

---

Gradu Amaierako Lana

Ingeniaritza Kimikoko gradua

---

# Biojardineraren koipe tranparen aktibazio biologikoa eta beraren modelizazioa

Egilea:

Mikel Manso Fraile

Zuzendaria:

Roberto Aguado Zarraga Doktorea

Zuzendari kidea:

Federico Mijangos Antón Doktorea

Leioa, 2018ko uztailaren 20a

## **AURKIBIDEA**

<b>1. SARRERA .....</b>	<b>1</b>
1.1. EL SALVADORREKO TESTUINGURUA.....	1
1.2. UR GRISAK ETA BERAUEN TRATAMENDURAKO BIOJARDINERAK.....	6
1.2.1. Olio eta koipeak ezabatzeko metodoak.....	11
1.2.2. Gehigarri biologikoak .....	13
<b>2. HELBURUAK .....</b>	<b>17</b>
<b>3. PROZEDURA ESPERIMENTALA.....</b>	<b>18</b>
3.1. MATERIAL, ERREAKTIBO ETA EKIPOAK.....	18
3.2. KULTIBIOAREN KARAKTERIZAZIO MIKROBIOLOGIKOA.....	18
3.3. KULTIBATUTAKO LURRA.....	19
3.4. METODOLOGIA ESPERIMENTALA.....	20
<b>4. MIKROORGANISMOEN HAZKUNDEA ETA AKTIBITATEAREN KARAKTERIZAZIOA .....</b>	<b>24</b>
<b>5. KOIPE TRANPAREN MODELIZAZIO MATEMATIKOA.....</b>	<b>30</b>
<b>6. ONDORIOAK .....</b>	<b>39</b>
<b>7. NOMENKLATURA .....</b>	<b>40</b>
<b>8. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>42</b>

## 1. SARRERA

Ura izaki bizidunen biziraupenerako beharrezko elementu kimikoa da. Ekosistema gehienen parte, berariazko funtzioak betetzeko eta bizi zikloan bitartekari garrantzitsua da. Hala ere, uraren garrantzia bizitzeaz haratago doa. Gizakiaren kasuan, ur edangarri garbia izateak herrialde edo herri baten alor desberdinetan eragiten du (Nazio Batuak, 2015). Herri askoren kultura, ohiturak, izaera, historia, garapena eta abar handi baten atzean aurki daitezkeen eragilea nagusienetariko bat da.

Garapen jasangarriaren epizentroan aurkitzen da eta garapen sozioekonomikoaren, energia eta elikagaien ekoizpenean oinarritzkoa da ura (Acevedo, Barry, eta Rosa, 1995). Honen erakusle dira Munduko Osasun Erakundeak aurkeztu zituen datuak: herrialde garatuetan, ur kontsumoa pertsona eta eguneko 300 L-raino heltzen da. Garatzeke dauden herrialde askotan aldiz pertsonako eta eguneko 25 L-tara ere ez dira heltzen. Munduko Osasun Erakundearen gomendioz, pertsonako eta eguneko gutxienez 80 L ur behar dira bizi premiak ase eta norbanakoaren higieena mantentzeko beste izateko. Horregatik, ura herrialde baten garapenaren faktore zein adierazle dela esan daiteke.

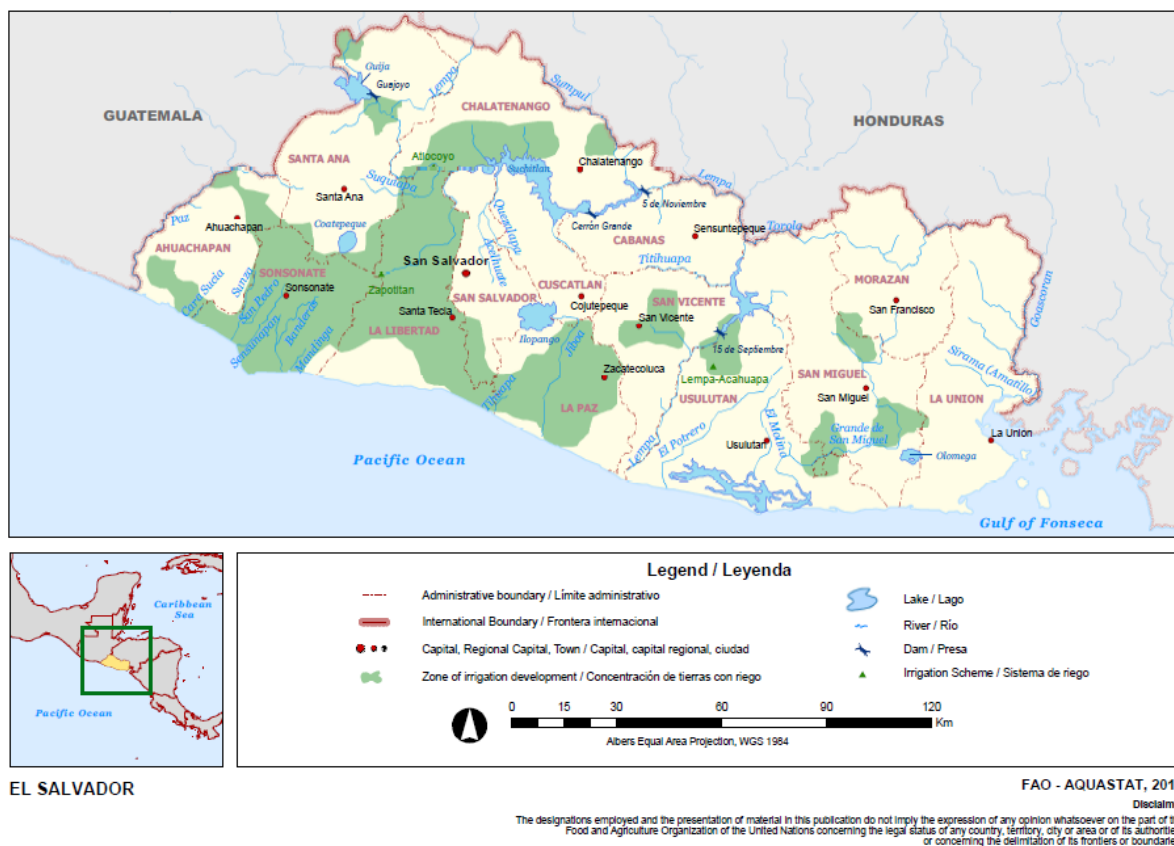
2010ko uztailaren 28ean, Nazio Batuetako batzar nagusiak, 64/292 ebazpenaren bitartez, uraren eta uraren saneamendua gizaki ororen eskubidea zela aitortu zuen, hurrengo berretsiz: ur edangarri garbia eta uraren saneamendua edukitzeak funtsezko baliabideak direla giza eskubide guztiak aurrera eraman ahal izateko. Ebazpen honek herrialde azpigaratuetatik garatueta eragitea izan du helburu. Izan ere, datuak oso larriak dira:

- 2.1 biloi pertsonak ez dute modu seguruan kudeatutako ur edangarrira iristerik
- 4.5 biloi pertsonak ez dute modu seguruan kudeatutako saneamendu zerbitzuetara iristerik
- Bost urte baino gutxiagoko 340.000 ume hiltzen dira urtero beherakoak eta mota antzeko gaixotasunen ondorioz
- Uraren gabeziak jada 10 pertsonatik 4ri eragiten dio
- Hondamendi naturalen %90 urarekin erlazionatuta daude
- Hondakin uren %80 ekosistemara tratatu gabe itzultzen dira
- Nekazaritzak munduko uren ateratzearen %70 errepresentatzen du

Datu hauek izanda, ez da harritzekoa urak pertsonengan izan dezakeen eragin ikaragarria antzematea.

### 1.1. EL SALVADORREKO TESTUINGURUA

El Salvador Pazifikoko kostan kokatzen den Erdialdeko Amerikako herrialde bat da, 21.040 km<sup>2</sup>-ko azalera totalarekin Erdi Amerikako errepubliketatik txikiena da. Mugei dagokionez, 1. Irudian ikusten den bezala, ipar eta ipar-ekialdean Hondurasekin egiten du muga; ekialdean Fonseca Golkoak Nikaragua eta El Salvador banatzen ditu; hegoaldean Ozeano Pazifikoa dago eta mendebalde zein ipar-mendebaldean Guatemala aurkitzen da. Karibe itxasorik ez duen Erdialdeko Amerikako estatu bakarra da El Salvador.



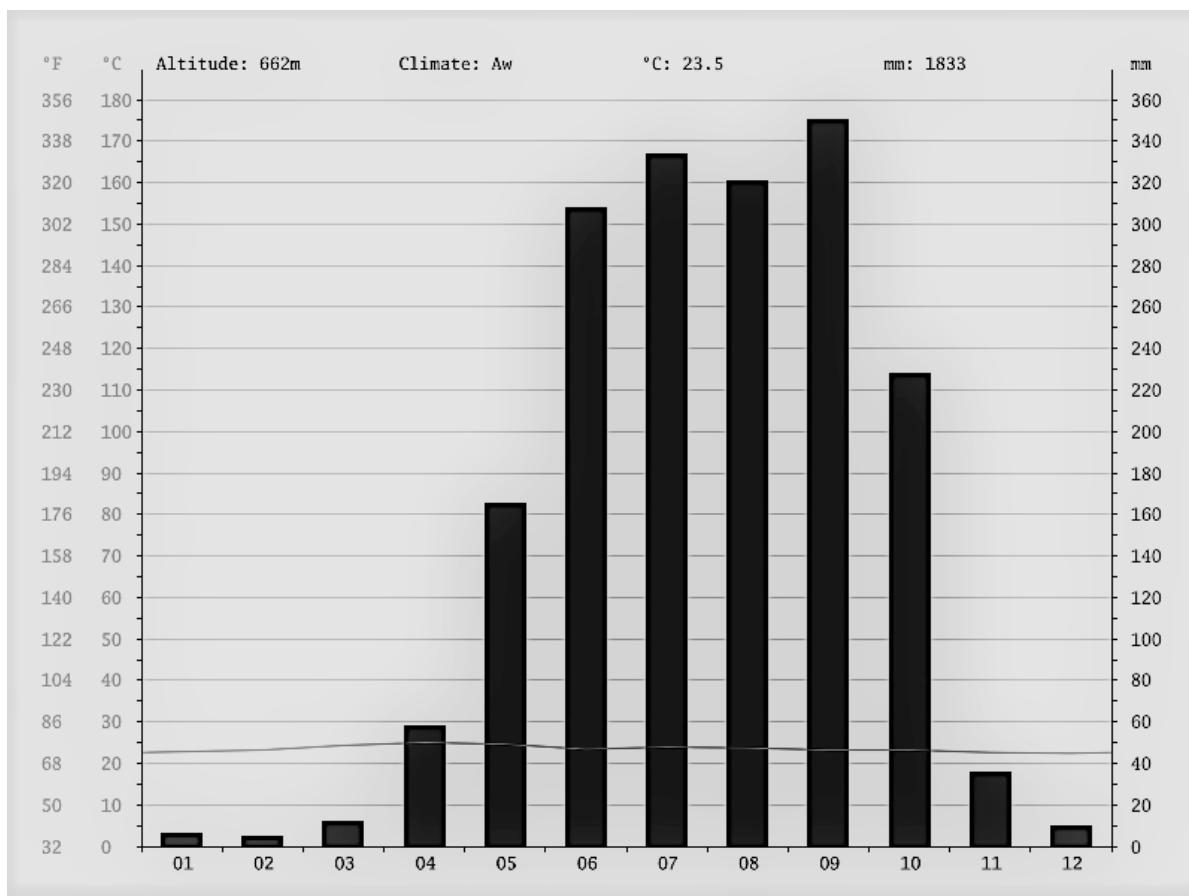
## 1. Irudia. El Salvadorreko mapa.

El Salvadorrek duen kokapena dela eta klima tropikala dauka. Honen eraginez, El Salvadorren ez dira lau urtaroak bereizten, bi baizik: urtaro lehorra eta urtaro euritsua. Ondorioz, 2. Irudian ikusten den bezala, tenperaturak urtean zehar konstante mantentzen dira, baina ez ordea prezipitazioak. Horregatik, urtaro euritsuari uholde eta euri bortitzak jasatearen ondoriozko kalteak oso ugariak dira. Gainera, urtaro lehorrean, lehorteak, suteak eta uzta galerak egotea ere oso ohikoak dira.

Urtaro lehorra azarotik apirilera bitartean ematen da eta maiatzetik urrira urtaro euritsua. Aipatzekoa da, urtaro lehorrean urteko prezipitazioen %20 baino gutxiago ematen dela eta beraz, laborantza ureztatzea ezinbestekoa bihurtzen da.

Demografiari dagokionez, 2013an lortutako azken datuen arabera, herrialdeko biztanle kopuru totala 6.340.000ra heldu zen. Horietatik, %34a landa inguruetan bizi zen. Familien %41 pobrezian bizi dira eta horietatik, %12 muturreko pobrezian (MINEC, 2012).

Herrialdeko hiriburua San Salvador da eta biztanle gehien batzen dituen hiria ere. Bertan herrialdeko populazio dentsitate altuena aurkitzen da. Hiriburuan ez zik populazioa landa inguruetan banatua dago, komunitateetan antolatuta eta oso sakabanatuta. 2003-2013 denboraldian biztanleria ehuneko 0.5 urteko batezbesteko tasaz hazi zen.



## 2. Irudia. El Salvadorreko temperatura eta prezipitazioen bilakaera.

1. Taulan laburtuta aurkitzen dira demografia datu interesgarri batzuk. Esaterako, 2012. urtean, biztanleriaren %90ak ur edangarri dun iturri hobetuetara heltzeko aukera zuten. Landa inguru eta hiriguneetako datuak alderatzen badira, alde nabaria dagoela ikus daiteke. Landa inguruetan ehuneko hau %81ra murrizten bait da.

El Salvadorreko aro garaikideari dagokionez, 1821. urtean independentzia lortu zuenetik historia korapilatsua bizi izan duela esan daiteke (Salazar, 2012). Lur-jabe eta militarrek errepresio armatuaz baliatu ziren herrialdea urte luzez gobernatzeko. Horren ondorioz, herritar askok gerrilletan antolatu eta borrokatzen hasi ziren. XX. mendean zehar, El Salvador borroka eta gerra konstante batean sartuta egon zen, 12 urte iraun zuen gerra zibil batekin amaituz. Gatazka zauritsu horiek zirela eta herrialdeak ezin izan zuen bere osotasunean garatu.

1992. urtean, Chapultepec-eko bake akordioekin herrialdea egonkortasun egoera batera heldu zen eta aurreko hamarkadetan eragotzitako garapenari buelta ematen hasi zen. Hala ere, gaur egun El Salvador garatu gabeko herrialdeetat hartzen da.

Bake hitzarmenak egon ziren arren herrialdeak biolentzia egoera egunerokotasuneko bizitzan jasaten jarraitzen dute. Erdialdeko Amerikako estatu gehienak bezala, droga zubi bat da El Salvador. Horrek, biolentzia egoerari ikaragarri eragin dio. Gainera, herrialdetik ihes egindako gazte askoren etorrerarekin "mara" izenez ezagutzen diren talde armatuak (gaur egun talde terrorista bezala kontsideratuak) eta indar polizial-militarren arteko talkak ikaragarriko mina egiten dio herrialdeari.

Azken urteetan, El Salvadorreko ekonomiak gora-behera ugari izan ditu. Barne produktu gordinaren bilakaerari dagokionez, hazkuntza konstante baina apala izan du 1992ko bake hitzarmenaz geroztik. 2017. urtean hazkuntza ekonomikoak %2.1ra iritsi zen. Areagotze hori, nekazaritza, abeltzantza, arrantza, manufaktura eta meatzaritza sektoreek zein zerbitzu eta turismoak bultzatua izan zen. Horiek guztiak batera, hazkuntzaren bi herenak errepresentatzen dute.

**1. Taula.** El Salvadorreko biztanleriari buruzko estatistiken emaitzak (AQUASTAT, 2015).

<b>BIZTANLERIA:</b>		
Biztanleria totala	2013	6 340 000 pertsona
- Landa eremuko %	2013	%34
Biztanleria dentsitatea	2013	301 pertsona/km <sup>2</sup>
Ekonomikoki aktiboak diren biztanleak	2013	2 693 000 pertsona
- Biztanle totalaren %	2013	%42
- Emakumezko %	2013	%41
- Gizonezko %	2013	%59
Nekazaritzan ekonomikoki aktiboak dauden biztanleak	2013	574 000 pertsona
- Ekonomikoki aktiboak diren biztanle totalaren %	2013	%21
- Emakumezko %	2013	%10
- Gizonezko %	2013	%90
<b>UR EDANGARRI HOBETUETARA HELTZEA:</b>		
Populazio totalaren %	2012	%90
Hiriguneetako populazioaren %	2012	%95
Landa eremuetako populazioaren %	2012	%81

Herrialdearen hazkunde motel horrek pobrezia murrizpen txikia ekarri du eta landa eremuetako pobrezia maila altuak. Herrialde horretan pairatzen den arazo nagusietako bat irabazien banaketetan dagoen desberdintasun ekonomikoa da. Esaterako, 1999. urtean herrialdeko aberatsen bostenak irabazien %45 jaso zuten, behartsuen bostenak ordea, soilik %5.6a.

Horregatik, herrialde baten garapena ezin da Barne Produktu Gordinak deskribatzen duen hazkuntza ekonomikora mugatu. Gizartearen ongizatea bermatu eta ingurumena babestea ezinbestekoa da. Gainera, gizartearen egoera ez litzateke soilik diru sarreretan oinarritu behar, baizik eta ikuspegi globalago batekin, elikadura, osasun zerbitzuak, hezkuntza edota lan baldintzak bezalako arloak kontuan hartuz. Horretarako, Nazio Batuen erakundea Giza Garapen Indizea (GGI) sortu zuen. Irizpide honen bidez herrialde baten bizi esperantza, BPG per kapita eta alfabetatze tasa kontuan hartzen ditu. Hiru termino hauekin, herrialde baten ekonomia, bizi kalitatea eta hezkuntza kontuan hartzen dira. El Salvador GGI maila ertaina duen herrialdea kontsideratzen da eta 3. Irudian ikusten den bezala, 2016. urtean 188tik 117. postua lortu zuen 0.68 GGI batekin.

