Ekaia, 2022, 42, 317-338
https://doi.org/10.1387/ekaia.22890

ekaia
ZIENTZIA eta TEKNOLOGIA ALDIZKARIA

ISSN 0214-9001 – eISSN 2444-3255

Muskuilu-maskorren hauskortasuna urratzaile gisa

(On the friability of mussel shells as abrasive)

Juan Luis Osa[1]*, *Idoia Ruiz de Apodaca*[2], *Olatz Martinez*[2], *Amaia Mendoza*[2], *Gurutz Mondragon*[2], *Cristina Peña-Rodríguez*[2]

[1] Ingeniaritza Mekanikoa Saila,
Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)
[2] Materialak+Teknologiak Taldea (GMT), Ingeniaritza Kimikoa
eta Ingurumen Ingeniaritza Saila, Gipuzkoako Ingeniaritza Eskola,
Euskal Herriko Unibertsitatea (UPV/EHU)

LABURPENA: Munduan zehar ibaien estuarioetan muskuilu-haztegiek izandako zabalkuntzak irtenbide zaila duen milioika tona maskor hondakin sortzen ditu. Bestalde, Nazio Batuek eta Europar Batasunak bultzatutako garapen iraunkorrerako helburuek (GIH) elikagaien ekoizpen jasangarria bultzatzeaz gain, hondakinen kudeaketa egokia exijitzen du, material eta produktuen bizitza zikloa aztertzera behartuz eta berrerabilpena lehenetsiz. Lan honek kontserba-industriak sortutako muskuilu-maskor azpi-produktua granailaketan eta hondar-zurrustako garbiketa-prozesuetan urratzaile gisa erabiltzea proposatzen da. Urratzaileen ezaugarri nagusietako bat hauskortasuna da, horrek baldintzatzen baitu urratzailearen portaera hondar-zurrusta prozesuan. Maskor-hondarra lortzeko pausoak maskorren garbiketa, ehoketa eta baheketa prozesuek osatzen dute. Lan honen helburua muskuilu-maskorren hauskortasuna bi ikuspuntutatik aztertzea da: garbiketa-prozesuaren eragina eta ohiko urratzaile batekin (granatea) hauskortasunaren konparaketa. Muskuilu-maskorren hauskortasunaren karakterizazioak urratzaile gisa duten portaera aurreikusi eta aplikazio egokiak definitzea ahalbidetzen du. Emaitzek nabarmenki erakutsi dute maskorrek granateak baino lau aldiz hauskortasun txikiagoa duela. Ezaugarri interesgarri horrek ziklo itxian lan egiten duen hondarraren bizitza luzatzea dakar eta aplikazio berriari hondar-zurrustan etorkizun oparoa aurreikusten dio.

HITZ GAKOAK: Muskuilu-maskorrak, granailaketa, hondar-zurrusta, hauskortasuna, maskorren garbiketa.

ABSTRACT: *The spread of raft-farming of mussels in river estuaries around the world produces millions of tons of shell waste which mainly ends up in landfills. In addition, the United Nations and the European Union promote the sustainable development goals (SDG) for sustainable food production, requiring adequate waste management to analyse the life cycle and reuse of goods and materials. This work proposes to use mussels shells by-products created by the canning industry as abrasive in the sandblasting process. One of the main characteristics of abrasive grains is the friability, which determines the behaviour of the abrasive in the sandblasting process. Shells need to be prepared before using in sandblasting, a conditioning that involves the cleaning, grinding and sieving of shells. The purpose of this work is to examine the friability of mussel shells from two points of view, the effect of the cleaning process and a comparison with a common abrasive material (garnet). The characterization of the friability of mussel shells allows to foresee and define adequate applications according to their behaviour as abrasive. It is noticeable on the results that garnet is four times more friable than shells. This interesting feature enlarges the life of sand in close cycles and foresees a promising future to the new application.*

KEYWORDS: Mussel shells, sandblasting, friability, seashell cleaning.

**** Harremanetan jartzeko / Corresponding author:*** Juan Luis Osa. Ingeniaritza Mekanikoa Saila, Euskal Herriko Unibertsitatea UPV/EHU, Otaola, 29 (20600 Eibar). – j.osa@ehu.eus – https://orcid.org/0000-0002-7723-3895

Nola aipatu / How to cite: Osa, Juan Luis: Ruiz de Apodaca, Idoia; Martinez, Olatz; Mendoza, Amaia; Mondragon, Gurutz; Peña-Rodríguez, Cristina (2022). «Muskuilu-maskorren hauskortasuna urratzaile gisa». *Ekaia*, 42, 2022, 317-338. (https://doi.org/10.1387/ekaia.22890).

Jasotze-data: 2021, ekainak 3; Onartze-data: 2021, azaroak 22.

ISSN 0214-9001 - eISSN 2444-3255 / © 2022 UPV/EHU

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

1. **SARRERA**

Muskuiluak dira munduan gehien hazten diren soinberak [1]. Baina Galizia bezalako ekoizpen-guneetan elikagai goxo horrek ere badu bere alde iluna: kontserba-industriak milaka tona maskor hondakin sortzen du, tratamendu berezitua behar duen abere jatorriko hondakin gazia. Maskorren kontrol gabeko isurketek ingurumenean duten inpaktuaren aurrean, maskorren bizi-zikloa luzatzeko irtenbideak proposatu dira maskorrei balorea emateko asmoz [2, 3]. Muskuiluen maskorrek, maskor zuridun soinberenek ez bezala, ertz zorrotzegiak dituzte hegaztien elikagai osagarri izateko. Hormigoiaren agregakin eta errepideen legar gisa erabiltzea proposatu da [4]. Aplikazio horietan kantitate handiak kudea daitezke, baina beharrezkoa duten garbiketa tratamenduaren eta garraioaren erruz ezin dute ohiko legar merkearekin lehiatu. Nekazaritza-zoruetan azidotasuna kontrolatzeko ongarri gisa erabiltzea hutsune legal batean dago, europar eta estatu administrazioek oraindik ez baitute abere jatorriko hondakin honen arriskua zehaztu. Maskorretatik tratamendu bereziekin eratorritako purutasun handiko kaltzio karbonatoak balio erantsi handiagoko betegarri (plastikoak, papera), zuritzaile (pinturak) eta erreaktibo (industria kimikoa, farmazeutikoa eta kosmetikoa) gisa erabil daitekeen arren, haren erabilera ez dago zabaldua. Bitartean, hainbat ikerketa-talde dabiltza hondakin honi irtenbide berriak aurkitu nahian.

Literaturan ez da aurkitu maskorrak urratzaile gisa erabiltzeko proposamenik. Lan honetan aplikazio berri bat proposatzen da: maskor ehotuak urratzaile gisa erabiltzea, nagusiki granailaketa eta hondar-zurrustako garbiketa-prozesuetan. Prozesu horietan, presiopean dagoen airea erabiliz hondar aleak abiadura handian jaurtitzen dira leundu edo garbitu nahi den gainazalaren kontra [5]. Ale-gainazal interakzioan gertatutako energia-trukeak eragiketaren intentsitatea definitzen du: pintura/herdoil arrastoak kentzea gainazala kaltetu gabe, edota konpresio-tentsioak sortzea gainazala plastikoki deformatuz. Aplikazio jakin batentzat dituen propietateen arabera hautatzen da urratzaile egokia [6]. Urratzailearen dentsitateak talka-energia baldintzatzen du. Ale-morfologiak (puntaduna, biribildua, konpaktua edo luzatua), berriz, ale-gainazal interakzioan eragiten du. Gogortasunak garrantzia dauka helburua gainazala urratzea bada. Azkenik, urratzailearen hauskortasunak, talka-energia xurgatzeaz gain, aleen berrerabilgarritasuna baldintzatzen du. Ohiko material urratzaileek jatorri minerala (silizea, granatea), sintetikoa (labeetako zepa, alumina, silizio karburoa, beirazko oheak, zeramikak) edo metalikoa (altzairua) dute. Gainazalean ahalik eta kalte gutxien egiteko erabiltzen diren urratzaile «bigunak» nekazaritza-jatorrikoak (intxaur oskolak, fruitu hezurrak, almidoia) edo sintetikoak (sodio bikarbonatoa, plastiko birziklatua, izotz lehorra) izan daitezke.

