

PROIEKTUA

ERREKETAREN BIDEZKO BASO
HONDAKINAREN BALIOZTAPEN
AURRETIAZKO IKERKETA

1. Inprimakia- **TXOSTENA**

Ikaslea: *Pablos Castro, Aitor*

Data: *2012ko uztaila*

Sinadura:

AURKIBIDEA

1. SARRERA	1
1.1. BIOMASA MOTAK	3
1.1.1. Erabilitako biomasak	4
1.2. KONBERTSIO PROZESUAK.....	7
1.2.1. Prozesu termokimikoak	7
1.2.2. Prozesu biokimikoak	9
1.3. PRODUKTUAK	13
1.3.1. Produktu energetikoak	13
1.3.2. Bioproduktuak	13
1.4. BIOMASAREN ERABILERAREN EKARPENAK	17
1.5. ALTERNATIBA BERRIAK.....	19
1.5.1. Biomasa eta eguzki-energiaren arteko konbinazioa	19
1.5.2. Errautsen erabilpenerako aukera berriak	21
2. HELBURUAK.....	23
3. ESPERIMENTALA.....	25
3.1. BIOMASEN KARAKTERIZAZIOA	25
3.1.1. Ezaugarri fisikoak	25
3.1.2. Ezaugarri kimikoak.....	25
3.1.3. Ezaugarri energetikoak	27
4. DATUEN DOIKETARAKO KORRELAZIOAK	29
4.1. DATU ESPERIMENTALAK.....	29

4.2. KORRELAZIOEN DOIKETARAKO PROGRAMA.....	32
4.3. DATUEN DOIKETAREN EMAITZAK	38
4.3.1. Doiketa analizaturiko 4 biomasekin	38
4.3.2. Doiketa bibliografiatik ateratako biomasa ezberdinekin....	42
5. OPERAZIO MAPAREN LORPENA	50
5.1. BERO BALANTZEA.....	50
5.2. OPERAZIO MAPA EBAZTEKO PROGRAMA	55
5.3. OPERAZIO MAPAREN PROGRAMAREN EMAITZAK	60
6. ONDORIOAK	67
7. NOMENKLATURA	70
8. BIBLIOGRAFIA.....	73
9. ERANSKINAK.....	77
9.1. KORRELAZIOEN DOIKETARAKO PROGRAMA.....	77
9.2. OPERAZIO MAPA EBAZTEKO PROGRAMA	83

1. SARRERA

1. SARRERA

Biomasa horniketa energetikoaren oinarria izan zen antzina eta herri azpigaratuetan oraindik ere oso garrantzitsua izaten jarraitzen du. Biomasa bizitzaren jatorriarekin lotu izaten da baina, gizakiaren historia osoan zehar eskuragarri izan den energia iturri hau, etorkizuneko baliabide nagusienetarikoa izatera deiturik dago. Izan ere, biomasaren inguruko inbestigazioa areagotzen dago gaur egun, bere garapena bere erabilpenerako modelo ekonomiko berriak baimentzen dituzten soluzio energetiko efizienteen bilaketan egonik.

Jadanik esan denez, biomasa bizitzaren aitzindaritzat jotzen da, Izan ere, edozein biomasa mota argi energia, energia kimikoan bihurtzen duen landare fotosintesi deritzon prozesu primitiboaren bidez lortzen da. Hau da, eguzki argiak hostoek gordetzen duten karbono dioxidoa eta ura azukre sinpleetan eta oxigenoan transformatzen dute. Lortzen den materia bizi guzti hau, bai landare edo animalia jatorria izanik, deskonposatzean edo degradatzean energia askatzen duen biomasaren jatorria da. Modu honetan, biomasaren definizio on bat haxe izango litzateke:

“Bide biologikotik eratu den materia organikotik eratorritako lehengai eta produktu energetiko berriztagarriak”

Biomasaren garrantziak gorabeherak izan ditu urteetan zehar, gizakia antzinatik erabili du energi iturri gisa baina erregai fosilen erabilpenak indarra hartu zuenean, biomasa maila beherago batera baztertua izan zen, non bere energia primarioarako ekarpena arbuigarria zen. Azken hamarkadan, aldiz, biomasak garapen oso handia izan du jarraian aipatzen diren faktoreengatik:

- Petrolioaren prezioaren garestitzea.
- Nekazaritza produkzioaren handitzea.
- Nekazaritza produkzioei aukera berriak bilatzeko beharra.
- Aldaketa klimatikoa.
- Ezagutza zientifiko eta tekniko berriak prozesuaren optimizaziorako.
- Aldeko egoera ekonomikoa, estatuko diru-laguntzei esker.