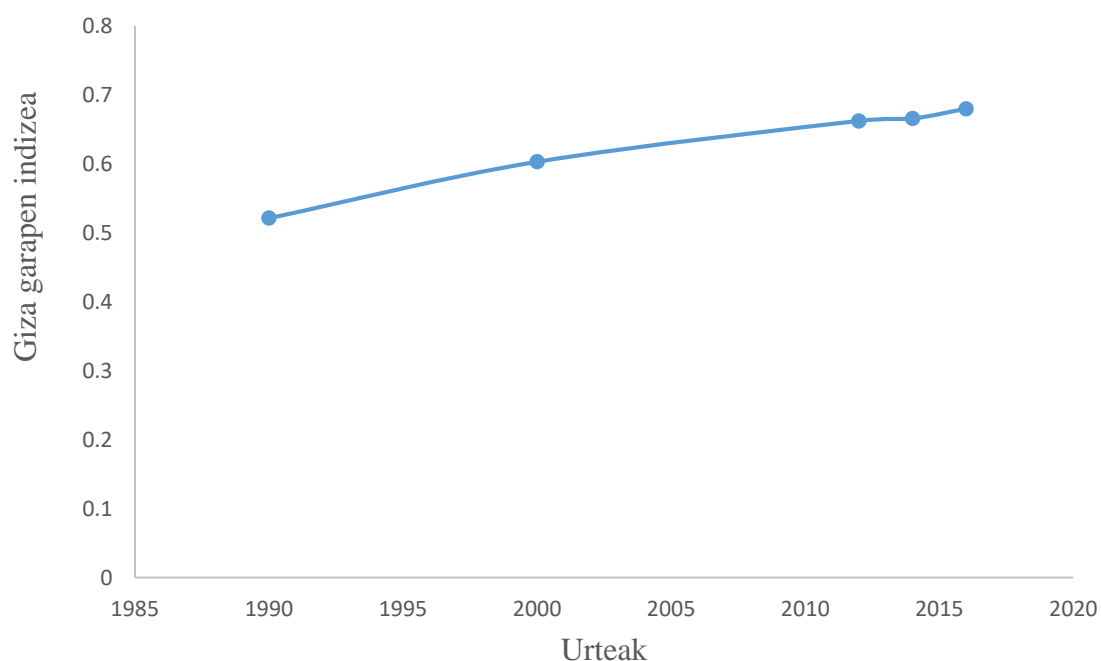
Lehen sektorearen garrantzia murriztuz joan da urteetan zehar, 2015. urtean nekazaritzaren ekarpena BPGan %11.28raino jaistera iritsi arte. Hala ere, nekazaritza, arrantza eta abeltzaintza lan postuen aldetik pertsona gehien dituzten sektoreak izaten jarraitzen dute. Gainera, lehen sektoreko produktuei dagokio esportazioen zati handienetako bat da.

Nekazaritzaren antolamenduari dagokionez, dualismo bat ematen da herrialdean: alde batetik, komertziorako laborantzak daude eta bestetik, bizibide laborantzak, hau da, bizi iraupenerako

direnak. Lehen talde horrek latifundio erregimenean lantzen ditu lurak. Latifundio erregimena zera esan nahi du, lur sail handiak jabe gutxiaren menpe daudela eta ondorioz, ohikoena da horiek lantzen dituzten nekazariak lur horien jabeak ez izatea. Gehien bat kafea ekoizteko bideratzen dira lur horiek ondoren herrialdetik kanpo saltzeko. Aldiz minifundio erregimenean, nekazari familia xumeek bizi irauteko beharrezko produktuak ekoizten dituzte, barne kontsumorako.

Nekazarien lan baldintza oso gogorrak jasan ohi dituzte eta gainera, soldatak oso prekarioak izaten dira. Horregatik nekazal eremuetan hiriguneetan baino pobrezia maila altuagoak aurkitzen dira.

Azken hamarkadetan, kooperatiben agerpenak nekazarien egoera kritikoa hobetzen lagundu dute. Kooperatiba askok, emakume nekazarien baldintzak eta soldaten berdintasuna aldarrikatzen saiatzen dira.



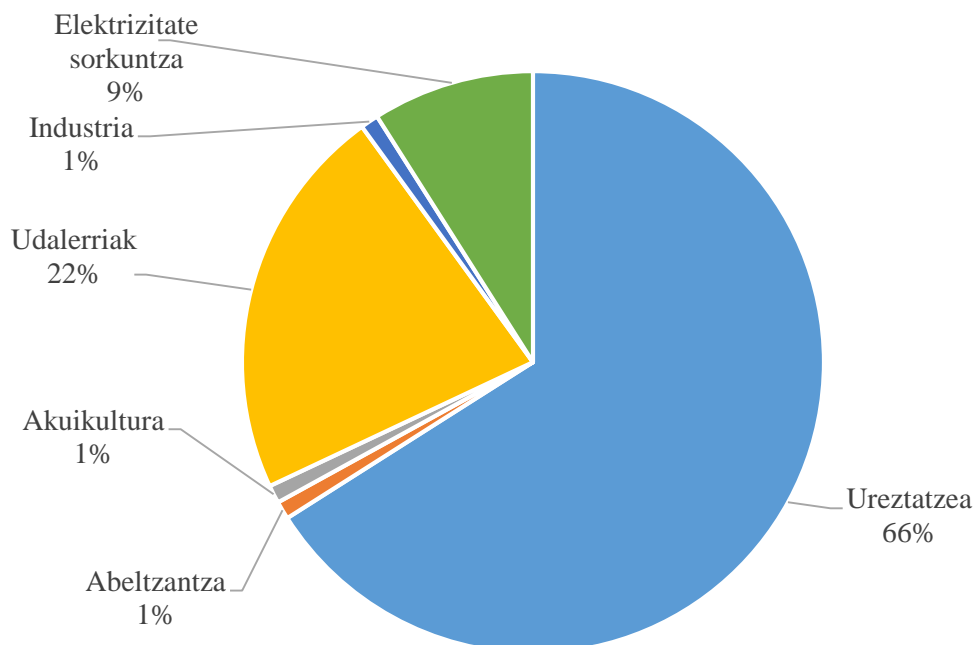
### 3. Irudia. El Salvadorreko Giza Garapen Indizearen bilakaera urteetan zehar.

Nekazarien lana ez da makala. Baina nekazari eta gainera emakumea izanda egoera oraindik ere larriagoa da. Sistema hetero-patriarkala dela eta emakumeek sistemari egiten dioten ekarpena gutxietsita dago. Askotan familia langileak direla kontsideratzen dira ordainsaririk ez irabazteko. Herrialdeko hainbat eragile zein herritar berdintasunerantz bidean lanean ari dira eta horren seinale da nekazaritza eta abeltzantza ministerioak berdintasunari buruz gehitu berri dituen genero ikuspegiak. Hala ere, oraindik emakume eta gizonen arteko lan munduko zubia ere handia da, soldata eta lan baldintzei dagokionez.

El Salvador mineral eta metal berezietan oso aberatsa da. Aberastasun honek multinazional eta atzerriko zenbait konpainiak herrialdean meategiak jartzea ekarri izan du. Baina meatzaritzak sortutako kalte larriak (bai ingurumenean eta baita biztanleen osasunean) direla eta, gizartearen aldarrikapenak entzunez, herrialdeko diputatuen ganberak metalen meatzaritza debekatzeko

zuen lege bat onartu zuen 2017. urtean. Metalen meatzaritza debekatzen duen munduko lehen legea kontsideratzen da.

Uren estrakzio totala 2.118 km<sup>2</sup> ra iristen da. Kontsumoa hau aztertzen bada ezinezkoa da nekazaritzak duen eraginaz ahaztea. Izan ere, 5.irudian ikus daitekeen moduan, ur ateratzeen %66a lur sailen ureztapenerako erabiltzen da, lehen sektoreak ur kontsumo handiena edukiz. Hurrengo sektore nagusia udalerriena izango litzateke, hauek totalaren %22a izanda.



#### 4. Irudia. El Salvadorreko ur estrakzioa sektoreka banatuta.

El Salvadorrek pairatzen duen arazo nagusietako bat ur horniketa da. Lehen esan bezala, herrialdeko lurrak metal berezi eta astunetan oso aberatsak dira. Ondorioz, zenbait tokietako urak askotan kutsatuta egoten dira eta ezin dira erabili. Gainera, meategien erauzketen ondorioz zenbait ibai eta erreken urak ere kutsatuak izan dira. Nekazaritzaren ur kontsumo altuak estres hidrológico handia eragiten du eta ondorioz horrek horniketari kalte handiak ekartzen dizkio. Gainera, herrialdeko klimak ez dio batere laguntzen egora horri.

Arazo honi aurre egiteko, uren tratamendu eta berrerabilera sistema sarea osatze litzateke egokiena. Baina herrialdeak ez dauka ez teknologia ezta ekonomia aldetik hori egiteko gaitasuna. Horretarako, herrialdeko zenbait eragile, elkarte etab. aukera desberdinak aztertzen dabilta.

#### 1.2. UR GRISAK ETA BERAUEN TRATAMENDURAKO BIOJARDINERAK

Ur grisak definizioz, bainuontzi, dutxa, harraska, konketa, garbigailu, ontzi-garbigailu etab. guztietatik sortzen diren etxebizitzetako ur hondakinak dira (Li, Wichmann, eta Otterpohl, 2009). Horiek ez dute ur beltzak kontuan hartzen, hau da, komuneko ur hondakinak ez ezik beste guztiak hartzen ditu barne. Etxebizitza batek sortzen dituen ur hondakin totalen %60-70 inguruk osatzen dute ur grisak (Friedler, Kovalio, eta Galil, 2005).



Ur grisak konposaketa, sortzen diren lekuaren, pertsonen bizi ohituren, erabiltzen dituzten produktuen eta instalazioaren izaeraren arabera asko alda daiteke (Friedler eta Hadari, 2006). Hala ere, ur grisak ur beltzak baino karga organiko txikiagoa dute, gorozki eta gernurik ez daramatzatelako, eta horregatik horien tratamendua aukera interesgarria bihurtu da ondoren ureztapen edo komunetan berrerabiltzeko.

Ur grisak aztertzerako orduan kontuan hartu beharreko parametro kimikoei dagokionez, DBO, DQO edo beste nutrienteen kontzentrazioez aparte, pH zein olio eta koipe kantitatea ezagutzea garrantzitsua da. Izan ere, ur hondakinetan olio eta koipeen kantitatea kontrolpean izatea berebizikoa da estolderietan tapoiak edota fluxuari oztupoak ekiditeko (Eriksson eta kol., 2002). Gainera, olio eta koipeen kontzentrazio altuak prozesu biologikoan arazo ugari ekarri ohi dute.

Bestetik, parametro fisikoei dagokionez, temperatura, uhertasuna eta esekidurako solidoak dira garrantzitsuenak (Li, Wichmann, eta Otterpohl, 2009). Tenperaturari dagokionez, temperatura altuak arriskutsuak izan daitezke mikroorganismoen hazkuntzari mesede egiten bait diote eta. Gainera, disoluzio super saturatuen prezipitazioa ekar dezake. Ur grisetan aurkitu daitezkeen material solidoen adibide dira sukaldetako harrasketako janari zatiak eta komun edo garbigailuetako ile, fibra eta partikulak. Uhertasun eta esekidurako solidoen neurketak horiei buruzko informazioa ematen dute. 2. Taulan etxebizitza baten ur grisak konposaketa analisia lortutako emaitzak laburbilduta agertzen dira.

Garapen bidean dauden herrialdeetan ura ekonomia, gizarte eta ingurugiroaren hazkuntzan eragile erabakigarria da. El Salvadorren bereziki, ur garbia ondasun urria da, eta ez bakarrik horniketa arazoengatik, baina bereziki, ur hondakinen tratamenduen gabezia dela eta. Honen konponbidea isurien kontrol eta egokitzapenean datza, zeinek landa gunetan, irtenbidea berarekin inbertsio txikiak behar dituzten instalazioak erabiltzen dituen eta horien mantenua kualifikazio teknikorik eta ezta baliabide ekonomikorik behar ez dituen teknologiak identifikatu eta martxan jartzea dakar.

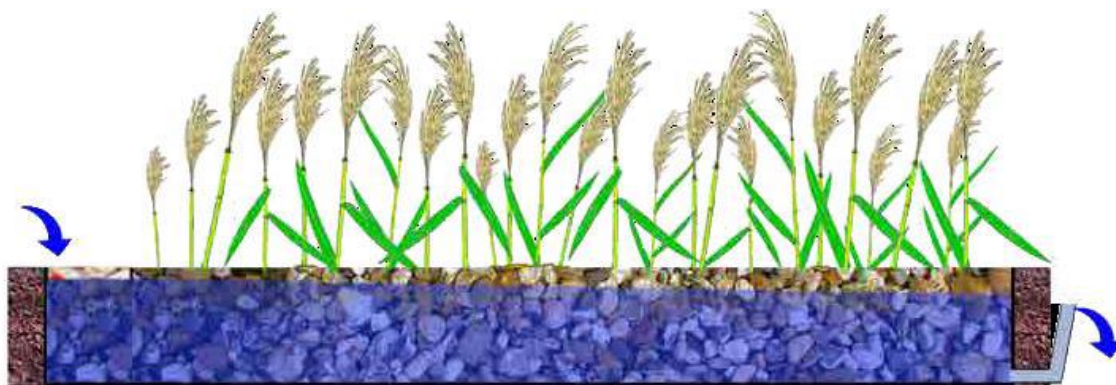
Arlo horretan, zenbait elkarte zibilek (AQUA, Asociación de Desarrollo Económico y Social) biojardinerak edo urmael artifizialak identifikatu dituzte konponbide eraginkor, egingarri eta moldakor bezala dutxetatik eta bainugela, sukalde edota etxeetako zein komunitateko harrasketatik datozen ur grisak tratamendurako. 5. Irudian ikus daiteke horren eskema bat.

Arazketa mota honelako sistemek, funtsean biofiltro bat bezala lan egiten dute, baina biojardineretan landare eta mikroorganismo anitzen erabilera bateratzen da hondakin uren tratamendurako. Izan ere, naturan uren kalitatea hobetzeko berez landaretzak, lurzorua eta mikroorganismo taldeek egiten duten prozesuak ematen dira bertan. Urak duen karga organikoa mikroorganismoen bitartez biodegradatzen da eta landareek lohien nutrienteak (N, P eta materia organikoa) absorbatzen dituzte, hortaz bakarrik sostengatzen den ekosistema bat lortuz.

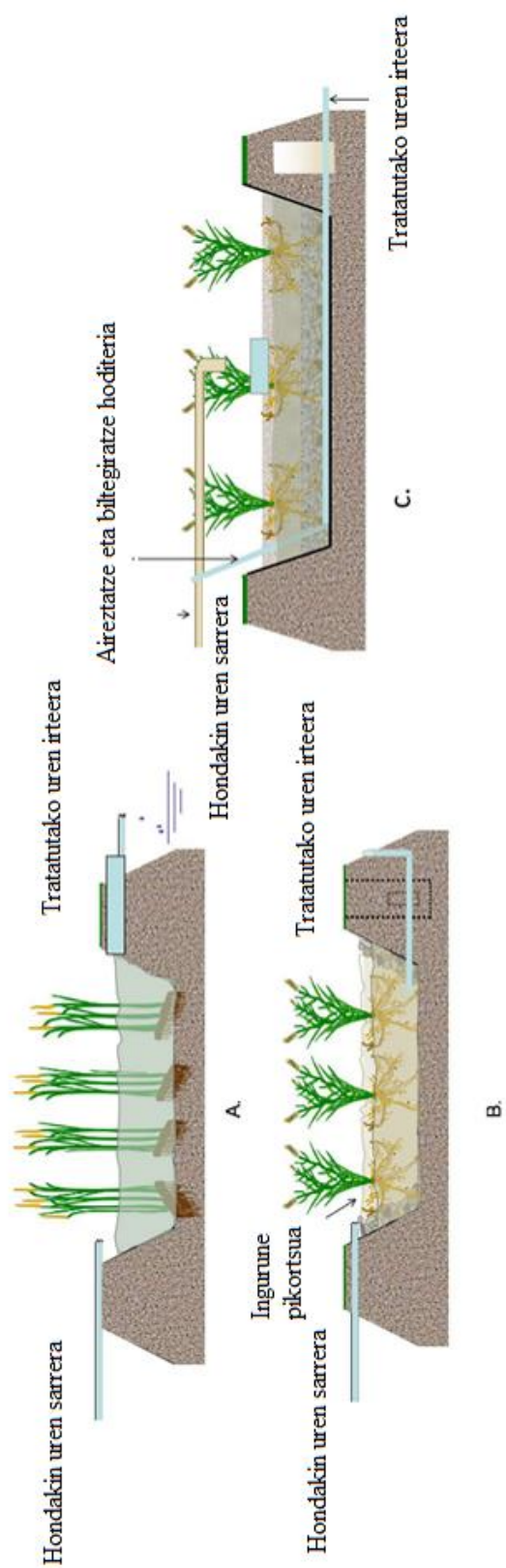
**2. Taula.** Etxeko ur grisen konposizio tipikoa (Moncada-Corrales, 2011).

Parametroa	Maximoa	Minimoa	Bataz bestekoa
DBO5 (mg/L)	27.4	11	18.11
DQO (mg/L)	140	30	62
Esekidurako solido totalak (mg/L)	38	0	6.2
Koipe eta olioak (mg/L)	88	14	36
Kjendahl nitrogenu totala (mg/L)	13	3.1	6.7
Amoniakotik eratorritako nitrogenoa (mg/L)	12.7	0.7	5.85
Nitrogenu organikoa (mg/L)	5.8	0	0.9
Fosforo totala (mg/L)	3.7	1.2	2.5
Gorotz koliformioa (NMP /100 mL)	4.60E+02	2.3E+01	1.14E+02
pH	7	6.6	6.8
Tenperatura (°C)	23	20	22
Disolbatutako oxigenoa (mg/L)	2.44	1.67	2.03

Mota askotako biojardinerak aurki daitezke, baina bi antolamendu nagusitan bereizi ohi dira. Alde batetik, fluxu bertikal zein horizontalezkoak daude, baina ohikoenak horizontal motakoak dira. Bestetik, uraren fluxuaren arabera gainezka edo gainazal azpiko motak bereiz daitezke. 6. Irudian daude horien adibide batzuk.