Muskuiluaren kaltzio karbonatozko maskor gogor hauskorrak ehotzean era naturalean sortzen dira urratzaileek behar dituzten ertz zorrotzak. Kaltzio karbonatoaz gain, maskorren % 5 materia organikoz osatua dago [7]. Europako Parlamentuaren eta Kontseiluaren (EC) 1069/2009 Araudiak [8] giza kontsumorako ez diren animalia-azpiproduktuei aplikatu beharreko osasun-arauak ezartzen ditu. Han zehazten da animaliengandik eratorritako produktuek osasun publikoarentzat eta animaliarentzat arrisku onartezinik ez ekartzea bermatuko dela. Esplizituki zehazten du ehun bigunak edo haragia kendu zaien soinberen maskorrak araudiaren aplikazio-eremutik kanpo daudela. Herrialde bakoitzak landutako jardunbide onen giden esku uzten du haien erabileraren kudeaketa. Hala ere, Espainiar estatuak ez du oraindik oskolen erabilera egokien gida garatu eta (EC) 1069/2009 araudia osorik betetzea eskatzen du. Horrela, maskorrak zabortegian botatzeak edo bigarren erabilerak esterilizazio-tratamendua behar du, hau da, bizitza forma guztiak (bereziki mikroorganismoak) kentzen, desaktibatzen edo hiltzen dituen tratamendua [9]. Esterilizazioa hainbat modutan lor daiteke, hala nola tratamendu termiko, kimiko, irradiazio, presio altu eta filtrazio bidez. Literaturan maskorrak esterilizatzeko tratamendu termikoen eta kimikoen erabilera aurkitu dira, 1. taulak biltzen ditu adierazgarrienak. (EC) 1069/2009 araudiak esterilizatzeko tratamendu termikoa (135 ºC, >20 min, 3 bar) zehazten du; beste tratamendu mota bat erabili nahi izatekotan bere efizientzia ziurtatu beharko litzakete [8].

1. taula. Literaturan aurkitutako maskorren esterilizazio-tratamenduak.

	Tratamenduaren baldintzak	Egilea
Tratamendu termikoa	—105 ºC 24h	[10-13]
	—135 ºC 32 min (EC) 1069/2009	[4]
	—250-300 ºC	[14]
Tratamendu kimikoa	—NaHClO soluzioa	[15]
	—Ozpin zuria + 48h sodio bikarbonato soluzioan	[15]

Maskorretatik abiatuz hondarraren prestaketak maskorren garbiketa, esterilizazioa, lehorketa, ehoketa eta bahetze-eragiketak barne hartzen ditu (1. irudia). Prestaketak eragina du urratzailearen ezaugarrietan. Garbiketaren helburua da maskorrek itsatsita geratu zaien materia organiko arrastoak, bizarrak eta algak kentzea. Maskorrak urez betetako danbor birakari batean elkarri marruskatuz garbitzen dira. Esterilizatzean maskorrek berezkoa duten % 5 materia organikoan dagoen bizitza bakterianoa ezabatzen da, usain desatseginak saihesteko eta osasun segurtasuna ziurtatzeko. Esterilizazio-teknikak eragina izan dezake urratzailearen hauskortasunean, aglomeratzaile-rola duen materia organikoa kaltetu baitezake. Ehoketan

erabilitako errotak eragina dauka lortutako alearen morfologian eta ale-tamainaren banaketan. Azkenik, maskor ehotuak galbahetatik pasarazten dira ale-tamainaren arabera sailkatzeko.

1. irudia. Maskorrak urratzaile bihurtzeko prestaketaren fluxu-diagrama. Azpiko aldean eragiketak urratzailearen ezaugarrietan dituen eraginak eta kalteak (gorriz) aipatzen dira.

Lan honen helburu nagusia maskorren hauskortasuna karakterizatzea da. Propietate horren ezagutzak maskorrek urratzaile gisa izan ditzaketen aplikazio-eremuak zehaztea ahalbidetuko du. Hauskortasuna deritzo materialaren hausturarako eta pitzadurak hedatzeko duten joerari [5, 6]; zailtasuna da antonimoa. Material hauskorrek deformazio plastiko nabarmenik gabe hausteko joera dute, ez dira deformazio-energia xurgatzeko gai. Hauskortasuna proba dinamikoen bidez neurtu ohi da. Industrian hauskortasun-indizea (*friability index*, FI) eta zailtasun-indizea (*toughness index*, TI) erabiltzen dira. Hauskortasuna neurtzeko ez dago nazioarteko araurik, soilik ANSI B74.8 arau estatubatuarra proposatu da urratzaile industriari zuzendua [16]. Ale-tamaina jakin bateko urratzailea boladun errota planetarioan hamar minutuz ehotzen da, hautsi ez den (FI) edo hautsi den (TI) material-proportzioak pisuan ezagutzeko asmoz. Antzeko printzipioa aplikatuz, hainbat sektorek *ad hoc* saiakuntzak eta tresnak garatu dituzte (meatzaritza, botika industria, urratzaileak, diamanteak...) [17, 18].

Hondar-zurrustan, hauskortasun handia duten urratzaileak erabilera bakarreko aplikazioetara (ontzigintza, eraikuntzen berritzea...) daude zuzenduak. Zailtasun handiak, berriz, hondarraren berrerabiltzea ahalbidetzen duenez, industria du bezero nagusia. Hauskortasun oso handiak aplikazio finetarako ere egokiak dira, piezaren gainazala gutxiago kaltetzen baitute alearen osotasunaren kontura; hala ere, antzeko efektua lortzen da hauskortasun txikiko eta dentsitate gutxiko urratzaileekin (adibidez, urratzaile plastikoak aeronautikan). Hauskortasuna eta gogortasuna ez daude zuzenki erlazionatuta, baina ale gogorrak hauskorrak izan ohi dira. Ale-tamainak eta

hauskortasunak, berriz, bai, lotura dute: solido eta kristal txikiagoek gainazal txikiagoa dutenez, akats gutxiago dituzte [19].

Lan honek maskorren hauskortasuna bi ikuspuntutatik aztertuko du. Lehenengoak, esterilizazio-prozesuak materia organikoan sortutako kaltearen ondorioz kaltzio karbonato kristalen kohesioan duen eragina aztertzea du helburu. Literaturan erabilitako (1. taula) hiru esterilizazio-tratamenduren eragina aztertuko da: bi kimiko (sodio hipokloritoa, hidrogeno peroxidoa) eta tratamendu termikoa. Literaturan ez da horien arteko konparaketarik aurkeztu, ezta haien ondorioz maskorrek jasaten dituzten propietate fisiko-mekanikoetako aldaketak aztertu ere. Bigarren ikuspuntuak maskorren hauskortasuna granatearenarekin alderatuko du, ANSI B74.8 arauaren arabera [16]. Literaturan urratzaileen hauskortasunari buruzko lan gutxi aurkeztu dira [20, 21]. Hauskortasunaren azterketak osotasunean maskorren urratzaile gisa duen izaeraren benetako soslaia eskainiko du.

Lan honek honako egitura hau dauka. Lehenengo atalak lanaren testuingurua aurkeztu du, arazoa azalduz eta literaturan berrikusiz. Bigarren atalak jarraitutako metodologia eta lan esperimentalaren antolaketa aurkezten du. Hirugarren atalak muskuilu-maskorraren kaltzio karbonatozko kristal-egitura deskribatzen du. Atal honek muskuilu-maskorren propietate fisiko-kimikoetan ere sakontzen du. Laugarren atalak maskorren hauskortasunean esterilizazio-prozesuen eragina aztertzen du neurrira diseinatutako saiakuntza baten bidez. Bosgarren atalak, berriz, muskuilu-maskorren eta granatearen hauskortasunak konparatzen ditu. Azkenik, ondorioetan muskuilu-maskorrak urratzaile gisa erabiltzeko izango dituen ezaugarriak zehaztu eta aplikazio posibleak proposatzen ditu.

2. MATERIALAK ETA METODOLOGIA

Lan honetan erabili diren maskorrak muskuilutan berezitua dagoen jatetxe batek hornitu ditu. Jatorria O Groven dute, Galizian. Behin muskuiluak 10 minutuz 55ºC-tan egosi ondoren, maskorretako bat kenduta zerbitzatzen dira. Geuk kendutako maskorrak erabili ditugu; beraz, apenas kalterik jasan ez duten haragi gabeko maskorrak. Baldintza horiek kontserba-industrietako maskorren baldintzen parekoak dira.

Granatea, berriz, Arabiar Emirerri Batuetako «Blasbrite Gulf» etxekoa da. Nahasketa granateak (% 98) osatzen du nagusiki (almandina eta piropa mineralak). Silize aske frakzioa % 0,03 baino txikiagoa da, nazioarteko lan-segurtasun araudiek ezarritako % 1 mugatik urrun [22]. Frogatua dago kristal moduan dagoen silize askearen inhalazioak silikosia lan-gaixotasunaren sortzaile dela.

Lan esperimentala hiru zatitan banatu da. Lehenengo zatian erabili diren materialak karakterizatu dira, nagusiki muskuiluen maskorrak, baina

baita granatea ere. Besteak beste, maskorren osagai kimikoak eta propietate fisikoak aztertu dira. Bigarren eta hirugarren zatietan maskorren hauskortasuna aztertu da, hondar-zurrusta prozesuan propietate garrantzitsua dena. Bigarrengoak esterilizazio-tratamenduen eraginean ipintzen du arreta. Hirugarrenak, berriz, oskolen eta granatearen hauskortasuna konparatzen du.

