azkurreta, Natalia Alegría, Igor Peñalva 335

Fabrikazio gehigarriaren eta forjaren hibridazioa sektore aeronautikorako Inconel 718 piezen fabrikazio eraginkorrerako *(Hybridization of additive manufacturing and forging for the efficient fabrication of Inconel 718 parts for the aeronautical sector)*, Oier Barrenetxea, Oihane Murua, Jon Iñaki Arrizubieta, Aitzol Lamikiz, Eneko Ukar 353

Polietilen Tereftalatoaren (PET) birziklapen kimikoa hidrolisiaren bidez *(Chemical recycling of polyethylene terephthalate (PET) via hydrolysis)*, Asier Barredo, Eva Epelde, Asier Asueta, Izotz Amundarain, Jon Leivar 371

Esne-gazuratik eratorritako film biodegradagarriak *(Biodegradable films from whey)*, Maite Arregi, Pedro Guerrero, Koro de la Caba, Alaitz Etxabide 389

ISSN: 0214-9001
e-ISSN: 2444-3255