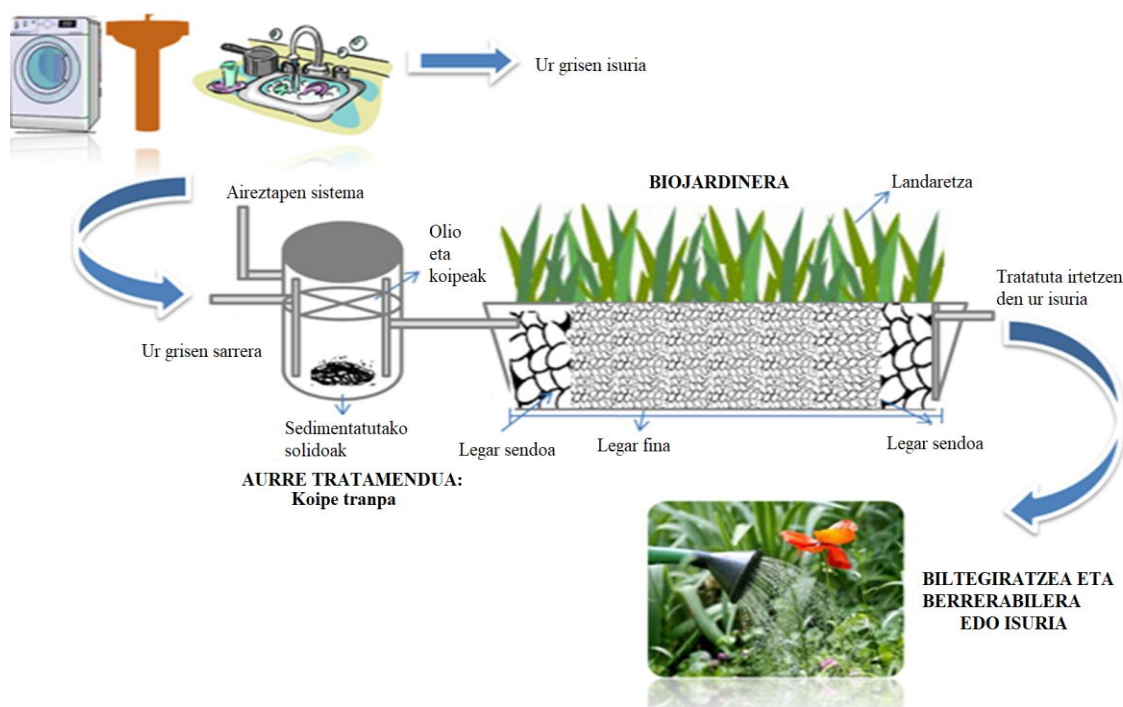
**5. Irudia.** Biojardineraren eskema sinplea.



**6. Irudia.** Biojardineren mota desberdinak. A) Gainezkako fluxu horizontalarekin, B) Gainazal azpiko eta fluxu horizontala eta C) Fluxu bertikalekoa.

Biojardinerara bidezko araztegi instalazioek orokorrean hiru atal nagusi bereiz daitezke. 7. Irudian ikus daitezke eskemarik ohikoena.

- 1) Aurre tratamendua: Etxebizitza edo industrietako, eta gehienbat sukaldean sortzen diren ur grisak, olio eta koipe kantitate adierazgarriak eraman ohi dituzte. Horiek tratatzen ez badira eta zuzenean biojardinerara elikatzen badira kalte garrantzitsuak sor dezakete funtzionamenduan. Are gehiago, biojardinerak blokeatu eta uraren fluxua zein arazketa eragotzi dezakete. Irtenbide ohikoena, sistemari aurre tratamendu bat gehitzea da. Aurre tratamendu horretan flotazio tanke baten bidez olio eta koipeak ezabatzen dira.
- 2) Biojardinerara: Araztegi sistema hauen bihotza da. Erreaktore biologiko bat izango litzateke. Bertan ematen dira materia organikoa eta beste nutrienteak desagertzeko erreakzioak. Euskarri pikortsu batzuez beteta egoten da. Honek, iragazki bat bezala lan egiten du. Gainera, bertan landareen sustraiak uztartzeaz gain mikroorganismoak ere hazten dira. Horrela, sartzen den urak daraman materia organikoa degradatzearekin batera landareek nutrienteak adsorbatuko dituzte, ur grisak araztuz.
- 3) Trataturako urak biltzeko tankea: Irteerako korrontea biltzen duen tankea bat da. Bertatik, berrerabilpenerako edo jarraian ibai zein erreketara isurtzeko bideratzen da ur araztua.



### 7. Irudia. Biojardinerara sistemaren eskema orokorra.

Irteten diren araztutako urak nekazaritza eta abeltzantzan erabiltzeko helburuarentzat egoera optimoan daude edota gainera, irteerako korrontea erreka, laku eta akuiferoetara isuri daitezke. Bestalde, eraikitzeko teknikoki oso errazak dira eta ekonomikoki ez dute inbertsio handiren beharrik. Horregatik, munduan gero eta gehiago dira horrelako teknologia erabiltzen duten komunitateak. Esaterako, 8. Irudian ikusten den Kataluniako Verdu herrian kokatzen den instalazioa.



**8. Irudia.** Eraikitako urmaeletan oinarritutako planta (Verdu, Katalunia).

### 1.2.1. Olio eta koipeak ezabatzeko metodoak

Urbanizazio eta industria hazkuntzak, XVIII. mendean emandako industria-iraultza abiapuntu izanda eta azken hamarkadetako areagotzearekin, hobekuntza ugari ekarri dituzte manufaktura prozesu eta bizi baldintzei. Hala ere, neurri gabeko ustiapen eta hondakinen kudeaketa desegoki baten ondorioz, ingurugiro arazo asko agertu dira. Arazo hauen artea, ur baliabideen kutsadura izan da larriena. Uretan eta hondakin uretan oso ohikoak diren kutsatzaileak dira koipe eta olioak.

Olio eta koipeak urarekiko afinitate txikia duten kutsatzaileak dira (Pintor eta kol., 2016). Azkenaldian, horien eliminazioa hondakin uretatik erronka bat bihurtu da eta finkatutako irteerako korrontearen kalitatea bermatzeko teknologia desberdinen erabilera konbinatua behar izaten da.<sup>3</sup> Taulan aurki daitezke olioak deuseztatzeko teknika eta metodo ohikoenak.

Araztegi puntakoenak koipe eta olioak eliminatzeko 3.taulan azaltzen diren teknika bat baino gehiagoz baliatzen dira, sistema konbinatu eta konplexu bat sortuz. Lortzen diren mekanismoak eraginkortasun handikoak izan arren, garapen bidean dauden herrialdeetan horrelakoak sustatzea ez dauka etorkizunik. Are gehiago, herrialde askok ez dute teknologia horiek, ez dute teknologia horiek martxan jartzeko gaitasunik eta ezta teknologia horiek etorkizunean bermatuko dituzten pertsonal kualifikaturik. Gainera, landa guneeetan, sistema hauek ez dira inola ere ez bideragarriak.

Grabitate bidezko bereizgailuak erabiltzea da ohikoena, hauek bait dira sinple eta merkeenak. Talde honetako bereizgailu mota asko daude (API, CPI ...), baina etxebizitza, bulego eta etxebizitzetan gehienetan koipe tranpa deitzen zaie sistema sinpleak erabiltzen dira. Beraz, horietan olio geruza pilatzen joaten da eta mantenu lanak egitea ezinbestekoa da. Gainera olio eta koipez osatutako hondakinak modu egokian tratatu behar dira, bestela ingurunearekiko kutsatzaile bihur daitezke. Koipe tranpen beste ezaugarri bat hauek sortzen dituzten usain txarrak litzateke.

**3. Taula.** Olio eta koipeak eliminatzeko erabilitako teknika ohikoen abantaila eta desabantaila (An eta kol., 2017).

Metodoa	Grabitate bidezko bereizketa	Hidrozikloiak	Sortzioa	Prezipitazio kimikoa	Flotazioa	Mintz bidezko filtrazioa	Oxidazio kimikoa	Biodegradazioa
<b>Abantailak</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseinu sinplea</li> <li>- Energia kontsumo txikia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Tratamendu ahalmen handia</li> <li>- Bolumen txikia</li> <li>Operazio eta instalazio erraza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operazio erraza eta sinplea</li> <li>- Eliminazio efizientzia ona</li> <li>- Prozesatze kostu txikiak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Olioaren deuseztatze eraginkortasun ona</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Gainezkatze tasa altuak</li> <li>- Operazio erraza eta sinplea</li> <li>- Prozesu sendo eta denbora luzez iraunkorra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Olio ezabatze eraginkortasun ona</li> <li>- Produktu kimikoren behar eza</li> <li>- Prozesuan lohi oliotsuak sortzen dira</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Olioaren deuseztatze eraginkortasun ona</li> <li>- Ezabapen azkarra</li> <li>- Operazio erraza</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operazio kostu baxuak</li> <li>- Teknologia garbia</li> </ul>
<b>Desabantailak</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Espazio handien beharra</li> <li>- Bereizketa abiadura motela</li> <li>- Olio tanta edo partikula tamaina oso txikientzat ez eraginkorra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Energia behar handia</li> <li>- Mantenu kostu altuak</li> <li>- Olio tanta txikientzat efizientzia txikia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Olio tanta txikientzat efizientzia txikia</li> <li>- Olio adsorbatzaile kostu altuak</li> <li>- Olio kontzentrazio altuetarako efizientzia txikia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Operazio konplexua</li> <li>- Beharrezko produktu kimikoen kostu altuak</li> <li>- Bigarren mailako kutsatzaile berrien ekoizpena</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bereizketarako erretentzio denbora luzeak</li> <li>- Zabor eta lohien produkzioa</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Aurre tratamendu beharra</li> <li>- Denborarekin mintzaren eraginkortasuna murriztu</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oxidatzaileen kostu altuak</li> <li>- Nahi ez den azpiproduktuen ekoizpena</li> <li>- Oxidatzaileek ekar dezaketen kalteak</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Erretentzio denbora altua</li> <li>- Temperatura eta pH-rekiko oso sentikorra</li> <li>- Kualifikazio dun tekniko baten beharra</li> </ul>

Horregatik, Santa Marta (El Salvador) kokatzen den ADES elkarteak bideragarria den sistema mixto bat garatu du nekazarien eta bertako bizilagunen urteetako esperientzien laguntzaz. Hauek, inguruan aurkitzen duten mikroorganismo bat edo talde baten bidez koipe tranparen lodiera erregulatzea lortu dute, horrela mantenu lana murriztuz. Gainera, elkarteko teknikoek mikroorganismoa hazteko protokoloa zein dosifikazioa ezarri dute, sistema mixto honen prozesu guztia garatuz. Prozesu mota honetako kudeaketa eta mantenua duten beste sistema batzuetan erreproduzitzea izango litzateke interesgarria.

### 1.2.2. Gehigarri biologikoak

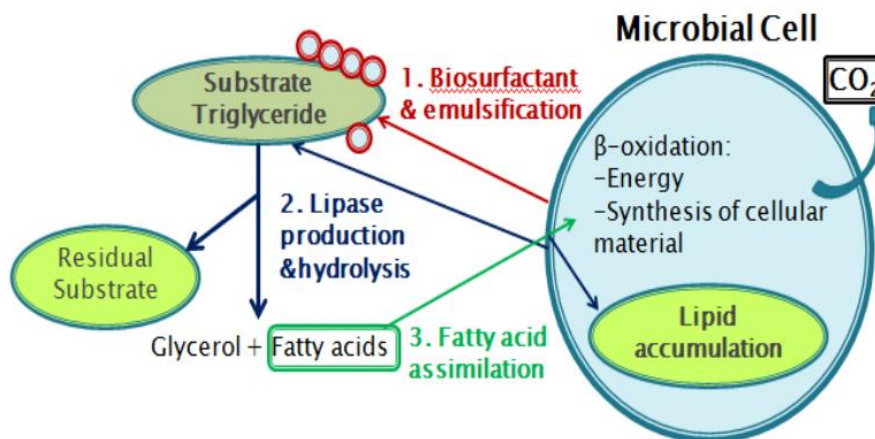
Azken hamarkadetan emandako gizartearen klima-aldaketaren kontzientziazioa prozesua dela eta, iraultza berdearen eskutik prozesu garbiago, seguruago eta fidagarriagoetara trantsizioa ematen ari da. Industria, gobernu eta bestelako erakundeak ikerkuntza lerro berriak martxan jarri, ekonomia zirkularra bultzatzea nahi izan da.

Prozesu horien artean industria prozesu kutsakorrek ordezkatu dezaketen prozesu biologikoak arrakasta izaten dabilta. Izan ere, sistema biologikoen bidezko prozesu gehienek ingurugiroarekiko onuragarriak dira.

Arlo horretan, hondakinen kudeaketari dagozkion sektoreek bere garrantzia dute. Gaur egungo ekonomia linealak eta kontsumo maila altuek hondakinen sorrera ikaragarri handitu dute. Hondakin horietatik, ur hondakinak aurkitzen dira. Ur kontsumo neurrigabeak eta kutsatzaile berriek herrialde garatuen arazo nagusia izan arren, beste herrialde askorentzat ur horniketa, ur edangarria izateko saneamendua eta ondorengo tratamendua arazo izaten jarraitzen du. Hondakinen tratamenduari dagokionez, aurreko atalean aipatu den bezala olio eta koipeak eliminatzea oso garrantzitsua da.

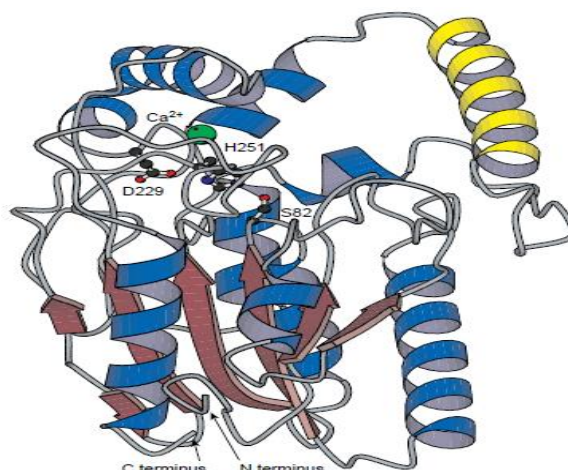
Koipe eta olioak funtsean, triazilglizerolak dira (Wakelin eta Forster, 1997). Hauek, kate zuzeneko gantz-azidoei ester loturaren bitartez glizerola lotuta duten molekulak dira. Gantz-azidoen konposaketa asko alda daiteke. Katearen luzera, saturatu edo saturatu gabea zein karbono atomo kopuruetan desberdinu daitezke.

Mikroorganismo bidez konposatu hauen ezabapena jada ikerlari askok aztertu dute (Jaeger eta Reetz, 1998; Kis eta kol., 2015; Wu eta Tsai, 2004). Mikroorganismo bidezko degradazioari dagokionez, triglizeridoei lehen eraso estra-zelularra da eta ester loturaren hidrolisia ematen da entzima batzuen bitartez, lipasak hain zuzen ere. Orduan, hidrolisi horretatik lortutako produktuak gai dira paretan zelularra pasatu eta zelulara sartzeko. Bertan, azido graso horiek  $\beta$  oxidazioari esker energia edo konposatu berriak ekoizteko lehengai bihurtzen dira (Tzirita, 2012).



### 9. Irudia. Trigliceridoen degradazio aerobikoaren printzipio orokorrak.

Lipasa deritzen entzimak lipidoen hidrolisia katalizatzen duten esterak dira, glizerola eta gantz-azidoak emanez. Entzima mota horiek, interfaseen bitartez aktibatzen dira gehienetan, esaterako mintz, likido-likido interfase edota substratua emulsio edo mizela moduan gehitzean (Saktaweewong eta kol., 2011). Hau da, entzima interfasean adsorbatzearekin batera aktibatzen da.



### 10. Irudia. X izpien bidez eratutako Pseudomona aeruginosa-ren lipasa baten egitura.

Koipe eta olioek kontzentrazio oso txikietan ez dira gai mizela edo emulsio motako formak sortzeko (Saktaweewong eta kol., 2011) eta horregatik lipasen aktibitatea horrelako egoeretan oso txikia da. Aldiz, kontzentrazioa handitzen doan heinean emulsioak eta mizela motako egiturak sortzen dira eta, interfase azalera handitzen denez, aktibitatea geroz eta handiagoa bilakatzen da.

Interfasean eragiten duten entzimen ikerketa oso konplexua da aktibitate entzimatikoa ematen den interfasearen natura dela eta. Baina baita ere interfaseko kontzentrazioak neurtzeko metodoen gabeziaren ondorioz. Bestalde, horrelako prozesuetan interfase motak ere garrantzia du.



Interfaseko entzimen zinetika deskribatzen duten ereduak substratuaren eta entzimaren kontzentrazioa horien interfaseko kontzentrazioekin erlazionatzen ditu adsortzio zinetika baten bidez. Eredu sinple baina onargarri bat proposatzeko, adsortzio prozesu guztiak orekan daudela suposatuko da. Suposaketa hau ez da beti baliagarria izango. Esaterako, entzimaren adsortzio etapa mugatzailea den kasuetan.

Aktibitate entzimatikoa deskribatzeko proposatzen den eredu interfase bidezko aktibazioa da (Tsai eta Chang, 1993) eta hurrengo eskema zinetikoa edukiko luke:



Lehen pausoa, entzima disolbagarria interfasean adsorbatzea da entzima aktibo bat,  $E^*$ , lortuz. Ereduaren ekuazioak lortzeko, adsortzio abiadura entzima askearen,  $E$ , kontzentrazioarekiko eta interfase espezifikokoaren azalerarekiko proportzionala da. Substratua,  $S$ , adsorbatutako entzimarekin batzen da interfasean substratu-entzima konplexua lortuz. Konplexu honek, interfasea produktua,  $P^*$ , eta entzima aktiboa ematen ditu. Desortzioaren bidez, produktua,  $P$ , lortuz.