2.1. **Muskuilu-maskorren propietate fisiko-kimikoak**

2. taulak biltzen ditu muskuilu-maskorren propietate fisko-kimikoei egindako proben deskribapena eta erabilitako ekipamendua. Besteak beste maskorren materialaren dentsitatea, gogortasuna, biometria eta masa neurtu dira. Maskorren konposizio kimikoan ere erreparatu da. Alde batetik, haren osagaiak espektroskopia infragorriaren bidez (*Fourier Transform Infrared Spectroscopy*, FTIR) aztertu dira. Eta bestetik, materia organikoaren proportzioa termograbimetria bidez (*thermogravimetric analysis*, TGA) eta muflan baldintza isotermikoetan neurtu dira.

Maskorren konposizio kimikoak eta egiturak beren propietate fisikoak definitzen dituzte, hala nola dentsitatea, gogortasuna eta hauskortasuna. Maskorren frakzio organikoak, berriz, bizitza mikrobioa indargetzeko esterilizazio-tratamendu beharra dakar. Propietate fisikoek eragin zuzena dute hondar-zurrusta prozesuan aleak izango duen energia potentzialean eta eraginkortasunean. Maskorren dimentsio biometrikoek, berriz, ehotze-prozesuaren sarrera baldintzak definitzeaz gain, ale tamaina maximoan eragin zuzena dute, lodierak bereziki.

Ale-morfologia ehotze-prozesuaren menpekoa da. Lan honetan boladun errota planetarioa erabili da, hauskortasun-probak bertan egin baitira. Ehotze eraginkortasuna ale-neurri banaketa aztertuz ebaluatu da hondarra bahetuz. Ale-morfologia, berriz, mikroskopio optiko bidez behatuz aztertu da.

2.2. **Maskorren garbiketaren eragina hauskortasunean**

Maskorrak konposatu mineral-organikoa izanik, garbiketa-prozesuak aglomeratzaile organikoa kaltetu dezake, hauskortasuna handituz. Helburua maskorrak egitura organikoan ahalik eta kalterik txikiena sortuz esterilizatzea da. Maskorren garbiketa-prozesuak hauskortasunean duen eragina aztertu da errota planetarioan neurrira moldatutako hauskortasun-probarekin. Bost garbiketa-baldintza aztertu dira. Lagin guztiek aurregarbiketa izan dute 25 minutuz danbor-garbigailuan ur soilez (Fimar Lavacozze LCN/5); maskorrak elkar marruskatuz itsatsita duten materia organikoa kentzen dute (haragi arrastoak, algak eta soinberak). 3. taulak aztertu diren bost garbiketa-baldintzak aurkezten ditu. Erreferentzia garbiketa soila jaso duten maskorrak dira. Tratamendua maskor osoei aplikatu zaie ehotu aurretik. Tratamendu termikoa izan ezik, besteak eguzkipean bi egunez zabalduta lehortu dira.

2. taula. Muskuilu-maskorrei egindako propietate fisiko-kimikoen neurketak eta erabilitako ekipamendua.

Konposizio kimikoa	Deskribapena eta baldintzak	Ekipamendua
Osagai kimikoak	FTIR espektroskopia infragorriaren bidez, diamantezko punta duen MKII Golden Gate osagarria (45º intzidentzia angelua) eta ZnSe lentea erabiliz. Espektroak islapen totala ahulduta (ATR) moduan jaso dira 4.000-500 cm^{-1} tartean, 64 behaketa ondoren 8 cm^{-1} bereizmenarekin.	Nicolet Nexus 670
Frakzio organikoa	TGA termograbimetria bidez, 3-6 mg lagina 25ºC-tik 800°C-ra berotu da nitrogeno atmosfera inertean 10°C/min abiaduran	Mettler Toledo TGA/SDTA 851
	Baldintza isotermikoetan bi gramoko hiru lagin 525ºC tenperaturan labean eduki dira bi orduz.	JP Selecta Vaciotem-TV
Propietate fisikoak	**Deskribapena eta baldintzak**	**Ekipamendua**
Dentsitatea (g/ml)	Maskorrak: material solidoa (maskor zatiak) ingurune likidoan Arkimedesen printzipioa aplikatuz 0,38-0,77 g arteko zortzi lagin neurtu dira dentsimetroarekin.	Mettler Toledo AJ50
	Granatea: material granularra (granate hondarra) Arkimedesen printzipioa aplikatuz 0,15-0,22 g arteko zortzi lagin neurtu dira piknometroarekin.	Piknometroa
Gogortasuna (HV)	Vikers gainazal gogortasuna (HV); zortzi neurketa maskorraren tarteko eta barneko geruzetan (kaltzita eta nakarra).	HVS-1000
Biometria (mm)	Maskorren dimentsioen neurketak (luzera, zabalera, altura eta lodiera); lagin kopurua: ehun maskor.	Kalibrea
Masa (g)	Maskorren masa neurketa; lagin kopurua: ehun maskor.	Nahita KBC001
Morfologia	**Deskribapena eta baldintzak**	**Ekipamendua**
Ehoketa	Boladun errota planetarioa: maskorrak altzairuzko bolen laguntzaz mugimendu planetarioa deskribatzen duen (bi biraketa: bere buruarekiko eta orbita) edukiontzi itxi batean ehotzen dira	Retsch PM100
Galbaheketa	Aleak neurriaren arabera sailkatzen dira handitik txikira galbahetatik zehar bibrazioaren laguntzaz pasaraziz	CISA BA200N
Behaketa	Mikroskopio optiko bidez	Nikon Eclipse 80i

3. taula. Garbiketa-prozesuen baldintzak.

Tratamendu gabe (erreferentzia)	Termikoa	Kimikoa		
		Hidrogeno peroxidoa H_2O_2	Sodio hipokloritoa NaHClO	Sodio hipokloritoa NaHClO
Garbigailua 25 min ↓ Lehortzea	Garbigailua 25 min ↓ 135ºC-32 min	$[H_2O_2]$ = % 3 10 min irabiatuz ↓ Garbigailua 25 min ↓ Lehortzea	[NaHClO] = % 1 10 min irabiatuz ↓ Garbigailua 25 min ↓ Lehortzea	[NaHClO] = % 1 12h beratzen ↓ Garbigailua 25 min ↓ Lehortzea

Tratamendu termikoa (EC) 1069/2009 araudiari jarraituz aukeratu da. Hidrogeno peroxidoa (H_2O_2), nahiz eta literaturan maskorrak tratatzeko aurrekaririk ez aurkitu, azterketa honetara gehitu da esterilizazio-tratamenduetan ohikoa delako [9]. Sodio hipokloritoa (NaHClO), berriz, bi baldintzetan frogatu da: lehena 10 minutuz irabiatuz, eta bigarrena 12 orduz beratzen utziz. Bigarren probarekin kalterik handienaren ondorioak aztertu nahi dira. Esterilizazioaren helburua mikroorganismoak deuseztatzea bada ere, mikroorganismo batek bizirauteko duen probabilitatea inoiz ez da zero izango. Tratamendu kimikoetan kontzentrazioen probak eta biziraun duten mikroorganismoen kopurua aztertu beharko litzateke tratamendua optimizatzeko eta balioztatzeko [8]. Kontzentrazio handiagoek ez dituzte eraginkortasun eta azkartasun handiagoak ziurtatzen.

Hauskortasun-proba estandarra moldatu egin da: maskorren ehotze-prozesua erreproduzitu da hura neurtzeko. Errota planetarioan (Retsch PM100) maskorrak denbora jakin batean ehotu ondoren, galbahetatik pasa, eta neurriaren araberako pisu-banaketa aztertu da: zenbat eta zati txikiagotan zatitu, orduan eta hauskorragoa da materiala.

Ehotze-baldintzak zehazteko aurreprobak egin dira. Biratze-abiadura maximoa erabili da, 650 bira/min, abiadura baxu-ertainetan maskorrak ez baitira hausten. Altzairuzko 30 bola (ø10 mm, 127 g guztira) eta urez garbitutako maskorrak (tamaina >1.120 mm, 100 g) errotan ehotu dira ale-tamainaren banaketa minutuero neurtuz; guztira 10 minutu. Honako galbahe neurri hauek erabili dira: 1.120 mm, 425 mm eta 180 mm.

2.3. **Maskorren eta granatearen hauskortasunaren konparaketa**

ASTM D1895 hauskortasun-proba estandarra egin da maskorren eta ohiko urratzaile baten (granatea) hauskortasunak alderatzeko. Maskorren lagina Retsch SM100 ebaketa-errotarekin prestatu da. Ale-tamaina jakina

duten (425-600 mm) lagin bana 10 minutuz ehotu da errota planetarioan eta, ondoren, lortutako ale-tamainaren banaketa aztertu da galbaheetatik pasatuz. Ehotze-prozesuaren garapena ezagutzeko, minutuero neurtu da ale-tamainaren banaketa. Bi materialen bolumen berdina (100 ml) ehotu da; baina, dentsitate ezberdina dutenez, maskorren eta granatearen masa ezberdina da (135 g eta 210 g hurrenez hurren). 425 mm eta 180 mm galbahe neurriak erabili dira eta, aurreko proban bezala, ø10 mm-ko altzairuzko 30 bola.