Entzima substratu konplexuaren eta adsorbatutako entzimaren kontzentrazioak konstante kontsideratzen dira, hau da, egoera geldikorrean. Adsorbatutako produktuaren kontzentrazioa produktu librearen kontzentrazioarekiko proportzionala da. Bukatzeko, adsorbatutako produktuaren kontzentrazioa txikia dela kontsideratzen da eta beraz, interfaseko azaleraren betetzen duen frakzio arbuia garritzat har daiteke. Suposizio guzti hau kontuan hartuz eta proposatutako eredu izanda, hurrengo ekuazioak eta erreakzio abiadura defini daitezke:

$$k_p E^* a - (k_d + k_1 S) E^* + (k_{-1} + k_{cat}) E^* S = 0 \quad (5)$$

$$k_1 E^* S - (k_{-1} + k_{cat}) E^* S = 0 \quad (6)$$

$$a_t = a + A_m (E^* + E^* S) a_t \quad (7)$$

$$E_t = E + a_t (E^* + E^* S) \quad (8)$$

non,

$$P^* = CP/a_t \quad (9)$$

Produktuen agerpen abiadura,

$$v = \frac{dP}{dt} = \frac{a_t}{C} \frac{dP^*}{dt} = \frac{a_t}{C} k_{cat} E^* S \quad (10)$$

5-10 ekuazioak ebatziz, produktuen agerpen abiadurarentzat hurrengo ekuazio lortzen da:

$$v = \frac{\frac{k_{cat} a_t (G_1 + G_2) S}{C^* A_m}}{\frac{k_{cat} + k_{-1} + S}{k_1}} \quad (11)$$

non,

$$G_1 = \frac{\left(\frac{k_{cat} + k_{-1}}{k_1 a_t}\right) \left(\frac{k_d}{a_t} + a_t + A_m E_t\right) + \left(\frac{a_t + A_m E_t}{a_t}\right) S}{\left(\frac{k_{cat} + k_{-1}}{k_1}\right) + S} \quad (12)$$

$$G_2 = \left(G_1^2 - \frac{4 A_m E_t}{a_t}\right) \quad (13)$$

eta

$$C^* = 2C \quad (14)$$

11-14. Ekuazioak zuzenduak izan dira lipasa entzimen bidezko lipidoen hidrolisiarentzat (Al-Zuhair eta kol., 2003). Ekuazio hauek entzimen edozein kontzentrazioarako dira baliagarriak. Hala ere, hidrolisi erreakzioak entzima kontzentrazio txikiekin egiten dira (Tsai eta kol., 1993) eta horrek abiadura ekuazio sinplifikatu bat lortzeko erabilgarria da. Entzima kontzentrazio txikietan, esperimentalki frogatu denez (Al-Zuhair eta kol., 2004), interfasean betetzen duen azalera arbuigarritzat har daiteke azalera guztiarekin konparatuz gero. Kasu honetan, interfase libreko azalera,  $a$ , interfaseko azalera espezifiko totalaren,  $a_t$ , berdina izango da. 5-11 ekuazioetan  $a$   $a_t$ -z ordezkatzen bada, ekuazioak birordenatuz, abiadura ekuazio laburtu hau lortzen da:

$$v = \frac{\frac{k_{cat} E_t S}{C^*}}{\left(\frac{(k_{cat} + k_{-1})(k_d + k_p a_t^2)}{k_1 k_p a_t^2}\right) + S} \quad (15)$$

Aurreko ekuazioa gehiago labur daiteke, azken ekuazio hau lortuz:

$$v = \frac{k_{cat}^* E_t S}{K_e \left(\frac{k_d}{k_p a_t^2} + 1\right) + S} \quad (16)$$

non,

$$K_e = (k_{cat} + k_{-1})/k_1 \quad (17)$$

eta

$$k_{cat}^* = k_{cat}/C^* \quad (18)$$

## 2. HELBURUAK

Kooperazioan burututako Gradu Amaierako Lan honen helburu nagusia, biojardineraren eta osagarrien funtzionamendua ulertu eta aztertzeaz gain, ingeniariaren kimikoaren ikuspuntu zientifiko-teknologiko batetik sistemaren garapena burutzea izan da.

Horretarako, albo helburu hauek bete behar izan dira:

- ✓ El Salvador herrialdearen testuingurua aztertu eta ulertzea. Bertako ur hondakinen egoeren lehen mailako analisia bat burutzea.
- ✓ Santa Martan ADES elkarteak garatutako alternatiba ulertu eta funtzionamendua aztertu. Biojardineraren oinarri teorikoak aztertu.
- ✓ Koipe tranparen diseinua eta honen funtzionamendua deskribatzen duen eredu matematiko bat simulatu.
- ✓ Koipe tranpara gehitzen den produktuaren analisia egitea.

### 3. PROZEDURA ESPERIMENTALA

Atal honetan prozesu esperimentalean erabilitako material, erreaktibo eta ekipoak azalduko dira. Gainera, erabilitako inokuluaren prestaketa eta erabilitako metodologia esperimentalak deskribatzen da.

#### 3.1. MATERIAL, ERREAKTIBO ETA EKIPPOAK

Lan honetan erabili diren material, erreaktibo eta ekipoak edozein laborategietan aurki daitezkeen edota oso erraz eskuratu daitezkeen materialak dira. Alde batetik, hurrengo zerrendan laburbilduta aurkitzen dira erabilitako materialak: 250 eta 500 ml-ko erlenmeyerrak, 30 ml-ko bureta, 10 ml-ko pipeta eta tea gordetzeko erabiltzen diren poltsak.

Bestetik, erabilitako produktu eta erreaktiboek dagokionez: sodio hidroxidoa, fenolftaleina, ekilore-olioa, oliba-olioa eta ezta egongo lirateke.

Bukatzeko erabilitako ekipoari dagokionez, hurrengo bi ekipo erabili dira: irabiagailu magnetikoa eta balantza elektronikoa bat.

#### 3.2. KULTIBIOAREN KARAKTERIZAZIO MIKROBIOLOGIKOA

Kultibo-inguruneak, mikroorganismoak hazteko eta isolatzeko erabiltzen diren nutrienteez osatutako disoluzioak dira. Motei dagokionez, konposaketaren, erabileraren eta egoera fisikoaren arabera sailkatzen dira. Mikroorganismoak hazteko erabiltzen diren kultibo-inguruneak berauek desberdintzeko ere erabili ohi dira (Kis eta kol., 2015). Hau da, ingurune baten baldintza zehatzak finkatzen badira mikroorganismo talde bat edo batzuk gailenduko dira soilik. Bestalde, badaude kultibo mota batzuk orokorragoak mikroorganismoak hazteko. Kultiboak hazkuntzarako beharrezkoa diren nutrienteez eskuragarri izan behar ditu (Matsumiya eta kol., 2007). Lan honetan erabili diren kultibo-inguruneak 4. Taulan azaltzen dira.

**4. Taula.** Laborategian erabilitako kultibo-inguruneak eta horien konposaketa.

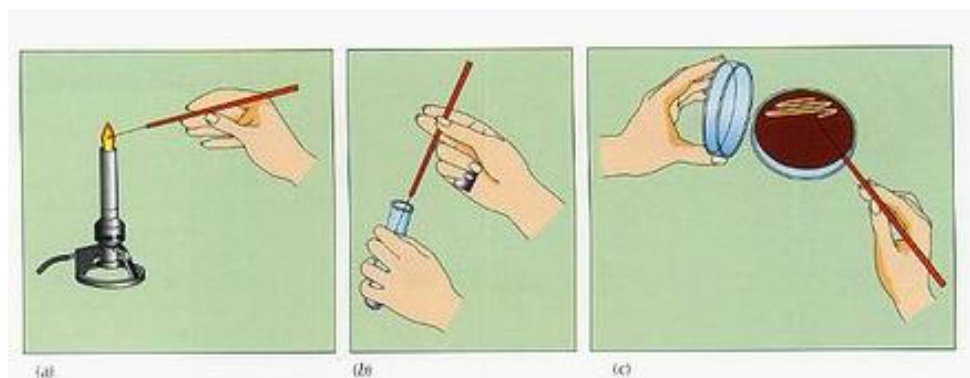
Kultibo ingurunea	Aga elikagarria		Agar dextrosa patata		Luria Broth (LB) media	
Osagaiak	Agar, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	15	Patata estraktua, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	4	Triptona, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	10
	Haragi estraktua, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	3	Dextrosa, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	20	Extracto de, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	5
	Gelatinazko peptona, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	5	Agar, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	15	Sodio cloruro, g L <sup>-1</sup> ur distilatu	10

Kultiboak prestatzeko erabili den metodologia sinplea da. 11. Irudian ikus daiteke erabili den eskema.



### 11. Irudia. Kultibo-ingurunea prestatzeko erabili den metodologiaren eskema.

Lehenik eta behin, El Salvadorretik ekarritako luraren laginak hartuko dira eta kultibo-ingurune desberdinetan hazi. Gero, lur horretatik aktibazio prozesuan ostean lortzen den likidotik laginak hartu dira eta kultibo-ingurune berdinetan hazi dira. Laginak hartzerako orduan, 12. Irudian ikus daitekeen metodologia erabili da. Garrantzitsua da, laginak hartzeko erabili den gailua esterilizatuta egotea. Ondoren, 30°C-tan labean utzi dira plakak. Pare bat egun pasatu ostean lortutako emaitzak ikusi dira.



### 12. Irudia. Laginak hartzeko erabili den metodologiaren eskema.

### 3.3. KULTIBATUTAKO LURRA

Lurzorua mikroorganismoetan oso aberatsa den ingurunea da. Bertan milaka mikroorganismo bizi dira, ekosistema baten baitan. Horietako askok funtzio zehatzak betetzen dituzte, material eta konposatu kimiko degradatzeko lana esaterako. ADES elkartekoek Santa Martan duten egoitzan lurzoruan aurki daitezkeen mikroorganismoak bakandu eta horietan oso aberatsa den inokulu bat prestatzeko gai izan dira. Horretarako, herritar eta nekazarien esperientziaz baliatu dira.

Lortutako produktua erabilera anitz ditu: nekazaritza organikorako, kutsatutako lurren berreskurapenerako... Erabilera horietatik uren tratamenduarekin lotuta aipagarriena, lortzen duten produktuak koipeak degradatzeko ahalmena da. Hori dela eta, koipe tranpara gehitzean, mikroorganismoek koipeek sortzen duten geruzaren lodiera konstante mantentzea lortu dute eta horrela egin beharreko mantenua murriztuz.

Elkartearen asmoa produktu hau komunitate ezberdinen esku uztea da, bertako herritarren bizi baldintzak hobetzeko asmoarekin. Horregatik, erabiltzen duten metodologia sinplea eta merkea da. Gainera, prozedura sinplifikatu dute jakintza teknikorik gabeko edozein pertsonak bere etxean egiteko bezala erraztuz.

Lehenik eta behin, lurzoru zehatz bat biltzen dute. Lurzoru hori, deskonposatzen ari den belar eta hostoekin lortzen da. Ondoren, lur horri solido bidezko hazkuntza deitzen dioten prozesu bat egiten zaio. Prozesu hori hurrengoan datza: melaza eta arroza bildutako lurrarekin nahasten da, solido homogeen bat izan arte. Orduan, bidoi batean sartzen dute eta bertan ondo estalia dagoela (oxigenoa transferentzia ekiditeko) hilabete batez mantentzen da. Hilabete baten ostean, fermentu bat lortzen da, mikroorganismoak hazi egin dira eta gehitutako produktuak kontsumitu dituzte beraiek hazteko. Azken hau izango litzateke kultibatutako lurra. 11. Irudian ikus daiteke horren argazki bat.

Kultibatutako lur hau lurzoru edo koipeen tranpan erabili ahal izateko, aktibatu beharra dago. Hau da, mikroorganismoen hazkundera eman behar da eta likidora pasa erabilera errazteko. Horretarako, kultibatutako lurra telazko poltsa baten jartzen dute. Melaza edo eztiari ura gehituz lortzen den disoluzioari telazko poltsa gehitzen zaio eta 4 egunez estalita. Lortzen den produktu likidoa jada prest dago eta aktibatuta.

El Salvadorretik kultibatutako lurra ekarri da eta lehen mailako ikerketa eta saiakuntza batzuk egin dira. Horretarako Santa Martan darabilen irizpide eta prozesua ahalik eta antzekoena erreproduzitzen saiatu da.

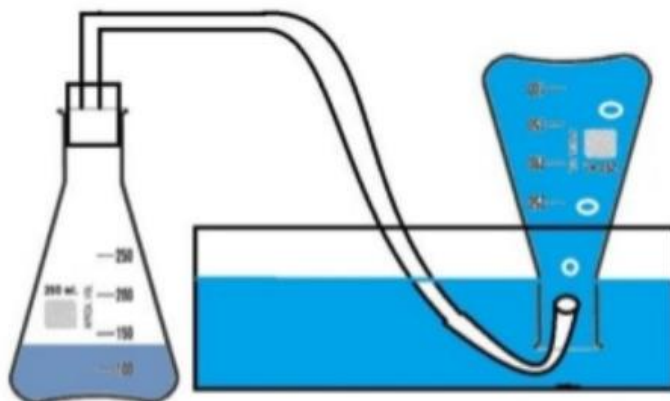
### 3.4. METODOLOGIA ESPERIMENTALA

Kultibatutako lurra izanda, horren aktibazio prozesua egitea nahitaezkoa da produktuaren aktibitate lipasikoa aztertzeke. Horregatik, Santa Martan egiten den prozedura laborategi eskalara bihurtu da. 5. Taulan ikus daiteke El Salvadorren erabiltzen diren eta laborategian erabiliko diren kantitateak. Laborategiko kantitateak bolumen ehunekotan proportzio berdina izan dezaten kalkulatu da.

#### 5. Taula. Kultibatutako lurra aktibatzeke beharrezko kantitateak El Salvadorren eta laborategian.

Materialak	El Salvadorren	Laborategian
Kultibatutako lurraren masa	10 libra	10 g
Substratua, ezti / melaza	Galoi bat	10 g
Ur bolumena	100L-ko bidoi bat	220 ml
Denbora	4 egun	

Hurrengo planteamendua egin da: erlenmeyer batean ura eta ezti disolbatu da. Ondoren, te poltsetan kultibatutako lurra sartu da eta gero, ondo itxita erlenmeyer-era gehitu da. Bukatzeko, 13. Irudian ikus daitekeen eskema montatu eta iluntasunean gorde da. Ur tranpari esker, anoxia egoera batean mantenduko da sistema eta iluntasunak eguzki izpiak sor dezaketan kalteak ekidin. Izan ere, prozesu honetan, oxigeno eta eguzki izpien presentzia prozesua kaltetu dezake.

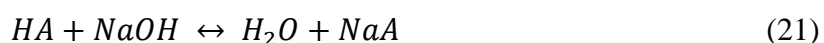
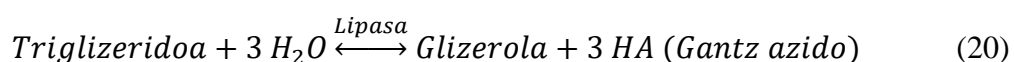


**13. Irudia.** Kultibatutako lurra aktibatzen den sistemaren eskema ur tranpa bat erabiliz.

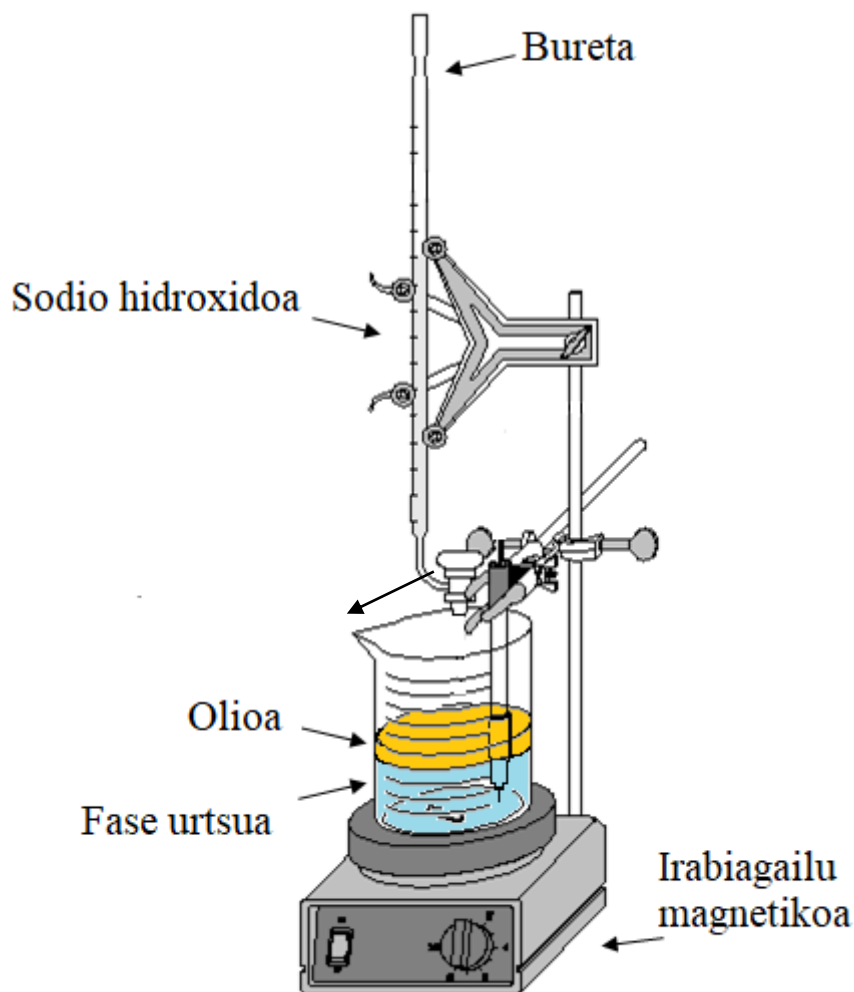
Aurreko prozedura jarraituz lortzen den produktuaren ahalmen degradatzailea aztertu nahi da. Are gehiago, produktu hauek, mikroorganismoak, koipe tranpan egiten duten funtzionamendua aztertzea nahi da. Horretarako, koipe tranpan gertatzen dena simulatzen saiatu da.

Mikroorganismoak ekoizten duten lipasak duten aktibitatea aztertzeko metodorik simple eta eraginkorrena azido base balorazioa da (Margarita Stoytcheva eta kol., 2012). Hidrolisi erreakzioan, triglizerido bakoitzeko 3 gantz azido molekula eta glizerol molekula bat eraten dira. Azido horien sorrerarekin disoluzioa azidotuz joango da. Azidotze hori, neur daiteke eta horrela produktuen sorrera kalkulatu. Gantz azidoa, azido monoprotikoa da eta beraz azido mol bakoitzeko sodio hidroxido mol bat erlazioa izango da.

20. eta 21. Ekuazioetan hidrolisi erreakzio orokorra eta neutralizazio erreakzioak ikus daitezke.



Funtsean, pH konstante mantentzeko denboran zehar gehitu den sodio hidroxidoa bolumenaren bitartez kalkulatu da azidoen bilakaera. pH indikatzaile bezala, fenolftaleina erabili da. Horrela, lehenik eta behin disoluzioa sodio hidroxidoaz doitu da, kolore arrosa izan arte. Denborarekin, azidoak sortzen doazen heinean, kolore arrosatik koloregea izatera pasako da disoluzioa eta sodio hidroxidoa gehituko da kolore arrosara bueltatuz. Gehitutako bolumena denbora desberdinetan gordeko da.



#### 14. Irudia. Laborategian egindako esperimentuaren eskema.

Saponifikazio indizeak (SAP), olio gramo bakoitzeko beharrezko sodio hidroxido gramo kantitatea erlazionatzen dituen indizea da. Indize honetan baliatu da, hidrolizatutako olio kantitatea kalkulatzeko. 22. Ekuazioa bitartez kalkulatu da:

$$X (l NaOH) \times C_{NaOH} \left( \frac{mol NaOH}{l} \right) \times PM_{NaOH} \left( \frac{g NaOH}{mol NaOH} \right) \times \frac{1}{SAP} \left( \frac{g olio}{g NaOH} \right) \times \frac{1}{\rho_{NaOH}} \left( \frac{cm^3}{g} \right) \quad (22)$$

Aldiz, gantz azidoen kontzentrazioa hurrengo ekuazioak kalkulatu da:

$$C_{HA} = X (l NaOH) \times C_{NaOH} \left( \frac{mol NaOH}{l NaOH} \right) \times \frac{1 mol HA}{1 mol NaOH} \times \frac{1}{V_{fase urtsua}} \left( \frac{l}{l} \right) \quad (23)$$

Aipatzekoa da, koipe tranpa baten simulazio erreal bat lortzeko interfasea eratu da, fase urtsuan produktu likidoa urarekin eta, fase organikoan, olioia. Fase urtsuan, homogeneizazio eman dadin irabiagailu magnetikoa erabili da, baina beti interfasea apurtzen ez duen abiadura batekin. Gainera, argi izpiak ekar dezaketen arazoak ekiditeko, aluminio-papela erabili da ontziak estaltzeko.



Saiakuntza guztiak izateko, prozedura bera egin da guztietan. Hau da, produktu likido aktiboaren bolumen bera, ur bolumen bera eta olio kantitate bera. 6. Taulan bilduta aurki daitezke saiakuntza bakoitzerako erabilitako kantitatea eta hasierako baldintzak.

**6. Taula.** Laborategian egindako saiakuntzetan erabilitako kantitateak.

Lehengo saiakuntza: Ekilore-olio eta oliba-olibaren arteko konparaketa	
Ur distilatua, ml	175
Eztia, g	2
Mikroorganismo disoluzioa, ml	10
Olio, ml	75
Irabiaketa abiadura	3
Bigarren saiakuntza: Irabiaketa abiaduraren eragina	
Ur distilatua, ml	100
Eztia, g	2
Mikroorganismo disoluzioa, ml	10
Olio, ml	60
Irabiaketa abiadura, rpm	0; 60; 100

Entsegu desberdinak burutu dira. Hasteko, ekilore-olio eta oliba-olioak aztertu dira. Bestalde, sisteman irabiaketa abiadurak duen eragina aztertu da. Horretarako, irabiaketarik gabe, 60 rpm-ko eta 100 rpm-ko irabiaketa abiaduraz egin dira saiakuntzak.

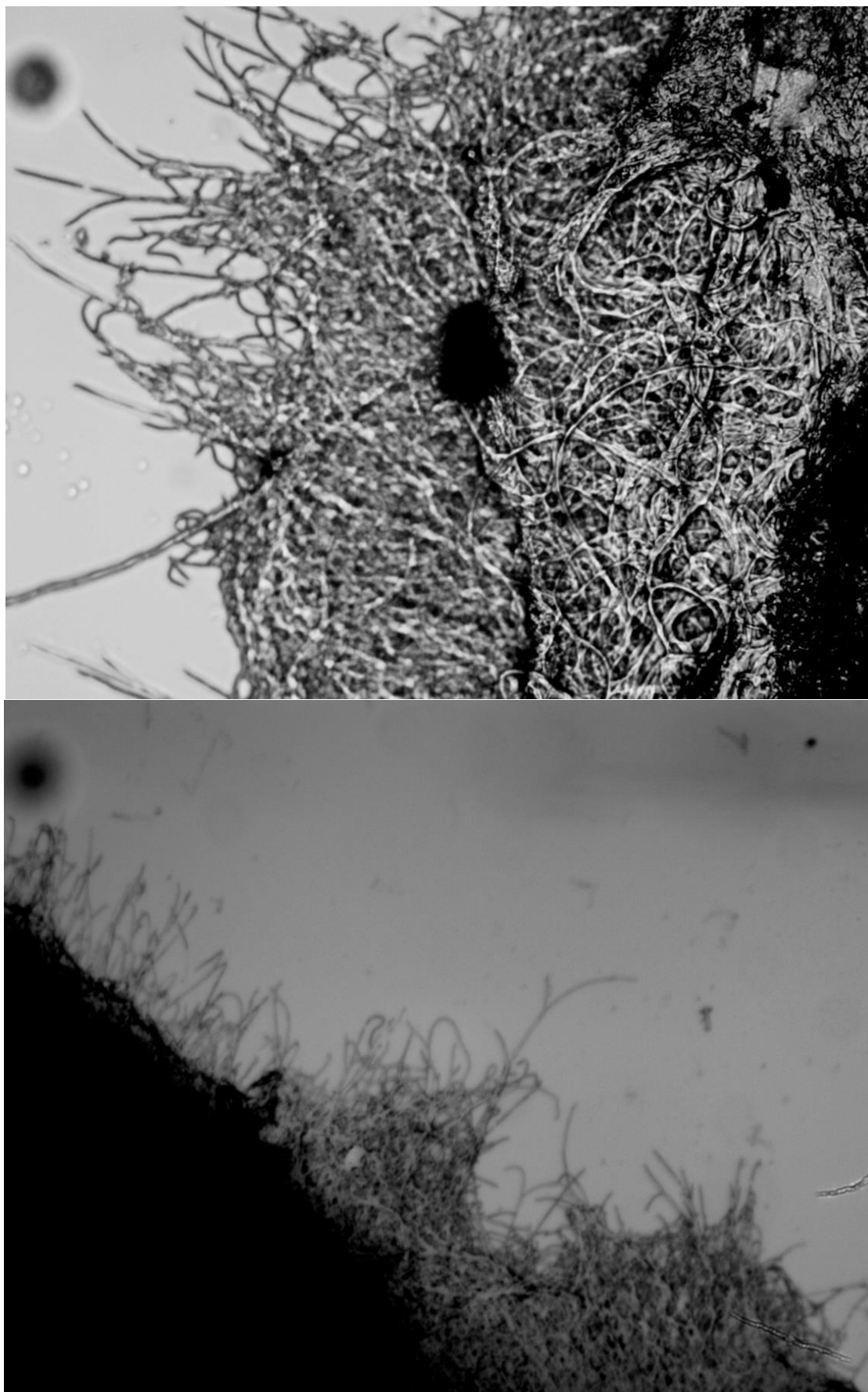
#### **4. MIKROORGANISMOEN HAZKUNDEA ETA AKTIBITATEAREN KARAKTERIZAZIOA**

Atal honetan, prozedura esperimentalean lortutako emaitzak azalduko dira. Bi ataza nagusi egon dira lan honetan. Alde batetik, ADES Santa Marta elkarteak erabiltzen duen produktu biologikoa Euskal Herriko Unibertsitateko laborategietan erreproduzitu eta bertan aurki daitezkeen mikroorganismo garrantzitsuenak identifikatzen saiatzea. Horretarako mikrobiologiako departamentuaren laguntza beharrezkoa izan da. Eta bestetik, koipe tranparen funtzionamendua hobeto ulertu eta hobekuntzak aztertzeko beharrezko saiakuntza sinple batzuk egin dira.

Lehenik eta behin, El Salvadorretik ekarritako lurra aztertu zen. Bertatik hartutako laginak plaka petri zehatz batzuetan hazi eta mikroorganismo hazkuntza oso txikia edo mikroorganismoen presentziarik ez zela egon ikusi zen. Ez da gai izan lagin horietatik zer motako mikroorganismoak dauden jakitea. Beraz, esan daiteke, lur kultibatu horretan printzipioz mikroorganismo kantitate txiki dagoela.

Ondoren, kultibatutako lurra aktibazio prozesu bat egin zaio. Prozesu hori prozedura esperimentalean azaltzen den bezala egin da. Santa Martan, melazaz aktibatzen dute lurra, aldiz, gurean, eziaz egin da. Lur aktibatuko prozesuan, zenbait nukleo agertu direla ikusi da. Mikroskopioan aztertu dira eta filamentuzko egitura batzuk ikusteko gai izan da, 15. Irudian ikusten den bezala.

Aktibazio prozesuaren ostean lortzen den likidoaren laginak hartu dira eta kultibo desberdinetan hazi. 16. Irudian ikus daitezke lortutako emaitzak. Plaka horietatik esan daiteke hazkuntza esanguratsuenaren izan dutena fungi erreinuko mikroorganismoak izan direla. Hare gehiago esan daiteke onddo mota horiek filamentuzko egitura duten onddoak direla.



**15. Irudia.** Mikroskopiotik ikusten diren filamentuzko egituren argazkiak.



**16. Irudia.** Aktibatutako likidotik hartutako laginen hazkuntza plaken argazkia.

Bestalde, koipe tranparen simulazioari dagokionez, ADES elkarteko produktuak oliba eta ekilore olioarekiko duten eragina aztertu nahi izan da. Horretarako, prozedura esperimentalean azaltzen den metodologia erabiliz 15. Irudian ikus daitezkeen emaitzak lortu dira.

17. Irudia aztertzen bada, esan daiteke, hidrolisi zinetik lerro zuzen batera ondo doitzen dela. Beraz, hidrolisi erreakzioa eragiten duen lipasa zinetika 0. Ordena du. Hau da, 16. Ekuazioa Michaelis-Menten itxura izatera labur daiteke eta beraz hurrengo ekuazioa lortu:

$$v = \frac{k_{cat} * E_t S}{K_M * + S} \quad (23)$$

$S \gg K_M^*$  den kasuetan,

$$v = \frac{k_{cat} * E_t S}{S} \quad (24)$$

Eta aurreko ekuazio sinplifikatzen bada,

$$v = k_{cat} * E_t \quad (25)$$

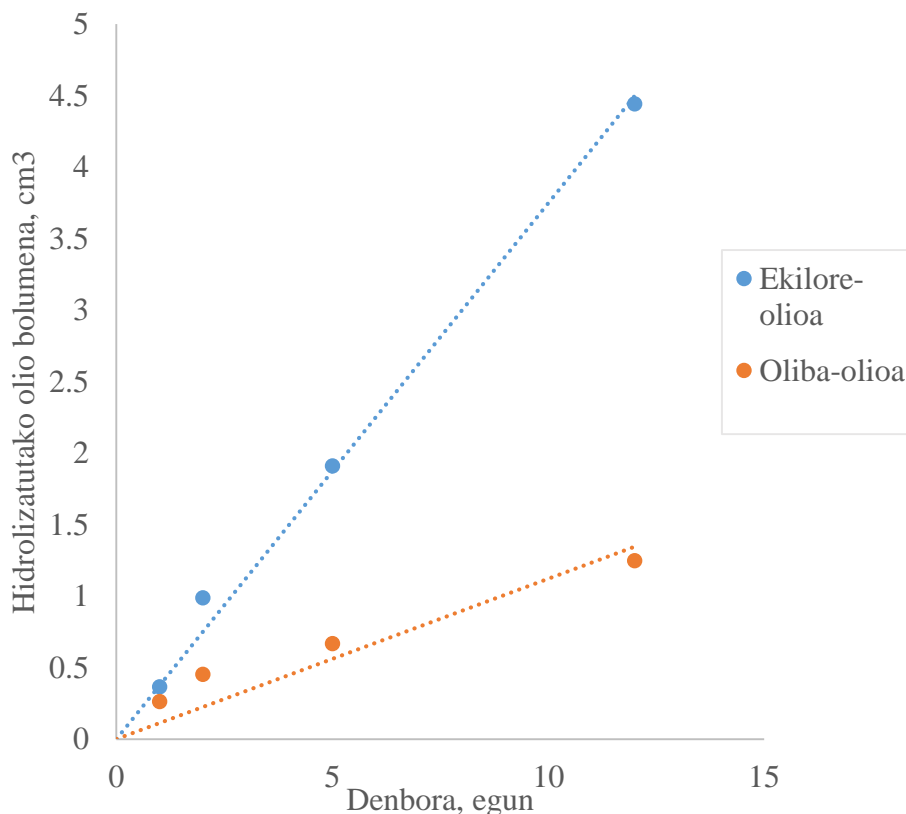
Ekuazio hori integratzen bada

$$P - P_0 = k_{cat} * E_t (t - t_0) \quad (26)$$

Hasierako baldintzak ezarriz, non  $P_0 = 0$  eta  $t_0 = 0$  diren, azken ekuazio hau lortzen da:

$$P = k_{cat} * E_t t \quad (27)$$

Azken ekuazio honek lortutako emaitzekin bat egiten du.

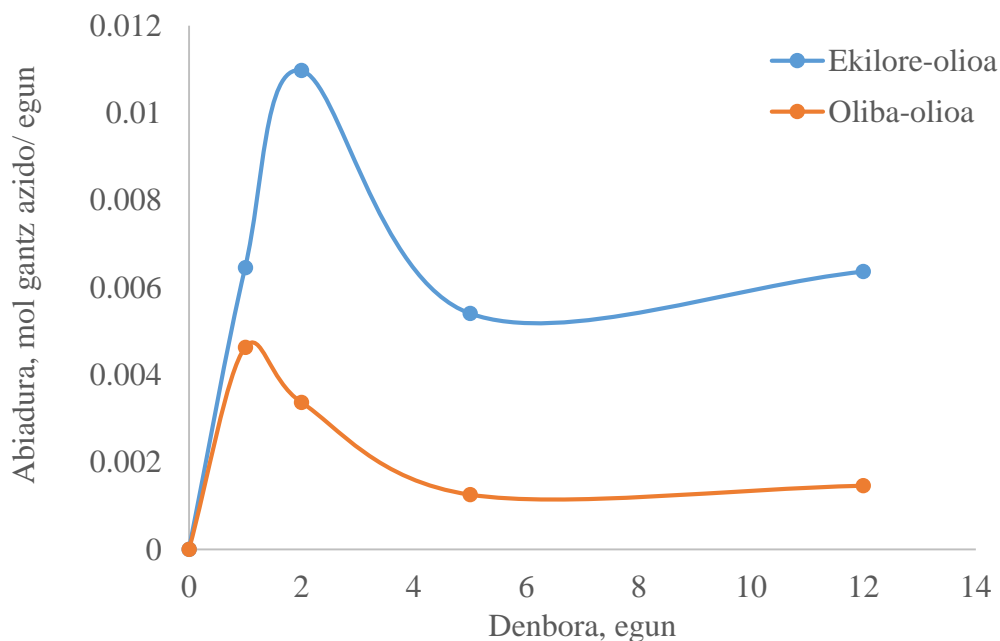


### 17. Irudia. Hidrolizatutako oliba eta ekilore olio bolumena denboran zehar.

Abiadura denborarekin aztertzen bada, 18. Irudian ikus daiteke hasiera baten gehikuntza adierazgarri bat duela eta ondoren egonkortu eta balio konstante baterantz finkatzen dela. Efektu honen arrazoiak sistemak eta mikroorganismoen arteko interakzioen ondorioz izan daiteke. Hasieran mikroorganismoak sistemara gehitzean egonkortu arteko denbora izan daiteke, atzerapen denbora bezala ezagutzen da. 7. Taulan aurki daitezke lortutako emaitzen balioak.

### 7. Taula. Lortutako balioak.

	Ekilore-olioa	Oliba-olioa
$k_{cat} * E_t, \text{cm}^3 \text{egun}^{-1}$	0.3747	0.1121
$t_{lag}, \text{egun}$	4	4

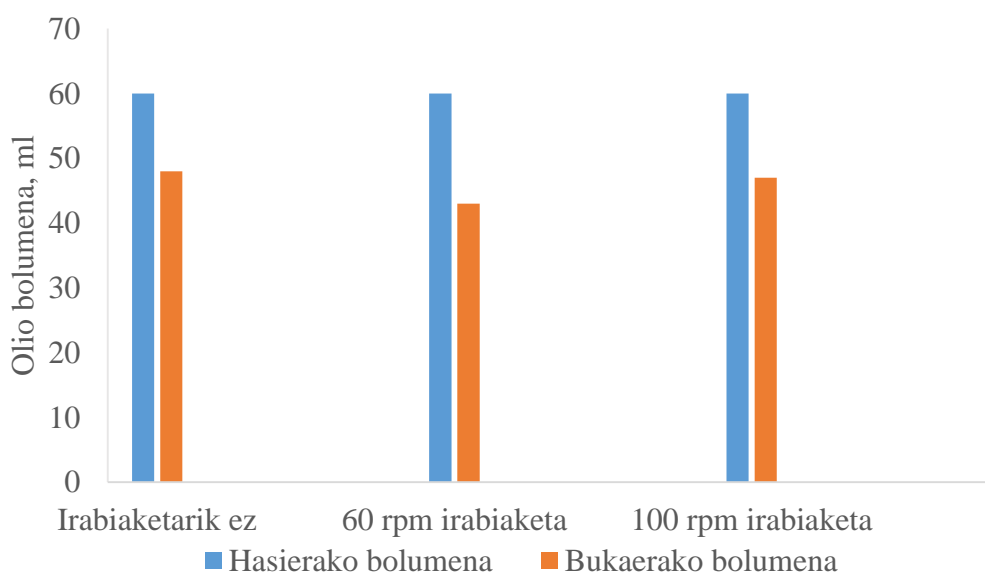


### 18. Irudia. Gantz azidoen agerpen abiadura denboran zehar

15. Irudia eta 6. Taulako emaitzak erakusten duten moduan produktuak eragin handiagoa du ekilore-olioarekin oliba-olioarekin baino.