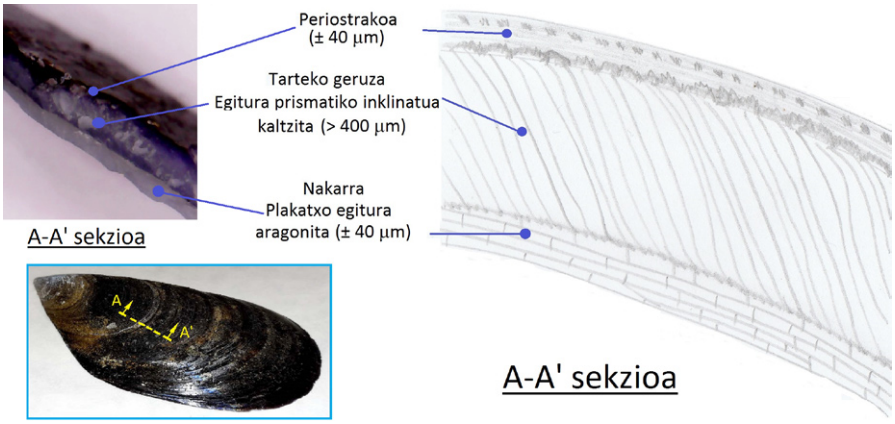
3. MUSKUILU MASKORREN EZAUGARRI FISIKO-KIMIKOAK

Atal honek hiru zati ditu. Lehendabizi muskuilu-maskorrek duten egitura deskribatzen da. Ondoren haren osagai kimikoak aztertzen dira. Azkenik, maskorren propietate fisikoak eta mekanikoak aztertu dira, geruza-egituratik eta konposaketa kimikotik eratortzen direnak.

3.1. Muskuilu-maskorren egitura

Muskuiluak itsas molusku lamelibrankiar bibalbioak dira. Lan honetan galiziar jatorriko *Mytilus galloprovincialis* muskuiluaren maskorra erabili da. Horiek estuario eta kosta ireki epeletako marearteko eta azaleko uretan bizi dira. Maskorrak forma zorrotza du mutur batean, eta zabala bestean. Maskorraren gainazala laua da, hazkunde-lerroak baino ez dira nabaritzen. Maskorra beltz-urdinxka da, barnealdean nakaratua eta kolore urdin-urdinekoa. Maskorrak hiru geruza ditu: periostrakoa eta bi kaltzio karbonato geruza (2. irudia) [23]. Materia organikoko geruzak osatzen du periostrakoa maskorraren kanpoaldean eta, kaltzio karbonato kristalen hazkuntzaren euskarria izateaz gain, barne-espazioa zigilatzen du gainasetze-baldintzak lortzeko. Bi geruza mineralak kaltzio karbonatoko polimorfoak dira; sare kristalinoen barruko molekulen ordena da haien arteko diferentzia bakarra, simetria aldatzen da [24]. Aragonitoak osatzen du barne-geruza iridiszente nakaratua; paraleloan antolatuta 0,5 μm lodi eta 10-20 μm zabal diren plaketek osatzen dute. Bi horien artean dagoen egitura prismatikoko kaltzitazuntzek osatzen dute erdiko geruza.

Maskorren materia organikoaren frakzioa % 5 baino txikiagoa bada ere, rolr garrantzitsua jokatzen du mineralen nukleazioan eta hazkuntzan [7]. Fase organikoaren zati esanguratsu bat adar azidoetan aberatsak diren biomakromolekula disolbaezinek osatzen dute, tartean kitina. Gainazaleko periostrakoa materia organikoak osatzen du eta kaltzio karbonato kristalak bertan bermatzen dira barnealdean prezipitatuz. Horiek fase inorganikoaren aldamioa osatzen dute [26]. Nakarra konposite zeramikotzat hartzen da eta bere mikro-arkitekturan 'adreilu eta mortero' (*brick and mortar*, BM) antolaketa du, non adreiluak aragonitoa kristal poligonal lauak diren eta morte-



2. irudia. *Mytilus Galloprovincialis*en maskorraren sekzioa (moldatua [25]). Kanpo-geruza organikoak (periostrakoa), babes funtzioak izateaz gain, maskorraren hazkuntzan zehar kaltzio karbonatoaren prezipitazioan ezinbesteko rola dauka. Bi geruzak osatzen dute maskorraren zati kristalinoa: kaltzita eta aragonitozko nakarra.

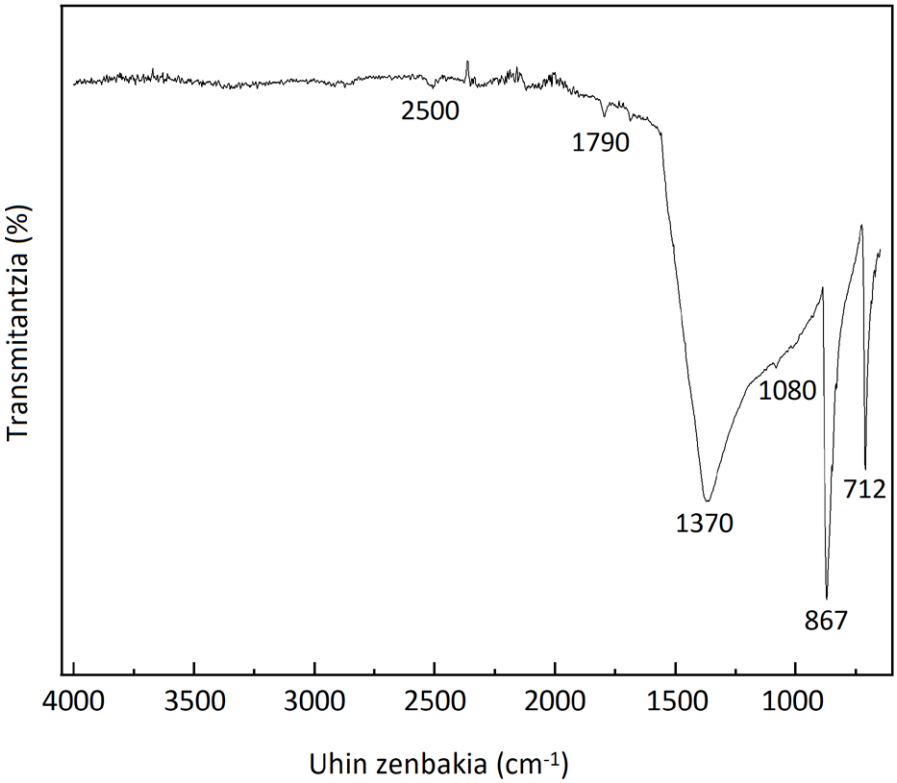
roa, berriz, polisakarido eta proteina zuntzez osatutako itsasgarria. Hainbat azterketak frogatu dute nakarraren erresistentzia eta zailtasuna hobetuak duen mikro-arkitektura berezi horri zor zaiola. Adibidez, abalone nakarraren zailtasuna mineral hutsezko kristal-bakarra baino 3.000 aldiz handiagoa da. Aipamenik aurkitu ez bada ere, tarteko kaltzita-geruzak antzeko BM egitura osatzen du, plakatxo forman beharrean elementu luze prismatikoekin. Horri gehitu behar zaio maskorrek duten geruzen *sandwich* antolaketa, periostrakoa-kaltzita-nakarra, eta inertzia-momentua handitzen duen kupula geometria kurbatua, makurdura-momentuak jasateko oso egokia dena. Horregatik eduki mineral altuko biomaterial batetik espero baino zailtasun eta erresistentzia handiagoa dute [27].

3.2. **Muskuilu-maskorren osagai kimikoak**

Literaturan muskuilu-maskorren geruza egituraz informazioa bildu ondoren, gure lanean erabilitako *Mytilus Galloprovincialis* maskorraren osagai kimikoak Fourier espektroskopia infragorriaren (FTIR) bidez aztertu dira. Laginetako maskorrek ez dute esterilizazio-tratamendurik jasan. 3. irudiak aurkezten du lortutako espektroa.