Koipe tranparen funtzionamendua aztertzeko asmoz, irabiaketa abiaduraren eragina ikusi nahi izan da. Hiru abiaduratan egin dira probak: irabiaketa gabe, 60 rpm eta 100 rpm-tan. Abiadura handiagoean, olio-ur interfasea apurtzen da eta beraz, koipe tranparen funtzionamendua aztertzeko ez da interesgarria interfasea apurtzea.

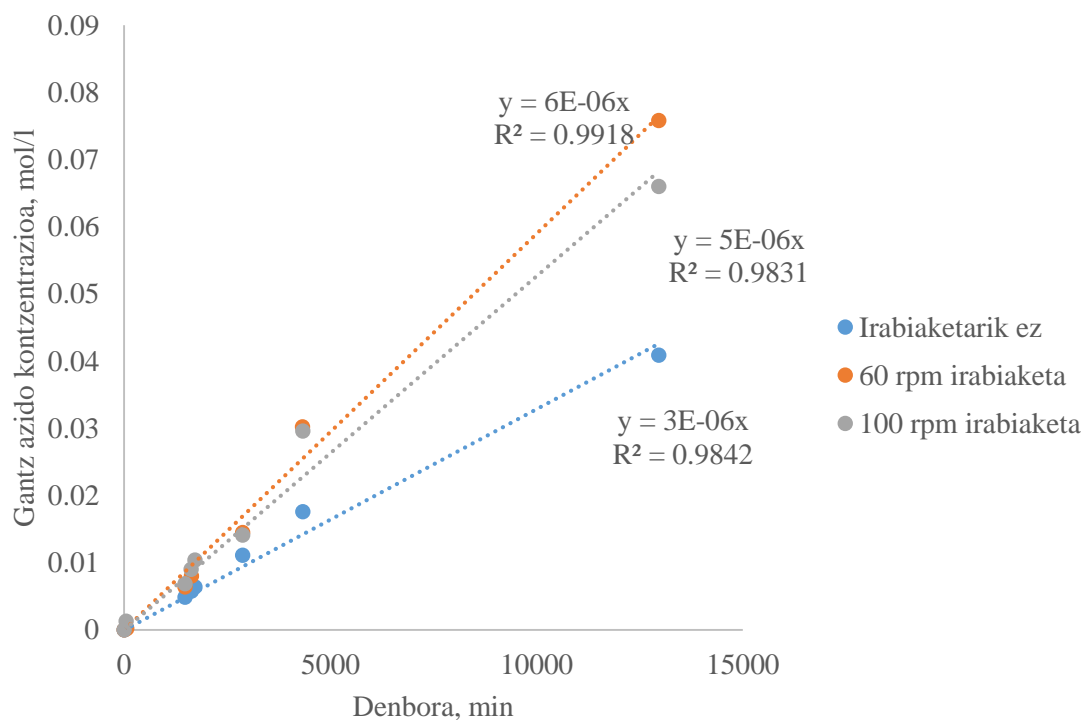
19. Irudian ikusten den bezala eragin nabarmenik ez da ikusi hasierako eta amaierako olio bolumenei dagokionez. 60 rpm-ko abiaduraz egon denak lortu du olio gehien hidrolizatzea, ondoren 100 rpm-koa eta azkena irabiaketa gabekoa 100 rpm-kotik oso hurbil.



19. Irudia. Olio bolumena hasieran eta bukaeran irabiaketa abiadura desberdinentzat.

20. Irudian ikus daiteke azido grasoen kontzentrazioa denboran zehar. Esan daiteke, irabiaketa abiaduraren eragina ikusita, interfasetik transferentzia ez dela etapa mugatzailea eta beraz, erreakzio biokimikoa dela mugatzailea. Honek, koipe tranparen funtzionamendua hobe ulertzeko laguntzen du eta hobekuntzak planteatzeko ordua.

Esaterako, erreakzio biokimikoa ematen den interfasea diseinurako parametro garrantzitsua dela ikusi da. Beraz, errektore honen eraginkortasuna hobetu nahi bada ahalik eta interfase azalera handien duten sistemak erabili beharko dira.



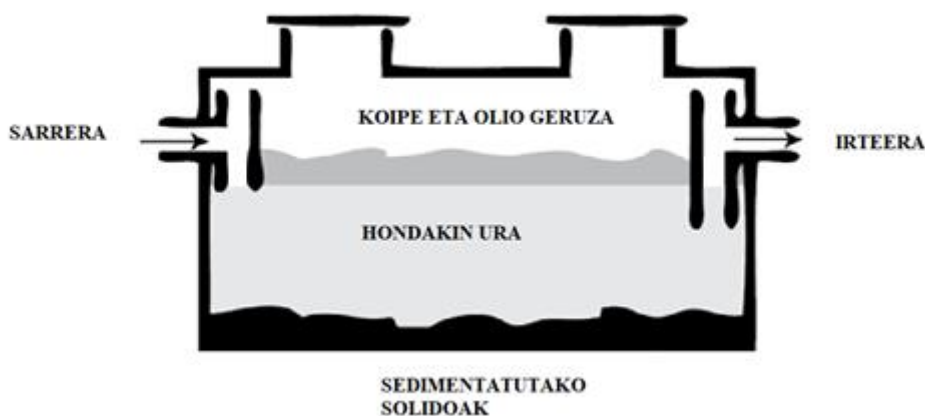
**20. Irudia.** Gantz azidoen bilakaera denboran zehar irabiaketa abiadura desberdinentzat.

## 5. KOIPE TRANPAREN MODELIZAZIO MATEMATIKOA

Koipe tranparen funtzionamendua simulatuko duen eredu bat inplementatu eta ekuazio diferentzial arruntak ebatziko duen algoritmo bat sortu da Scilab programan. Scilab, programazio lengoia zientifikoa darabilen simulazio tresna bat da. Gainera, kode irekian eta multiplataforma da.

Koipe tranparen simulazioarekin lortuko diren emaitzak ondoren analisi esperimental bidez frogatu beharko dira. Hala ere, lan honetan ez da izan horrenbesteko denbora ez materialik beraz, sortu den algoritmoaren oinarriak eta egindako hurbilketak funts teorikoak dute soilik.

21. Irudian ikus daiteke koipe tranpa baten fluxu diagrama sinplea. Sarrera korrontetik ura eta olioak gehitzen dira tranpara. Grabitate indarraren eraginez solidoak ondoratu egiten dira. Olio eta koipeak urarekiko duten dentsitate diferentzia eta urarekiko afinitate txikiaren eraginez koipe tranpan goialdean metatzen doaz, irteera korrontetik ur garbia lortuz.



### 21. Irudia. Koipe tranparen eskera orokorra.

Hasieran planteatu zen egoera hurrengoia izan zen. Aurreko atalean azaldu bezala, tranpara gehitzen den produktua lur kultibatua aktibatzekeko prozesuarekin lortzen zen. Produktu likidoa entzimaz osatuta egongo litzake eta beraz, produktu hau gehitzean soilik entzimak eragingo lukete koipeen deuseztatze prozesuan. Lipasak katalizatzaile gisa jokatuko lukete eta uraren irteera fluxuaren ondorioz sistematik irtengo lirarteke.

Sarrerako korrontek sortutako turbulenzia dela eta, koipe tranpa nahaste perfektuzko erreaktorea izango balitz suposatuta da. Hurbilketa honek zenbait kontsiderazio ez ditu hartzen, koipe tranparen berezko funtzionamendua esaterako, baina hasierako modelo bat planteatzerako orduan hurbilketa hau egitea beharrezkoa izan da.

Bestalde, sistemak egoera ez egonkorrean lan egiten du. Izan ere, sistemaren sarrerako fluxuak denboran zehar aldatzen doaz.

Materia balantzeak orokorrak planteatzeko, hurrengo formula orokorra erabili da: sartu ken irten gehi sortu ken desagertu berdin metatu. Hori horrela izanda, hurrengoak lirarteke koipea, hidrolisiaren produktu (gantz azido edo glizerola) eta entzimen materia balantze orokorrak, hurrenez hurren:



$$\frac{dS_{out}}{dt} V_r = Q(S_{in} - S_{out}) - V_r r_s \quad (28)$$

$$\frac{dAG_{out}}{dt} V_r = -QAG_{out} + V_r r_s \quad (29)$$

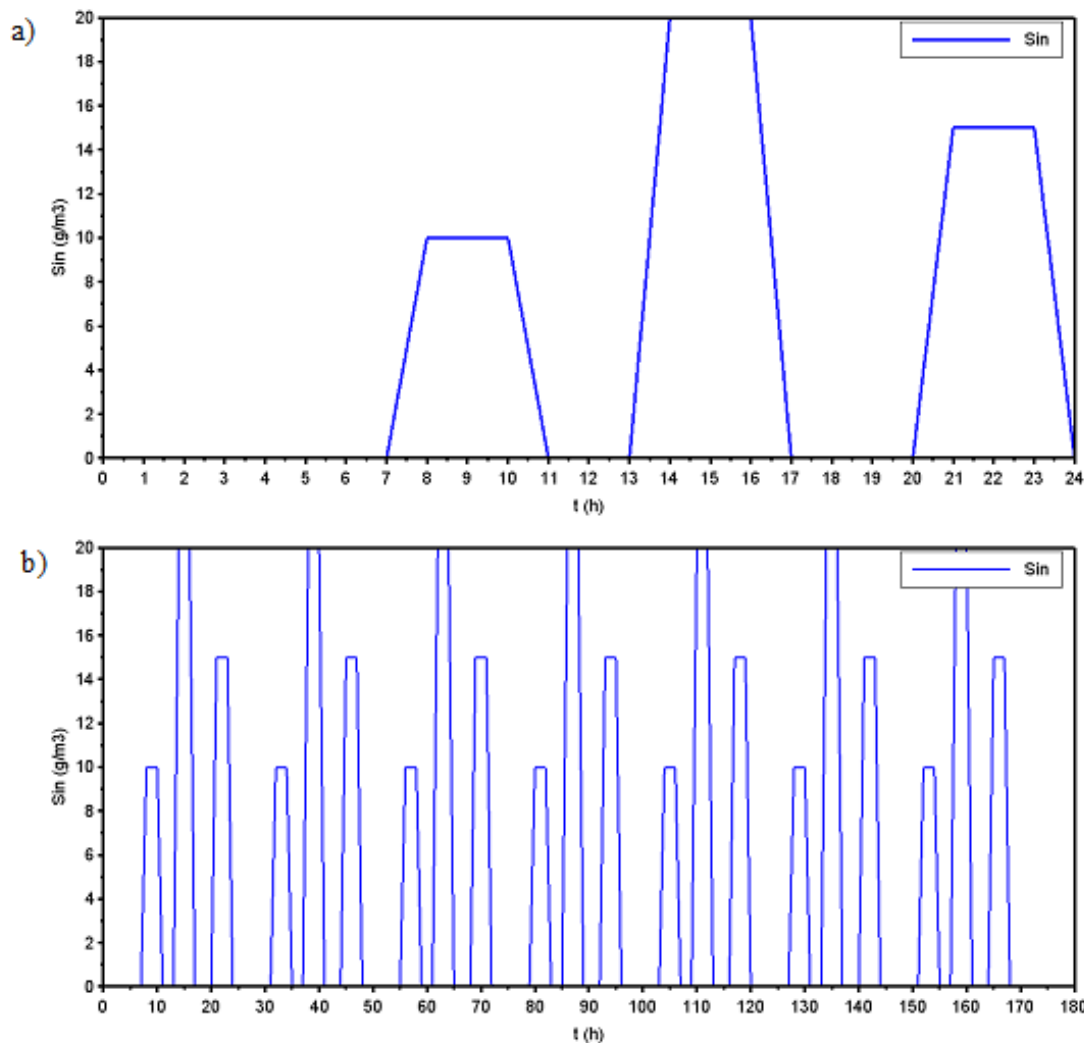
$$\frac{dE_{out}}{dt} V_r = Q(E_{in} - E_{out}) \quad (230)$$

Erreakzio abiadurari dagokionez, Michaelis-Menten formako ekuazioa planteatu da. Izan ere, lipasen aktibitatea deskribatzen duen eredu zinetikotik lortzen den erreakzio abiadura Michaelis-Menten itxurara birordenatu eta laburtu daiteke. Beraz, olio eta koipeen desagerpen abiadura hurrengo ekuazioak deskribatuko du:

$$r_s = \frac{k_{cat} E S}{K_s + S} \quad (31)$$

Laburbilduz, errektore entzimatiako baten modeloa egin da. 16. Irudian ikus daiteke modelatu den ereduaren fluxu diagrama. Ur grisekin olio eta koipeak gehitzen dira eta 15 egunean behin produktua gehitzen da, hau da, entzimak. Sarrerako fluxuak sortzen duen turbulenziei esker, olio eta koipe emultsioak lipasekin erreakzionatzen dute.

Sarrerako olio eta koipe kontzentrazioari,  $S_{in}$ -ri, dagokionez, egunean zehar ez du balio konstante bat. Esaterako, gosari, bazkari eta afaria prestatu eta garbitzeko momentuek garrantzi handia izaten dute olio eta koipeak hondakina sortzeari dagokionez. Izan ere jan otorduak dira koipe eta olio hondakinen sorrera handiena duten jarduerak (Pintor eta kol., 2016). Horregatik, errektorerara sartzen den olio eta koipe kontzentrazioak pulsu motakoak izatea erabaki da, hiru maximorekin, gosaria, bazkaria eta afaria hurrenez hurren. 22. Irudian ikus daiteke simulazioa.

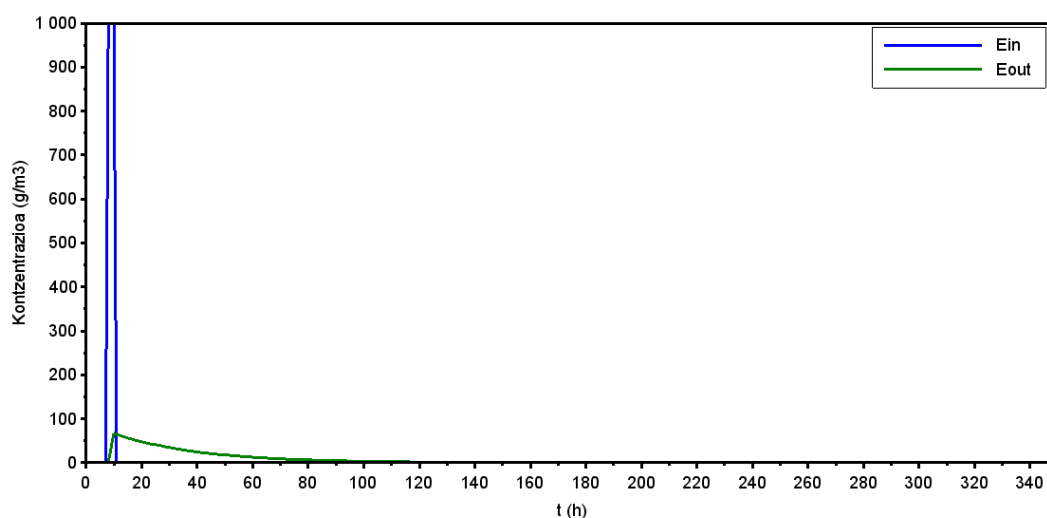


**22. Irudia.** Sarrerako olio eta koipeen kontzentrazioaren bilakaera denborarekiko: a) egun baterako b) astebeterako.

Otordu bakoitzari jarritako kontzentrazioak orientagarriak dira. Kantitate fidagarriagoak jakiteko ur mota hauen konposaketa ikerketa gehiago egin beharko da (Eriksson eta kol., 2002).

Gainera, entzimen sarrera ere ez da konstantea. Santa Martan adibidez, produktu likidoa hamabost egunean behin gehitzen dute. Modeloan entzimen sarrera ere horrela definitu da.

23. Irudia aztertzen bada ikus daiteke koipe tranpan dauden entzimak hirugarren egunerako desagertu direla, urak eramanda, eta beraz, sistema birkargatu beharko litzatekela. Horrek, sistemaren bideragarritasuna kaltetuko luke. Hiru egunean behin norbait arduratu beharko litzateke produktua isurtzeaz eta gainera produktu aktibo horren kantitate handiak behar lirateke.



**23. Irudia.** Entzimaren sarrera eta irteeraren kontzentrazioaren bilakaera denboran zehar.

Azterketa parametrikoko baten ostean eta ADES-ek duen Santa Martako bulegoetako informazioa kontrastatuta 8. Taulan laburbilduta aurkitzen diren balioak erabili dira modeloa simulatzeko.