Lortutako espektroan uhin-zenbakiarekin erlazionatuta dauden muskuilu-maskorraren egituraren banda garrantzitsuenak nabarmentzen dira. Alde batetik, CO_3^{-2} ioiaren barne-bibrazio moduei dagozkien hainbat banda identifikatu dira (712, 867 eta 1.080 cm^{-1}), bibliografian aragonitoaren egi-

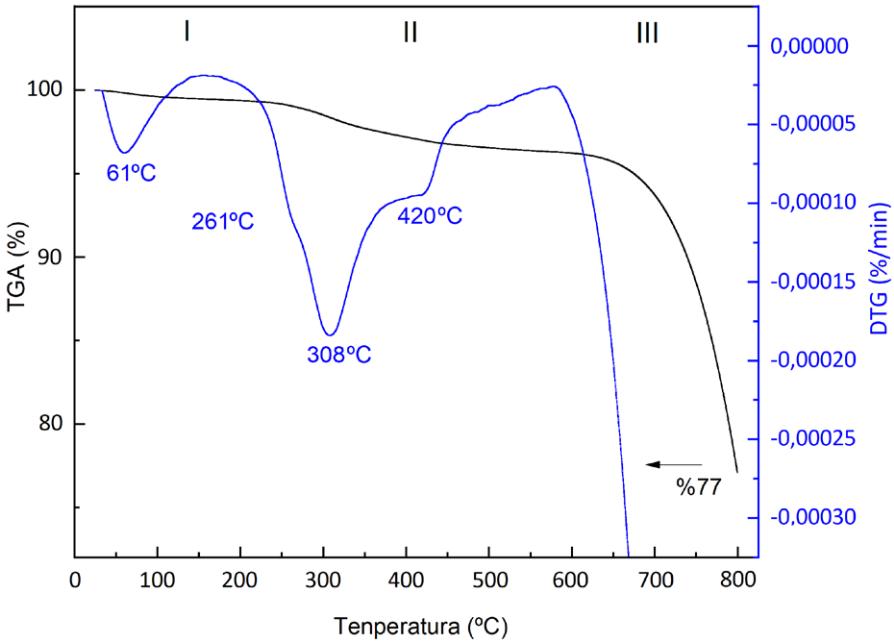
turarekin erlazionatu dena [27-29]. Bestalde, 1.370 cm^{-1} uhin-luzeran zentratua dagoen 1.100-1.790 cm^{-1} arteko banda zabala laginak duen frakzio organikoaren amida taldearen (I, II eta III) bibrazioek sortzen dute [28, 29].



3. irudia. Muskuilu-maskorraren FTIR espektroa.

Maskorren tenperaturaren araberako degradazioa ere aztertu da. 4. irudiko termogramek maskorren degradazio termikoaren garapena erakusten dute. Lehenengo eremua (I), 25-150ºC tenperatura tartea, muskuiluen maskorrek duten hezetasunarekin erlazionatzen da, hasierako masarekiko % 0,53ko galerarekin. Bigarren eremuan (II), 150-500ºC tenperatura tartean, muskuilu-maskorraren frakzio organikoaren (polisakaridoak, proteinak eta glikoproteinak) masa galera antzematen da [30], 308ºC-tan degradazio-tenperatura maximoarekin. Zehazki, hasierako masarekiko % 3,5ko galera. Azkenik, hirugarren eremuan, 500-800ºC tenperatura tartean, hasierako masarekiko % 23ko galera jasotzen da, amaieran errautsek % 77 masa dutelarik. 3. eremuan gertatzen den masa-galera $CaCO_3$-aren deskonposaketarekin erlazionatu daiteke CaO eta CO_2 konposatuetan [30].

Degradazio termikoaren analisia baldintza isotermikoetan ere egin da. Horretarako, maskorren bi gramoko hiru lagin 525ºC tenperaturan dagoen labean eduki dira bi orduz. Laginak duen pisu-galera materia organikoaren frakzioari esleitu zaio. Emaitzek % 5,07 ± 0,12 materia organiko edukia zehaztu dute, literaturan aurkitutako emaitzekin bat datorrena [7]. TGAren eta degradazio isotermoaren arteko aldeak baldintza ezberdinei egotz dakizkieke: TGAn nitrogeno atmosfera eta berokuntza dinamikoa; labean, aldiz, oxigenoa dago eta tenperatura konstantea.



4. irudia. Muskuilu-maskor hautsaren TG/DTG termogramak

3.3. **Muskuilu-maskorren propietate fisikoak**

Sarreran aipatu bezala, urratzailearen dentsitateak, gogortasunak eta materialen hauskortasunak eragina dute hondar-zurrusta eragiketan. Atal honetan lehen bi propietateak aztertuko dira, maskorren hauskortasuna hurrengo ataletan aztertzen baita.

Maskorren gogortasuna indentazio estatiko bidez neurtu da Vickers probarekin. Lortutako balioak zortzi neurketaren bataz besteko balioak dira. Neurketa-puntuaren arabera, kanpo periostrakoan edo barne-gainazal nakaratuan, bataz besteko balioak 31 HV eta 275 HV artean dabiltza. Erdiko kaltzita-geruzaren gogortasuna periostrakoa lixatuz neurtu da, 243 HV balioa lortuz. Behin maskorrak ehotuta, gogortasuna hiru balio horien ar-

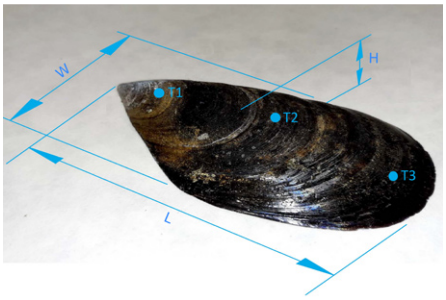
tean dago, ale berdinak hainbat gogortasun izan ditzake osatzen duten geruzen arabera (ikusi 2. irudia). Periostrakoaren, geruza organikoa izaki, gogortasun balio txikiak ditu. Hala ere, maskorrei aurrez egindako garbiketan geruza horren zati esanguratsua galtzen da haien arteko marruskaduraren ondorioz. Urratzailearen gogortasuna garrantzitsua da aleen ertzek duten zorroztasuna mantentzea eta, bereziki, piezaren gainazaletik materiala harrotzea edo deformatzea nahi bada.

Dentsitateari dagokionez, maskorrena 2,60 ± 0,04 g/ml dela ikusi da, granatearena baino heren bat txikiagoa (3,52 g/ml). Horrek hondar-zurrusta prozesuan aleak duten energia potentzialean eragin zuzena dauka: maskorrek granateak baino % 26 energia gutxiago izango dute.

Neurketa biometrikoak ere egin dira *Mytilus Galloprovincialis* maskorren dimentsioak (luzera, zabalera, altuera eta lodiera) eta masa zehazteko. Neurketak garbitu eta lehortu ondoren egin zaizkie ausaz aukeratutako ehun maskorri [31]. Maskorraren lodiera kalibrearekin neurtu da maskorren hiru eremuetan (5. irudian T1, T2 eta T3). Lodiera neurketa-puntuaren arabera aldakorra denez, lodiera karakterizatzeko Freeman-ek eta Byers-ek [32] proposatutako maskor lodieraren indizea (*shell thickness index,* STI) adierazpena erabili da:

$$STI = \frac{1000m}{\pi L\sqrt{H^2 + W^2}}$$

non m masa, L luzera, H altuera eta W zabalera diren. 5. irudiak, dimentsioen eta lodiera neurketa-puntuen posizioa adierazteaz gain, emaitzen grafikoa ere eskaintzen du. Han, nabarmena da neurketen aldakortasuna, muskuiluak beren artean duten hazkuntza-maila ezberdina baita, nahiz eta kalibre komertzial berekoak izan.

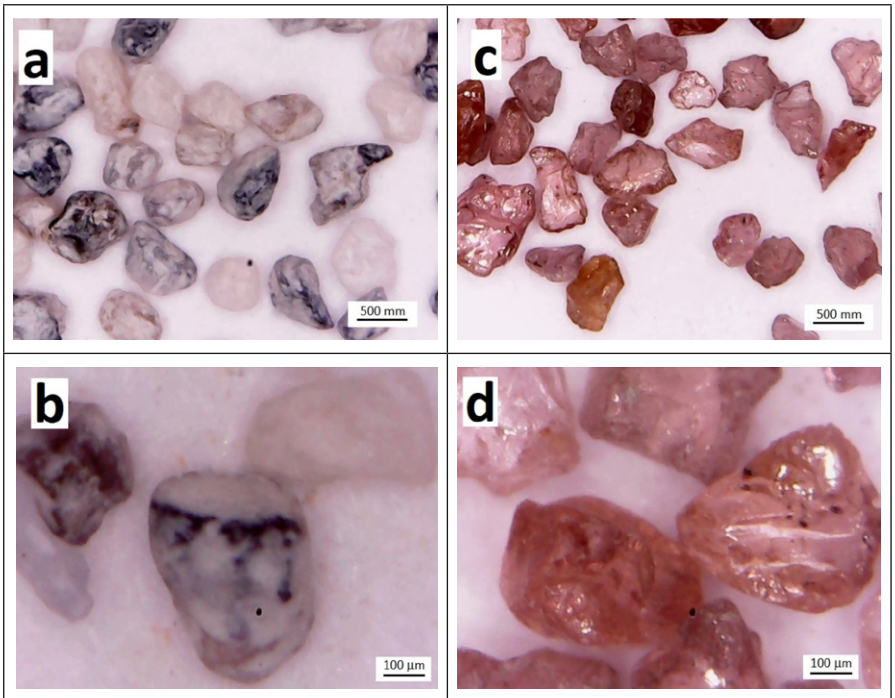


	Ezaugarria	$\bar{x} \pm s$	Max.	Min.
Dimentsioak	L (mm)	76,70 ± 8,50	101,80	61,50
	W (mm)	38,20 ± 4,00	49,70	31,40
	H (mm)	12,40 ± 1,60	17,60	9,0
	L/W	2,01 ± 0,10	2,23	1,79
Lodierak	T1 (mm)	0,87 ± 0,15	1,12	0,60
	T2 (mm)	0,69 ± 0,14	0,9	0,45
	T3 (mm)	0,58 ± 0,11	0,8	0,38
	STI (mm)	0,72 ± 0,14	0,97	0,42
Masa	m (g)	5,40 ± 1,70	12,00	2,60

5. irudia. Ezkerrean, maskorren dimentsioak eta lodieraren neurketa-puntuak; eskuinean, neurtutako aldagaien bataz besteko balioak.