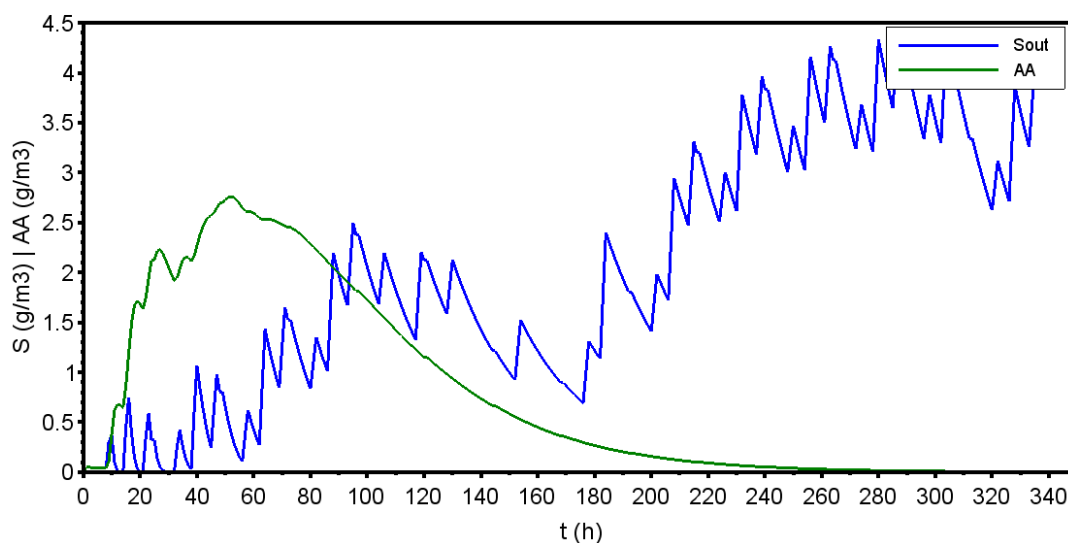
**8. Taula.** Modeloan erabilitako datuak.

Parametroa	Balioa
Emaria, m <sup>3</sup> /h	0.01
Koipe tranparen bolumena, m <sup>3</sup>	0.3
$k_{cat}$ , g Substratu/ (g Entzima h)	0.01
$K_S$ , g Substratu/m <sup>3</sup>	0.3

24. Irudian ikus daiteke lortzen diren emaitzak eraikitako modeloa exekutatzean. Emaitzak aztertzen badira, esan daiteke, hasiera batean entzimek koipeak eliminatzeko gai direla baina irteten den ur fluxuarekin entzimak galtzen doaz eta sistemak zuen eraginkortasuna murrizten doa.

ADES elkarteak duen koipe tranpa gehiago aztertzean ikusi da, funtzionamendu honek ez zuela zentzua. Izan ere, entzimak gehitzen badira soilik hiru eguneko kargatu beharko zen tranpa eta hori ez litzateke ez bideragarria ezta mantenua murrizteko irtenbidea.

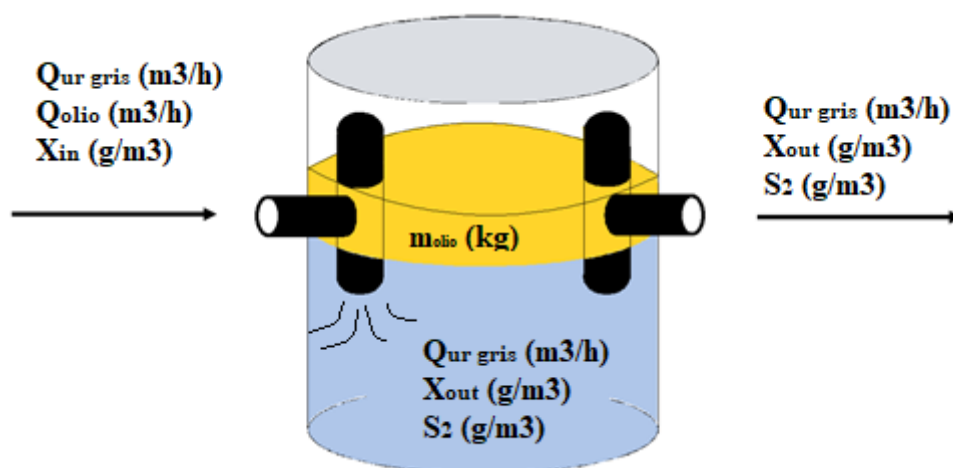
Laborategian aurrera eramandako saiakuntzek eta ADES elkarteko teknikoekin egon ostean, planteamendu berri batekin egin da topo. Horregatik, beste modelo bat planteatu zen. Kasu honetan, entzimak gehitzeaz baino mikroorganismoak gehituko lirateke sistemara. Hau da, lurzoru kultibatzearekin lurzoruan aurkitzen ziren mikroorganismo espezifiko batzuen hazkuntza ematen da. Mikroorganismo hauek, olio eta koipeak degradatzeko gai izango lirateke. Produktu likidoa gehitzean, mikroorganismoak olio eta ur interfasean txertatuko lirateke, olio geruzaren lodiera konstante mantenduz.



**24. Irudia.** Olio eta koipeen irteerako kontzentrazioaren eta gantz azidoen kontzentrazioaren bilakaera denboran zehar.

Beraz, mikroorganismoek iraitzen dituzten entzimak hidrolizatzen dituzte triglizeridoak. Entzimak triglizeridoak apurtzearekin, gantz azido eta glizerina sortzen dira, zeintzuk mikroorganismoek berauen hazkuntza zein beste funtzio batentzat erabil dezaketen. Molekula horiek triglizeridoak baino errazagoa dute pareta zelularra zeharkatzea.

Fase urtsua, biomasak (mikroorganismoak), ur grisak eta olioaren degradaziotik lortzen diren produktuek osatzen dute. Sarrerako fluxua dela eta, fase urtsua nahaste perfektuan dagoela suposatuko da. Bestalde, sistemako irteeratik oliorik ateratzen ez dela suposatuko da. 25. Irudiko ilustrazioak erakusten du definitu den sistemaren diagrama simple bat.



**25. Irudia.** Bio erreaktore bifasikoaren fluxu diagrama.

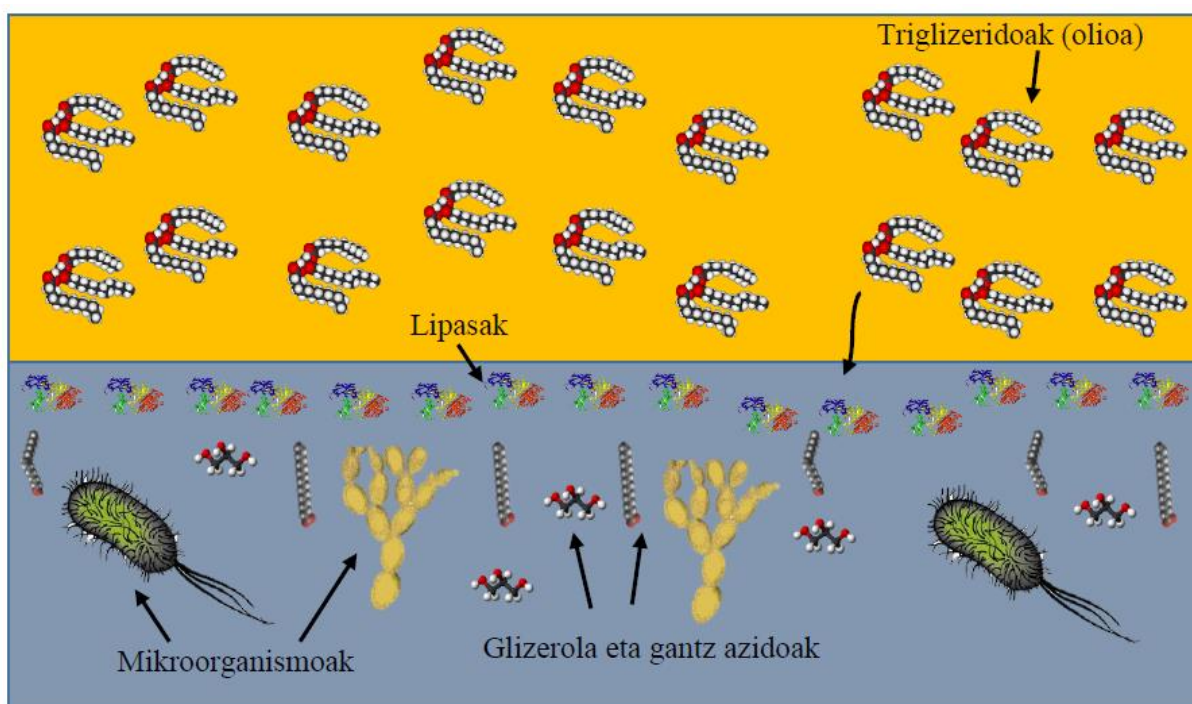
Lehen egin den bezala, materia balantze orokorrak planteatu dira.

$$\frac{dm_{olio}}{dt} = Q_{olio}\rho_{olio} - r_{S1} a \quad (32)$$

$$\frac{dX_{biomasa}}{dt} V_l = Q_{ura} X_{in} - k_{irt} Q_{ura} X_{biomasa} + X_{biomasa} \mu - k_d X_{biomasa} \quad (33)$$

$$\frac{dy}{dx} V_l = -Q_{ura} S_2 + r_{S2} a - Y_{xs} \frac{dX_{biomasa}}{dt} V_l \quad (34)$$

Triglizeridoak, mikroorganismoek ekoiztutako eta interfasean adsorbatuta aurkitzen diren lipasekin elkartzean, hidrolisi erreakzioa ematen da. Sortzen diren produktuak uretan disolbagarriak dira edo partzialki disolbagarriak dira. Orduan, mikroorganismoak gai dira molekula txikiago horiek berauen zeluletara sartu eta horiek elikagai bezala erabiltzeko. Molekula horiek mikroorganismoen hazkuntzan eragiten dute. 26. Irudian ikus daitezke interfasean gertatzen den eskema lagungarria.



**26. Irudia.** Koipe tranpako olio-ur gris interfasean gertatzen den interakzioen eskema.

Kasu honetan, Michaelis-Menten zinetika ere suposatu da baina interfasearekiko. Hau da, kontzentrazioak interfasean definituko dira. Hurrengo ekuazioak definituko du triglizeridoen hidrolisi erreakzio abiadura:

$$r_{S1} = \frac{k_1 C_{S1} C_E}{K_S + C_{S1}} \quad (35)$$

Mikroorganismoak Monod zinetika bat dutela suposatu da. Mikroorganismoen hazkuntza mugatu edo finkatzen duen substratua kasu honetan olioien hidrolisitik lortzen diren produktuak lirateke.

$$\mu = \mu_{max} \frac{C_{S2}}{K_M + C_{S2}} \quad (36)$$

Interfaseko kontzentrazioei dagokionez, olio eta koipe kontzentrazioa konstantea izango da. Bestetik, gantz azido eta glizerolaren kontzentrazioa triglizeridoen hidrolisiaren menpe egongo da eta hurrengo ekuaziotik kalkulatu daitezke:

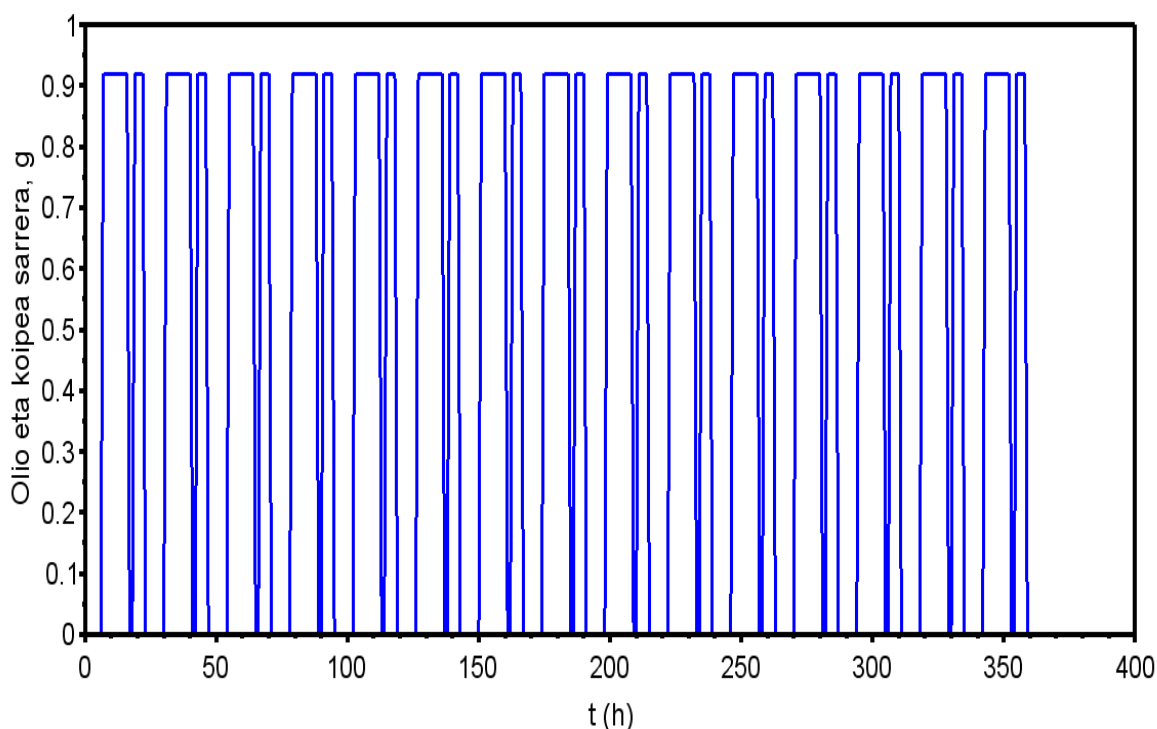
$$C_{S2} = \int_0^t r_{S1} dt = \int_0^t \frac{k_1 C_{S1} C_E}{K_S + C_{S1}} dt \quad (37)$$

Bestalde, entzimen kontzentrazioa interfasean biomasak entzimak ekoizteko gaitasunaren menpekoa izango da. Hurrengo ekuaziotik lortu daiteke:

$$C_E = \frac{k_{prop} X_{biomasa} V_L}{a} \quad (38)$$

Programazio arazoak direla eta sistemaren sentikortasuna, azken hiru termino hauek denboran zehar konstante finkatu dira.

Kasu honetan, olio eta koipe sarrera 27. Irudian ikusten den bezala definitu da.

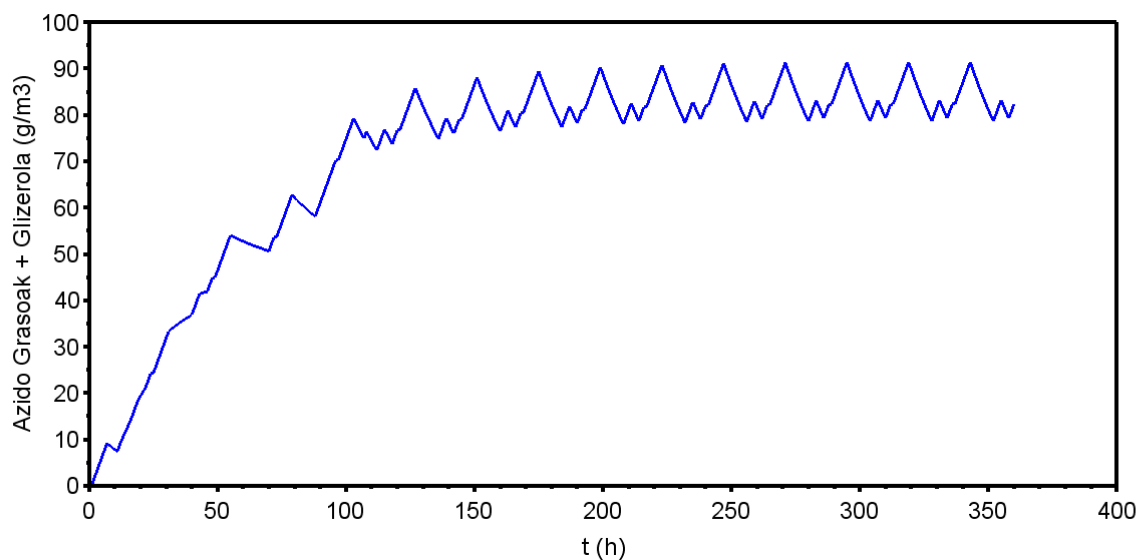


### 27. Irudia. Sarrerako olio eta koipe fluxuak

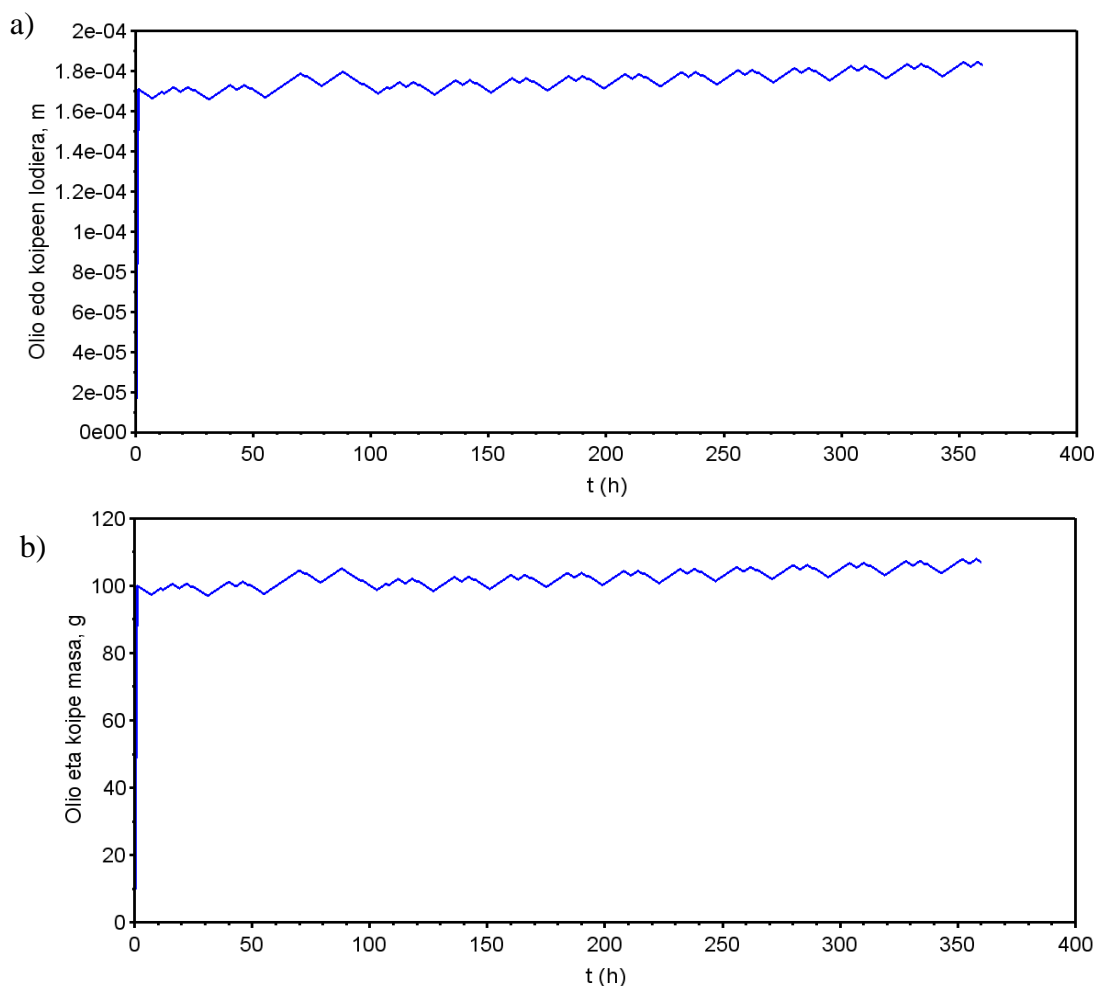
Behin materia balantze eta ekuazio guztiak planteatuta, Scilab programazio tresna erabiliz, algoritmo bat sortu da. Exekutatzean lortutako emaitzak, 28.-30. Irudietan ikus daitezke.