Ehotzean maskorraren lodierak ale-tamaina maximoa mugatzen du. Maskorren lodiera neurketa-puntuaren araberakoa da. Hazkuntza-gune gazteagoak (0,38-0,80 mm) zaharragoak (0,60-1,12 mm) baino meheagoak dira. Beraz, lor daitekeen bataz besteko ale-tamaina 0,60 mm da, nahikoa ohiko hondar-zurrusta aplikazioetarako. Aleek geruza bat, bi edo, lodiera osoa hartuz gero, hiru geruza hartuko dituzte. Hortaz, aleen propietate fisikoak (gogortasuna, hauskortasuna, erresistentzia, etab.) direkzionalak dira, bai eta sorbatzen morfologia ere. Aleen nahasketak propietateak homogeneizatzen ditu, saiakuntzetan behatzen dena, alegia.

4. taula. Ale urratzaileen morfologiaren azterketa mikroskopio optiko bidez: errota planetarioarekin ehotu-tako maskorretan (a, b) geruzak bereiz daitezke; granateak (c, d), jatorri naturala duenez, ezpurutasunak ditu.



Maskorrak (a, b)	**Granatea (c, d)**
— Sorbatz biribilduak. — Geometria: kubikoa eta obalatua. — Aspektu-erlazioa: 1,2-1,5. — Kolorea: zuria, urdin iluna eta beltza. — Egitura: geruzak, kristalinoa lotura organikoarekin.	— Sorbatz zorrotzak. — Geometria: angeluarra (tetraedrikoa) eta kubikoa. — Aspektu-erlazioa: 1,1-1,6. — Kolorea: borgoina. — Egitura: kristalinoa (aurpegi distiratsuak), amorfoa.

Ehotutako aleen morfologiak ere eragina dauka hondar-zurrustaren eraginkortasunean. Betiere ale-morfologia ausazkoa dela kontutan hartuz, aleak kubikoak edo luzexkoak izan daitezke erakusten duten aspektu-ratioak (dimentsio handienaren eta txikienaren arteko erlazioa) duen joeraren arabera. Era berean, aleek ertz zorrotzak edo biribilduak izan ditzakete. Ezaugarri horiek urratzaile-pieza interakzioan eragin zuzena dute, energia transmititzeko moduan eta errebotean aleak duen dinamikan. Baieztapen okerra badirudi ere, ertz zorrotzeko aleak ez dira beti biribilduak baino egokiagoak, batez ere helburua gainazalen garbiketa denean [5]. Ale-morfologiak itxurazko dentsitatean ere eragina du: ale txikiek eta aspektu-ratio handia dutenek itxurazko dentsitate txikiagoa izan ohi dute. Mikroskopio optiko bidez aztertu da ehotutako maskorren eta granatearen ale-morfologia (4. taula).

Ale-morfologia ehotze-prozesuaren menpekoa da. Lan honetan nagusiki boladun errota planetarioa erabili da maskorrak laborategi-eskalan ehotzeko. Ehotzean, bola-alea eta alea-alea interakzioetan marruskadurak aleak txikitzen eta biribiltzen ditu. Hala ere, ale-morfologia ehotze-prozesuaren araberakoa da. Adibidez, ebaketa-errota erabiliz gero, maskorrak modu hauskorrean puskatzen dira, eta ertz zorrotzak lortzen dira. Aldi berean, errota jakin batean ezarritako lan-baldintzek lortutako ale-tamainaren banaketan eragiten dute: ebaketa-errotan bahearen neurria eta planetarioan ehotze-denbora.

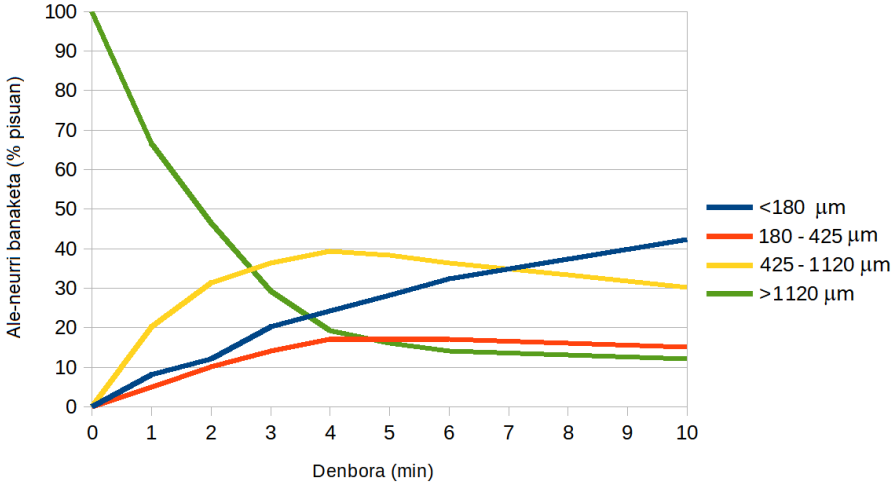
4. MASKORREN GARBIKETAREN ERAGINA HAUSKORTASUNEAN

Atal honetan maskorren garbiketa-prozesuak hauskortasunean duen eragina aztertu da. Bost garbiketa-baldintza aztertu dira (ikusi 3. taula). Erreferentzia garbiketa soila jaso duten maskorrak dira. Ehotze-prozesuaren garapena denborarekiko ezagutzeko aurreprobak egin dira urez garbitutako maskorrekin ale-tamainaren banaketa minutuero-minutuero neurtuz; guztira 10 minutu. 6. irudiak aurkezten du ale-tamainaren garapena ehotze-prozesuan zehar.

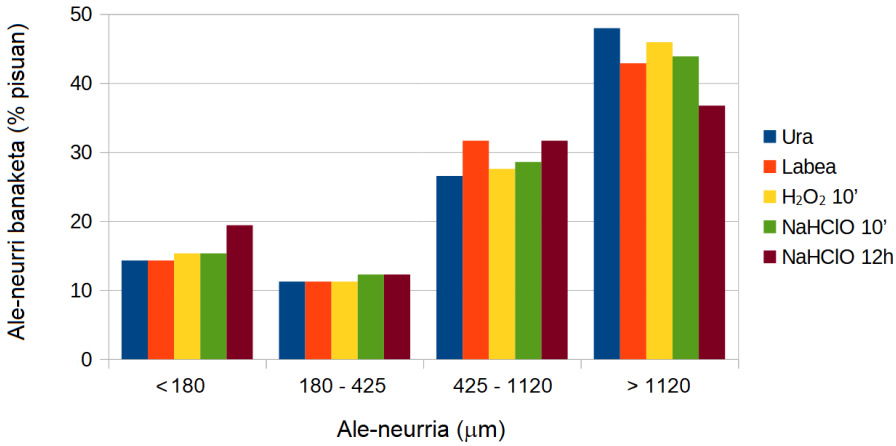
Lehen bi minutuetan maskorren erdia hausten dela erakusten du grafikoak. Ale txikien frakzioa (<180 mm) denborarekiko linealki handitzen da. Tarteko tamaina (425-1.120 mm), berriz, hasieran azkar handitzen da, baina denborarekin orekatu eta joera beherakorra hartzen du. Portaera hori bi efekturen emaitza da: alde batetik, tamaina handiko aleak hasieran haustean haien proportzioa handitzen da, baina ondoren, bolen lanaren ondorioz horiek ere ehotuz doaz.

Emaitza hauetan oinarrituta, garbiketa-baldintza bakoitzaren hauskortasuna 100 g maskor bi minutuz ehotzean ale-tamainaren banaketa pisuan

aztertuz egitea erabaki da, 650 bira/min biraketa-abiaduran eta 10 mm diametroko 30 bola erabiliz. Proba bakoitza bitan errepikatu da; 7. irudiko emaitzak bataz besteko balioak dira.



6. irudia. Hauskortasun aurreproba urez garbitutako maskorrekin, ale-banaketaren garapena/min.



7. irudia. Errota planetarioan bi minutuko hauskortasun-probetan lortutako ale-tamaina banaketa garbiketa-baldintzen arabera.

7. irudiko grafikoan deigarria da bi minutuetan garbiketa-baldintza guztietan pisuaren erdiak baino gehiago 1.120 mm tamaina baino txikiagoa duela. Hala ere, badira ñabardurak haien artean: soilik urez garbitutako

maskorren % 48tik, 12 orduz NaHClO egon den laginaren % 36ra. Beste hiru baldintzek antzeko hauskortasuna lortu dute, H_2O_2 izanik emaitza zerbait hobeak lortu dituena (% 2-3 artean). Ale-tamaina txikieneko frakzioari erreparatuz, 12 orduz NaHClO-tan egon diren maskorrak besteak baino hauskorragoak direla erakutsi dute (% 19); beste lau kasuek antzeko emaitzak lortu dituzte (% 14-15 artean).

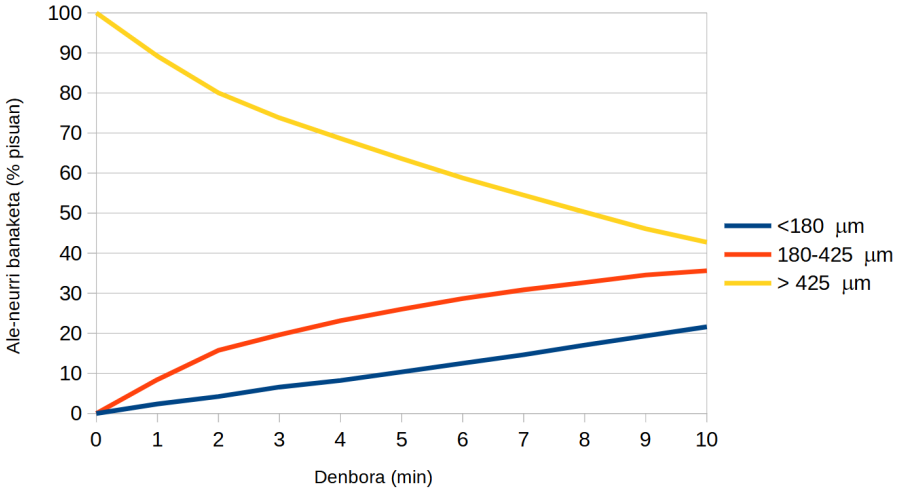
Emaitzek erakusten dute NaHClO 12 orduko tratamendua dela materia organikoan kalte gehien sortzen duena (maskorren hauskortasuna handitzen da). Maskorrak urez garbituz (erreferentzia) lortzen da zailtasun-maila handiena; hala ere, denbora motzeko (10 minutu) H_2O_2, NaHClO tratamenduekin eta tratamendu termikoarekin antzeko balioak lortzen dira: hiruretatik onena H_2O_2-a da.

Azterketa tratamendu termikoarekin jarraitzea erabaki da, H_2O_2-aren hondakin-urek tratamendua behar baitute ingurunera bota aurretik. Gainera, tratamendu termikoak europar osasun-araudia betetzen du bizitza mikrobiarraren saiakuntza eta ziurtagiri beharrik gabe.

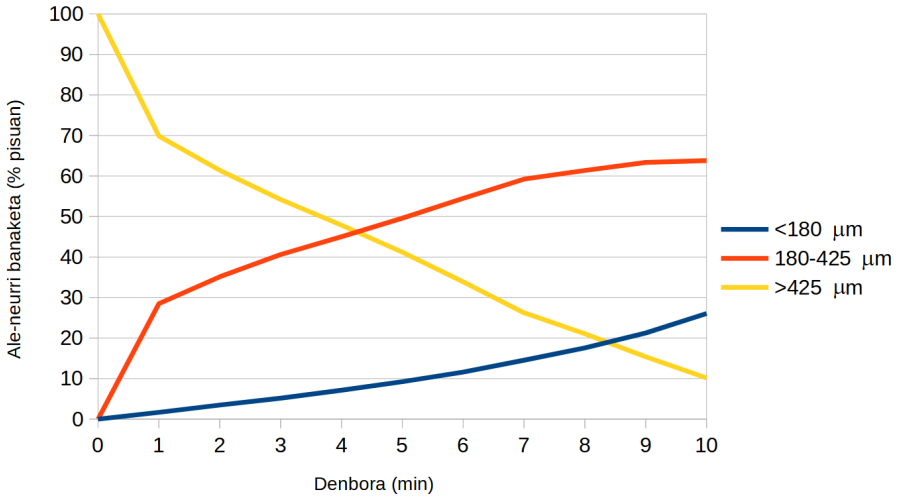
5. MASKORREN ETA GRANATEAREN HAUSKORTASUNAREN KONPARAKETA

Behin garbiketa-prozesua definituta, ASTM D1895 hauskortasun-proba estandarra egin da maskorren eta granatearen hauskortasuna alderatzeko. Ale-tamaina jakina duten (425-600 mm) lagin bana ehotu dira errota planetarioan 10 minutuz, eta minutuero lortutako ale-tamaina banaketa aztertu da galbaheetatik pasatuz. Ale-neurri jakin hori berariaz aukeratu da, tarte horretan kokatzen baita muskuilu-maskorren bataz besteko lodiera. 8. eta 9. irudiek material bakoitzak minutuero duen ale-tamainaren banaketa erakusten du. 10. irudiak, berriz, bi materialen emaitzak konbinatzen ditu minutuero hasierako neurria (>425 mm) mantentzen duen frakzioa aurkeztuz.

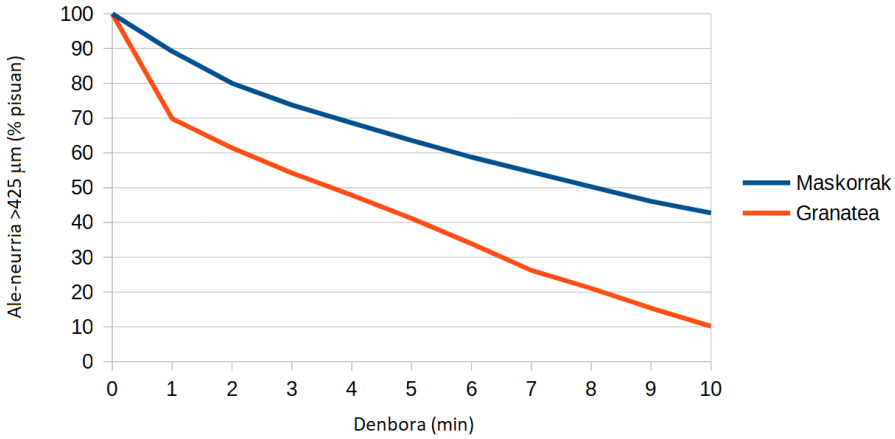
8., 9. eta 10. irudiak aztertuz granatea nabarmenki hauskorragoa dela ondorioztatzen da. Lehen minutuan granatearen % 30 hausten da, eta maskorren kasuan soilik % 10. Normala da hasieran hautsitako frakzioa handia izatea, akatsak (pitzadurak, poroak, inklusioak) dituzten aleak ia esfortzu gabe hausten baitira. Maskorrak ia lau minutuz ehotu behar dira % 30eko mailara iristeko. Behin lehen minutua pasata, biek erlazio lineala mantentzen dute >425 mm ale-tamaina frakzioaren hauste- abiaduran: % 8/min granateak eta % 6/min maskorrak. 10 minutuak pasata aldea nabarmena da: granatearen % 90 txikitu da, eta maskorren kasuan, berriz, % 57a txikitu da. Granatean 250-425 mm frakzioa maximora iritsi da 7. minutuan; maskorrean, berriz, 10. minutuan maximora iristear dagoela ikusten da.



8. irudia. Maskorren hauskortasun-saiakuntza: minutuero ale-tamaina banaketa pisuan.



9. irudia. Granatearen hauskortasun-saiakuntza: minutuero ale-tamaina banaketa pisuan.



10. irudia. Maskorren eta granatearen hauskortasunaren konparaketa: minutuero >425 mm ale-tamaina frakzioaren garapena saiakuntzan zehar.

6. EZTABAIDA ETA ONDORIOAK

Lan honetan muskuilu-maskorren propietateak aztertu dira hondar-zurrustan urratzaile gisa erabiltzeko. Bereziki hauskortasunean ipini da arreta, nahiz eta industrian estimatua izan literaturan gutxi aztertu den propietatea. Maskorrak jatorri mineral eta materia organikoaren artean osatutako material konposatuak osatzen dituztela ikusi da. Materia organikoa esterilizatzeko lau garbiketa-tratamenduek hauskortasunean duten eragina aztertu da. Hauskortasuna % 2-3 artean murrizten dela ikusi da tratatu gabekoarekin alderatuz. Hala ere, tratamendua denbora luzez aplikatuz gero hauskortasuna % 12 hazten dela ikusi da. Nahiz eta emaitzarik onenak ez lortu, tratamendu termikoa aukeratu da kimikoen ordez, hondakin-uren kudeaketa saihesteko.

Ondoren tratamendu termikoa aplikatutako maskorren hauskortasuna granatearenarekin alderatu da. Emaitzek erakutsi dute maskorretan kaltzio karbonato kristalak eta material organikoak osatzen duten BM egiturak propietate mekanikoak asko hobetzen dituela; batez ere hauskortasuna asko murrizten da. Materia organikoak kaltzio karbonato kristalen artean indarrak transmititzeko gai izateaz gain, haien artean translazio erlatibo txikia baimentzen du, inpaktu energia deformazio moduan indargetzen duena. Maskorren hauskortasuna lau aldiz txikiagoa da. Horrek esan nahi du hondar-zurrusta prozesuan maskor-hondar aleek jasoko dituzten inpaktuak puskatu gabe hobeto jasan eta granatea baino ziklo gehiagotan erabili ahal izango dela, horrela, hondar kontsumoa murriztuz.