Azido grasoen bilakaera aztertzen bada, ikus daiteke olio sarrera fluxuak nola maximo batzuk eragiten dituen. Interfaseko kontzentrazioak konstante definitu direnez, biomasa txikitzen doan heinean hauen produkzioa ez da murrizten eta beraz, hau ereduaren arazo bat izango litzake.

Halabeharrez, koipe tranpako olio eta koipeen lodiera konstante mantentzen dela ikus daiteke. Honek ez dauka zentzu asko. Izan ere, denboran zehar biomasa desagertzen doan heinean entzimen ekoizpena ere murriztuz joango da. Hau da, biomasa desagertzearekin batera, hauek ekoizten duten lipasak murriztuko lirateke eta beraz olioak hidrolizatzeko gaitasuna murriztu. Hori dela eta, sistema birkargatu beharko zen.



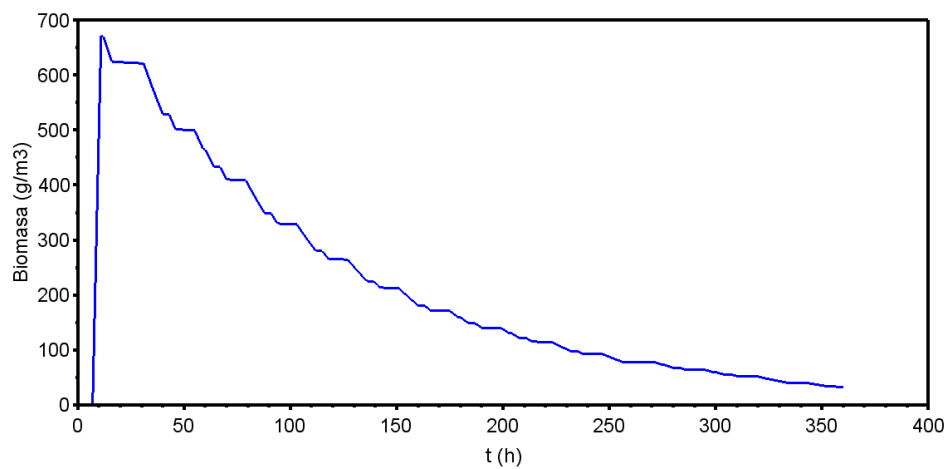
**28. Irudia.** Azido graso eta glizerolaren irteerako kontzentrazioaren bilakaera denboran zehar.



**29. Irudia.** Koipe tranpako olio eta koipe geruzaren a) zabalera eta b) masa.

Amaitzeko, biomasaren bilakaerari dagokionez, ikus daiteke nola biomasa poliki-poliki desagertzen doan. Honek bi arrazoi nagusi ditu. Alde batetik, mikroorganismoen heriotza

ematen da eta bestetik, ur fluxuarekin batera interfasean atxikitu ez den mikroorganismoak irteera fluxutik ateratzen dira.



### 30. Irudia. Biomasaren bilakaera denboran zehar.

Laburbilduz, eraiki den ereduak ondo simulatzen du ezarri diren ekuazioak. Hala ere, garrantzitsua izango litzateke interfaseko kontzentrazioak ondo definitzea sistema guztiz erreproduzitzeko eta biomasaren desagerpenaren sisteman eragina ikusteko.



## 6. ONDORIOAK

Laburbilduz, lan honek bi ataza nagusi izan ditu: alde batetik, koipe tranpa simulatzeko eratu den modelo matematikoa sortu, parametroak ondo definituta, eta bestetik, ADES elkarteak koipe tranpara gehitzen duten produktu biologikoaren azterketa. Hala ere, Gradu Amaierako Lan hau ikerketa lan bat haratago doa, herrialde baten egoera ulertu, arazoak identifikatu eta irtenbide bat topatzeko planteamendua duen proiektu baten zati batean datza lan hau.

Proiektua eragile askoren elkarlanaren ondorioz aurrera eramán ahal izan da. Euskal herritik Mugarik Gabeko Ingeniaritza eta Euskal Unibertsitatea egongo lirateke eta El Salvadorretik, Ekonomia eta Gizarte Garapenerako Elkarte (ADES) eta El Salvadorreko Unibertsitatea. Horiek guztiak beharrezkoak izan dira kolektibo batzuen beharrak ase eta etorkizunera begira erantzungo duen irtenbidea ezartzeko.

Lehenik eta behin, karakterizazio mikrobiologikoa egin da Euskal Herriko Unibertsitateko mikrobiologiako departamentuaren laguntzaz. Laborategian frogatu da erabiltzen duten produktuak baduela mikroorganismo komunitateak. Are gehiago, gailentzen den erreinua fungi erreinua dela. Horietatik, bi onddo mota desberdinu izan dira, biak filamentuzko egiturekin. Jakina denez, onddoak lipasak ekoizteko gaitasun handia duen taldea da eta gehienetan entzima extra zelularrak sortzen dituzte. Honek jorratu den hipotesia indartzen du.

Bestalde, koipe tranpa laborategian simulatzeko esperimentuetan frogatu da produktu biologikoak olioak degradatzeko ahalmena duela. Beste era batera esanda, formulatu den hipotesia ontzat jo daiteke. Hau da, koipe tranpan produktu biologikoa gehitzean mikroorganismoak olio-ur interfasean atxikitzen dira eta horiek ekoizten dituzten lipasak gai dira olio degradatzeko. Ondoren sortzen diren produktuak, azido graso eta glizerola, ur fasera pasatzen dira edota mikroorganismoek beren hazkuntzarako erabili, zelula barrenera eramanez.

Lortutako emaitzak, koipeen hidrolisi zero ordenako zinetika bat jarraitzen duela erakusten dute. Substratuaren kontzentrazioa Michaelis-Menten konstante aparentea baino handiagoa den kasuan 25. Ekuazioa lortzen da. Beraz, horrelako kasu bat izango da koipe tranpan dagoena.

Gainera, etapa mugatzailea erreazio biokimikoa bera izango litzatekela ikusi da eta horregatik eraginkortasuna handitzeko asmoz, interfaseko azalera handitzea proposatzen da. Esaterako, Santa Martán erabiltzen diren koipe tranpak zilindrikoak erabili beharrean, koipe tranpa laukizuzenak erabiltze zeintzuk ur-olio kontaktu azalera handiagoa duten.

Modeloari dagokionez, esan daiteke lortu den azken bertsioak koipe tranparen funtzionamendua modu egokian simulatzen duela. Gainera, lortutako emaitzak zentzua dute. Gainerakoan, modeloa badaude egin beharreko hobekuntza batzuk simulazio erreala lortzeko. Beraz, modelo onargarria lortu da baina oraindik badaude algoritmoari dagokionez hobetzeko alderdiak.

Bukatzeko, lan honek ikerketa lerro berriak zabaltzen ditu bai El Salvadorren baina baita Euskal Herrian. Bi unibertsitateetan lan egin denez, etorkizunean proiektu bera sakontzeko edota beste proiektu berriak aurrera eramateko lehen urratsak eman dira jada. Honek erraztasun handia emango du. Aurrerantzean elkarte guztien elkarlana mantentzea oso aberasgarria ikusten da partaide guztiontzat.

## 7. NOMENKLATURA

a	Interfaseko azalera libre espezifikoa, $m^2$
$A_t$	Interfaseko azalera espezifiko totala, $m^2$
$A_m$	Entzimaren azalera molarra, $m^2 mol^{-1}$
$AG_{out}$	Azido grazo eta glizero kontzentrazioa irteera korrontean, $g m^{-3}$
C	9. Ekuazioan definitzen den proportzionaltasun konstantea
$C^*$	14. Ekuazioan definitzen den proportzionaltasun konstantea
$C_{S1}$	Olio eta koipeen kontzentrazioa interfasean, $g m^{-2}$
$C_{S2}$	Gantz azido eta glizerol kontzentrazioa interfasean, $g m^{-2}$
$C_E$	Entzima kontzentrazioa interfasean, $g m^{-2}$
E	Entzima librea, $mol m^{-3}$
$E^*$	Adsorbatutako entzima $mol m^{-2}$
$E^*S$	Entzima substratu konplexua, $mol m^{-2}$
$E_t$	Entzima aktibo totala, $mol m^{-3}$
$E_{in}$	Sarrerako entzimen kontzentrazioa, $g m^{-3}$
$E_{out}$	Irteerako entzimen kontzentrazioa, $g m^{-3}$
$k_{cat}$	Katalizatzaile abiadura konstantea, $min^{-1}$
$k_d$	Desortzio abiadura konstantea, $min^{-1}$
$k_{irt}$	Biomasaren irteera ehunekoa, %
$k_p$	Adsortzio abiadura konstantea, $m^2 min^{-1}$
$k_{prop}$	Biomasak entzimen ekoizpen proportzioa, $g entzima g biomasa^{-1}$
$k_1$	Erreakzio konstantea, $min^{-1}$
$k_{-1}$	Alderantzizko erreakzio konstantea, $min^{-1}$
$K_e$	Oreka konstantea, $mol m^{-3}$
$K_M$	Michaelis-Menten konstantea, $mol m^{-3}$
$K_M'$	Michaelis-Menten konstante aparentea, $mol m^{-3}$
$m_{olio}$	Koipe tranpan metatzen den olio eta koipe masa, g

P	Produktu kontzentrazioa fase urtsuan, mol m <sup>-3</sup>
P*	Produktu kontzentrazioa interfasean, mol m <sup>-2</sup>
Q	Emaria, m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Q <sub>ur grisa</sub>	Ur gris emaria, m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Q <sub>olioa</sub>	Olio emaria, m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
S	Olio eta koipe kontzentrazioa, mol m <sup>-3</sup>
S <sub>in</sub>	Sarrerako olio eta koipe kontzentrazioa, g m <sup>-3</sup>
S <sub>out</sub>	Irteerako olio eta koipe kontzentrazioa, g m <sup>-3</sup>
V <sub>1</sub>	Fase urtsuaren bolumena, m <sup>-3</sup>
V <sub>r</sub>	Erreaktorearen bolumena, m <sup>-3</sup>
Y <sub>XS</sub>	Errendimendu tasa, g Substratu g biomasa <sup>-1</sup>
X <sub>in</sub>	Sarrerako biomasaren kontzentrazioa, g m <sup>-3</sup>
X <sub>biomasa</sub>	Koipe tranpako biomasaren kontzentrazioa, g m <sup>-3</sup>

### Letra Grekoak

μ	Biomasa hazkuntza (Monod), h <sup>-1</sup>
v	Erreakzio abiadura, mol m <sup>-3</sup> min <sup>-1</sup>
ρ <sub>i</sub>	i osagaiaren dentsitatea, kg m <sup>3</sup>

## 8. BIBLIOGRAFIA

- Acevedo, C., Deborah B., eta Herman R., 1995. El Salvador's Agricultural Sector: Macroeconomic Policy, Agrarian Change and the Environment. *World Development* 23 (12): 2153–72. [https://doi.org/10.1016/0305-750X\(95\)00104-K](https://doi.org/10.1016/0305-750X(95)00104-K).
- Al-Zuhair, Sulaiman, Masitah Hasan, eta K. B. Ramachandran, 2003. Kinetics of the enzymatic hydrolysis of palm oil by lipase. *Process Biochemistry* 38 (8): 1155–63. [https://doi.org/10.1016/S0032-9592\(02\)00279-0](https://doi.org/10.1016/S0032-9592(02)00279-0).
- Al-Zuhair, Sulaiman, Kadathur B. Ramachandran, eta Masitah Hasan, 2004. Investigation of the Specific Interfacial Area of a Palm Oil–Water System. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 79 (7): 706–10. <https://doi.org/10.1002/jctb.1039>.
- An, Chunjiang, Gordon Huang, Yao Yao, eta Shan Zhao, 2017. Emerging Usage of Electrocoagulation Technology for Oil Removal from Wastewater: A Review. *Science of The Total Environment* 579: 537–56. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.11.062>.
- AQUASTAT, 2015. AQUASTAT - Sistema de Informacion sobre el Uso del Agua en la Agricultura de la FAO. [http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries\\_regions/SLV/indexesp.stm](http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/SLV/indexesp.stm). 2018/05/12 bisitatua.
- Eriksson, E., Auffarth, K., Henze M., eta Ledin A., 2002. Characteristics of Grey Wastewater. *Urban Water* 4 (1): 85–104. [https://doi.org/10.1016/S1462-0758\(01\)00064-4](https://doi.org/10.1016/S1462-0758(01)00064-4).
- Fangyue, L., Wichmann, K. eta Otterpohl, R., 2009. «Review of the Technological Approaches for Grey Water Treatment and Reuses». *Science of The Total Environment* 407 (11): 3439–49. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2009.02.004>.
- Friedler, E., eta Hadari M., 2006. Economic Feasibility of On-Site Greywater Reuse in Multi-Storey Buildings. *Desalination* 190 (1–3): 221–34. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2005.10.007>.
- Friedler, E., Kovalio, R, eta Galil, N. I., 2005. On-Site Greywater Treatment and Reuse in Multi-Storey Buildings. *Water Science and Technology: A Journal of the International Association on Water Pollution Research* 51 (10): 187–94.
- Jaeger, K.E., eta T Reetz, M., 1998. Microbial lipases form versatile tools for biotechnology. *Trends in Biotechnology* 16 (9): 396–403. [https://doi.org/10.1016/S0167-7799\(98\)01195-0](https://doi.org/10.1016/S0167-7799(98)01195-0).
- Kis, Á., Krisztián, L., Zsíros, S., Rákhely, G. eta Perei, K., 2015. Biodegradation of Animal Fats and Vegetable Oils by *Rhodococcus Erythropolis* PR4. *International Biodeterioration & Biodegradation* 105: 114–19. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.08.015>.
- Matsumiya, Yoshiki, Daisuke Wakita, Akishige Kimura, Sirilak Sanpa, eta Motoki Kubo. 2007. Isolation and Characterization of a Lipid-Degrading Bacterium and Its Application to Lipid-Containing Wastewater Treatment. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 103 (4): 325–30. <https://doi.org/10.1263/jbb.103.325>.

- MINEC, Ekonomia eta Enpresen Ministerioa, 2012. Encuesta de hogares de propósitos múltiples - dirección general de estadística y censos. <http://www.digestyc.gob.sv/index.php/temas/des/ehpm.html>. 2018/05/19 bisitatua.
- Moncada-Corrales, S., 2011. Evaluación del diseño de una biojardinera de flujo subsuperficial para el tratamiento de aguas grises en Zapote, San José. <http://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/2874>. 2018/06/04 bisitatua.
- Nazio Batuak, 2015. Ura. <http://www.un.org/en/sections/issues-depth/water/index.html>. 2018/05/10 bisitatua
- Pintor, Ariana, M.A., Vitor, J.P., Vilar, Cidália, M.S. Botelho, eta Rui A.R. Boaventura, 2016. Oil and Grease Removal from Wastewaters: Sorption Treatment as an Alternative to State-of-the-Art Technologies. A Critical Review. *Chemical Engineering Journal* 297: 229–55. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2016.03.121>.
- Saktaweewong, S., Phinyocheep, P., Ulmer, C., Marie, E., Durand, A. eta Inprakhon. P., 2011. Lipase activity in biphasic media: Why interfacial area is a significant parameter? *Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic* 70 (1): 8–16. <https://doi.org/10.1016/j.molcatb.2011.01.013>.
- Salazar, Yesena Guadalupe Avalos, 2012. Balance a diez años de entrada en vigencia del tratado de libre comercio entre el salvador y México. *Trabajo de investigación*, urtarrilak, 69.
- Stoytcheva, M., Montero, G., Zlatev, R., León, J.A. eta Gochev, V., 2012. Analytical Methods for Lipases Activity Determination: A Review. *Current Analytical Chemistry*.
- Tsai, Shau-Wei, eta Chun-Sheng Chang. 1993. Kinetics of Lipase-Catalyzed Hydrolysis of Lipids in Biphasic Organic—Aqueous Systems. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology* 57 (2): 147–54. <https://doi.org/10.1002/jctb.280570209>.
- Tsai, Shau-Wei, Guang-Huei Wu, eta Chen-Li Chiang, 1993. Kinetics of Enzymatic Hydrolysis of Olive Oil in Biphasic Organic-Aqueous Systems. *Biotechnology and Bioengineering* 38 (7): 761–66. <https://doi.org/10.1002/bit.260380710>.
- Tzirita, M., 2012. A Characterisation of Bioaugmentation Products for the Treatment of Waste Fats, Oils and Grease (FOG). Doktoretza tesia, Dublin City University. School of Biotechnology. <http://doras.dcu.ie/17503/>.
- Wakelin, N.G., eta Forster, C.F., 1997. An Investigation into Microbial Removal of Fats, Oils and Greases. *Bioresource Technology* 59 (1): 37–43. [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(96\)00134-4](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(96)00134-4).
- Wu, Ho-Shing, eta Ming-Ju Tsai, 2004. Kinetics of Tributyrin Hydrolysis by Lipase. *Enzyme and Microbial Technology* 35 (6–7): 488–93. <https://doi.org/10.1016/j.enzmictec.2004.08.002>.