Hala ere, maskorren dentsitatea granatearena baino heren bat txikiagoa da. Hondar-zurrustan efektu urratzailearen gakoa aleen energia zinetikoa piezaren gainazalarekin jotzean energia-trukaketa bada, energia alearen masarekiko proportzionalki handitzen da. Orduan, maskorren portaera granatea baino leunagoa izatea aurreikus daiteke; ez da granatea bezain oldarkorra izango. Horrek interesgarria bihurtzen du balio erantsi handia duten aplikazio delikatuetarako, adibidez hegazkingintza edo artelanen zaharberritzea. Jatorri biologikoa duen materiala denez, kanpo-inguruneetan gauzatzen diren ekintzetan erabiltzeko ere egokia da: besteak beste, eraikuntza eta egituretan edo ontzigintzan. Aplikazio horietan, urratzaile ihesa baldin badago edo erabilera bakarrekoa bada, kaltzio karbonatoak ez du ingurumenean kalterik sortuko.

Azkenik, ez da ahaztu behar gaur egun irteera zaila duen hondakin bati balio erantsi handiko material teknikoa bihurtzea proposatzen duela. Ekonomia zirkularra bultzatzea eta lehengaien kudeaketa arduratsua gauzatzea guztion erantzukizuna da. Ikerketa honen hurrengo pausoetan aztertuko da maskorren efizientzia hondar-zurrusta prozesuan.

7. **ESKER ONAK**

Artikulu hau MIT Inditex Sustainability Seed Funds ikasle-trukaketa programaren baitan garatu da (laguntza zenbakia 208749). Proiektua Donostiako «La Mejillonera» garagardotegiaren, Bergarako «Evlox» teileriaren (lehen «Tavex Europe»), Mungiako «Koopera» zentroaren eta Portugalgo «Washedcolors» garbitegiaren laguntzarekin eraman da aurrera. Gure esker onak helarazi nahi dizkiegu UPV/EHUko SGIker Makroportaera-Mesoegitura-Nanoteknologia unitateari.

BIBLIOGRAFIA

[1] Liburu kapitulua: Wijsman, J. W. M., Troost, K., Fang, J. eta Roncarati, A. 2019. «Global production of marine bivalves. Trends and challenges». *Goods and services of marine bivalves*, Springer, 7-26.

[2] Vidal, L. 2019. «Del mejillón como del cerdo, hasta os andares». *La voz de Galicia*, **45837** (2019/04/21), 40-41.

[3] Iribarren, D., Moreira, M. T. eta Feijoo, G. 2010. «Life Cycle Assessment of fresh and canned mussel processing and consumption in Galicia (NW Spain)». *Resources, Conservation and Recycling,* **55**, 106-117.

[4] Martínez-García, C., González-Fonteboa, B., Martínez-Abella, F., eta Carro-López, D. 2017. «Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete». *Construction and Building Materials,* **139**, 570-583.

[5] MOMBER, A. 2007. *Blast cleaning technology*. Springer. Berlin
[6] LINKE, B. S. 2015. «A review on properties of abrasive grits and grit selection». *International Journal of Abrasive Technology*, **7**, 46-58.
[7] AGBAJE, O. B. A., SHIR, I. B., ZAX, D. B., SCHMIDT, A. eta JACOB, D. E. 2018. «Biomacromolecules within bivalve shells: Is chitin abundant?». *Acta biomaterialia*, **80**, 176-187.
[8] EUROPAKO PARLAMENTUA ETA KONTSEILUA. 2009. «(EC) 1069/2009 Araudia. Giza kontsumorako ez diren animalia jatorriko azpi-produktuei ezarritako osasun arauak». *Europar Batasuneko Aldizkari Ofiziala*, **300**, 1-33.
[9] RUTALA, W. A. eta WEBER, D. J. 2008. «Guideline for disinfection and sterilization in healthcare facilities, *Centers for Disease Control (US)*, Washington.
[10] OTHMAN, N. H., BAKAR, B. H. A., DON, M. M. eta JOHARI, M. A. M. 2013. «Cockle shell ash replacement for cement and filler in concrete». *Malaysian Journal of Civil Engineering*, **25**, 201-211.
[11] YANG, E. I., YI, S. T. eta LEEM, Y. M. 2005. «Effect of oyster shell substituted for fine aggregate on concrete characteristics: Part I. Fundamental properties». *Cement and Concrete Research,* **35**, 2175-2182.
[12] YANG, E. I., KIM, M. Y., PARK, H. G. eta YI, S. T. 2010. «Effect of partial replacement of sand with dry oyster shell on the long-term performance of concrete». *Construction and building materials*, **24**, 758-765.
[13] AGBEDE, O. I. eta MANASSEH, J. 2009. «Suitability of periwinkle shell as partial replacement for river gravel in concrete». *Leonardo Electronic Journal of Practices and Technologies*, **15**, 59-66.
[14] SAHARI, F. eta MIJAN, N. A. 2011. «Cockle shell as an alternative construction material for artificial reef». *Proceedings of the International Conference on Creativity and Innovation for Sustainable Developmement*, Kuala Lumpur, Malaysia.
[15] KELLEY, K. N. 2009. «Use of recycled oyster shells as aggregate for pervious concrete». Master amaierako lana, University of Florida, Gainesville.
[16] AMERICAN NATIONAL STANDARD INSTITUTE. 2007. ANSI B74.8-1987 (R2007), «Recommended practice for Ball Mill Test for Friability of Abrasive Grain». Cleveland.
[17] JACKSON, M. J. eta DAVIM, J. P. 2011. *Machining with abrasives*. Springer, Berlin.
[18] VOLLSTAEDT-DIAMANT GmbH. 2012. «Friability Tester Type ST1/ST4» [online] http://www.vdiamant.de/files/Friability-Tester.pdf (2021eko martxoak 12an ikusia).
[19] FIELD, J. E. eta FREEMAN, C. J. 1981. «Strength and fracture of diamond». *Philosophical Magazine*, **43**, 595-618.
[20] YASHIMA, S., KANDA, Y. eta SANO, S. 1987. «Relationships between particle size and fracture energy or impact velocity required to fracture as estimated from single particle crushing». *Powder technology*, **51**, 277-282.

[21] Passos, E. R. eta Rodrigues, J. A. 2016. «The influence of titanium and iron oxides on the coloring and friability of the blue fired aluminum oxide as an abrasive material». *Ceramica*, **62**, 38-44.

[22] NIOSH. 2002. «NIOSH hazard review: health effects of occupational exposure to respirable crystalline silica.» Centers for Disease Control and Prevention, Cincinnati.

[23] Kennedy, W. J., Taylor, J. D. eta Hall, A. 1969. «Environmental and biological controls on bivalve shell mineralogy». *Biological Reviews*, **44**, 499-530.

[24] Zhang, Z., Xie, Y., Xu, X., Pan, H. eta Tang, R. 2012. «Transformation of amorphous calcium carbonate into aragonite». Journal of Crystal Growth, **343**, 62-67.

[25] Klünder, M. H., Hippler, D., Witbaard, R. eta Frei, D. 2008. «Laser ablation analysis of bivalve shells–archives of environmental information». *Geological Survey of Denmark and Greenland (GEUS) Bulletin*, **15**, 89-92.

[26] Song, F., Soh, A. K. eta Bai, Y. L. 2003. «Structural and mechanical properties of the organic matrix layers of nacre». *Biomaterials*, **24**, 3623-3631.

[27] Chakraborty, A., Parveen, S., Chanda, D. K. eta Aditya, G. 2020. «An insight into the structure, composition and hardness of a biological material: the shell of freshwater mussels». *RSC Advances*, **10**, 29543-29554.

[28] Mohammadi, P., Wagermaier, W., Paananen, A., Penttila, M. eta Linder, M. B. 2019. «Analysis of Finnish blue mussel (Mytilus edulis L.) shell: Biomineral ultrastructure, organic-rich interfacial matrix and mechanical behavior». *BioRxiv,* **Jan 1**, 636-696

[29] Liao, Z., Jiang, Y. T., Sun, Q., Fan, M. H., Wang, J. X. eta Liang, H. Y. 2019. «Microstructure and in-depth proteomic analysis of Perna viridis shell». *PloS one*, **14**, 219-699.

[30] Martínez-García, C., González-Fonteboa, B., Martínez-Abella, F. eta Carro-López, D., 2017. «Performance of mussel shell as aggregate in plain concrete». *Construction and Building Materials*, **139**, 570-583.

[31] Zorita, I., Arantzamendi, L., Aldalur, U., González, M., Juez, A., Martín, I., Rodríguez, J.G., Serrano, N. eta Solaun, O. 2019. «Protocolos para evaluar procesos y parámetros biológicos del mejillón». *Revista de Investigación Marina, AZTI*, **26**, 14-31.

[32] Freeman, A. S. eta Byers, J. E. 2006. «Divergent induced responses to an invasive predator in marine mussel populations». *Science*, **313**, 831-833.