Biomasak munduko behar energetikoen %14a ekartzen du. Hala ere, herrialde industrializatuetan energia primarioaren %3-a soilik ekartzen du batzbeste; Europako herrialde nordikoen salbuespenarekin, non zentral garatuetan beroaren produkzioarako biomasa erabiltzea nahiko arrunta den. Garapen bidean dauden herrialdeak biomasarekin, egur kontsumoarekin kasu honetan, eskari energetikoaren %38-a ekartzen dute. Afrikako herrialde batzuetan, adibidez, ehuneko hau %90-era igotzen da. Munduko erabilpenari dagokionez, %75-a etxeko betiko erabilpena da eta %25-a erabilpen industrialekoa (Biomass Users Network, 2002; Renovetec, 2010).

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

Azpimarragarria da planetako biosferaren urteko produkzio osoa aprobetxatu ahal izango bazen 68 Gptb-ko energia kantitatea lortuko litzatekeela, eta aprobetxatu ezin den itsaso eta ozeanoetako biomasa alde batera utziz 46 Gptb lortuko lirateke, zeinekin munduko urteko energia eskaria ia lau biderrez asetuko litzateke (12 Gptb, 2010. urtean (Renovetec, 2010)). Gaur egun, azpimarragarria da biomasaren kontsumoa gero eta handiagoa egiten ari dela teknologia efizienteen erabilpenean oinarriturik.

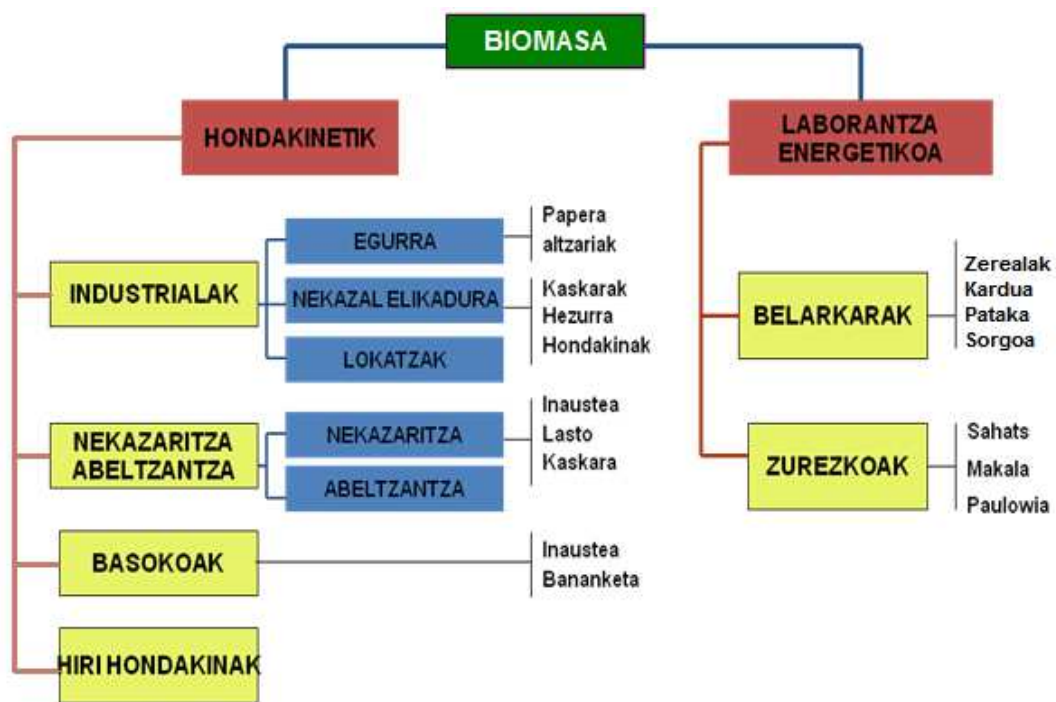
1.1. BIOMASA MOTAK

Biomasa materia organikoen multzo oso heterogeneoa da, bai bere jatorriagatik, bai bere izaeragatik, 4 mota ezberdin aurkitzen dira:

- **Biomasa naturala:** Ekosistema naturaletan ekoizten den biomasa da. Biomasa mota hau hobetzeko edota eraldatzeko gizakiaren parte hartzerik gabe sortzen da eta baso hondakinak izaten dira gehien:
 - Landatze hondar eta basoen garbiketarik eratorritakoak
 - Adar eta egurrak
 - Koniferak
 - Hostozabalak
- **Hondakin biomasa:** Materia organikoa erabiltzen duten gizakiaren jardueretatik ekoizten dena da. Kasu askotan irtenbiderik gabeko hondakinak dira eta, beraz, biomasa iturri erakargarria izaten da. Bere erabilerak zenbait abantaila ditu; hala nola, kutsadura eta su arriskuen gutxipena, produkzio eta garraio kostu txikiak eta CO₂ isurpenen murrizketa. 1. Irudian biomasa mota honen azpimotak eta hauen landare-jatorria adierazten dira.
- **Nekazal soberakinak:** Giza-elikaduran erabiltzen ez diren nekazal soberakinak ere energia lortzeko biomasa gisa kontsidera daitezke. Hala ere, elikatze katean erabiltzen diren produktuetatik eratorritako ekintza hauek ospe txarra jasan dute elikagaien prezioaren gorakada leporatu zaielako.
- **Laborantza energetikoak:** Produkzio energetikorako soilik erabiltzen diren laborantza espezifikoak dira. Produktuak bere potentzial energetikoa aprobetxatzeko laborantza energetikoetan landatzeko ezaugarri hauexek izan behar ditu:
 - Errendimendu handia izan behar du. Biomasaren produkzio altuak lortu behar dira kostu txikienarekin.
 - Lur marjinaletan hedatzeko gai izan behar da.
 - Bere laborantzarako makineria nekazaritzako makineria arrunta izan behar da.
 - Ingurugiroan eragin nulu edo positiboa izan behar du.
 - Erabilitako lurra berreskuratze erreza izan behar du laborantza energetikoa bukatutakoan beste laborantzaren bat egin ahal izateko.
 - Ekoizturiko biomasa lehengai moduan erabiltzeko egokia izan behar da.

- Laborantzak kontsumitzen duen ura minimoa izan behar da eta, beti, kontsumo jasangarria bermatu.

Laborantza energetiko hauek abantaila batzuk erakusten ditu; hala nola, desertizazio arriskua duten zonaldeen aprobetxamendu industrialia eta lanpostu eta enpresa berrien sorketa. Hala ere, desabantailak ere baditu; nekazarientzako ezezagunak diren laborantza batzuk landu beharra, esaterako. Azken urteetan ezaugarri onenak bereganatzen dituen biomasa laborantza bilatzeko ikerketak egin dituzte eta Paulownia, kardua eta tabako landarea onenatarikoenen artean aurkitzen direla ikusi da (Renovetec, 2010). Hala ere, 1. Irudian ikus daitekeen legez, laborantza hauek produktu askotarikoak izan daitezke.



16. Irudia. Biomasa mota nagusien jatorria (Renovetec, 2010).

1.1.1. Erabilitako biomasak

1.1.1.1. Arroz oskola

Arroz oskola, beste biomasa lignozelulosikoen gisara, konbertsio biokimiko baten bitartez etanola bezalako erregaiak ekoizteko ezaugarri onak erakusten ditu. Gainera, bere eraketaren bidez beroa eta elektrizitatea lor daiteke. Arroz oskolaren konposizioa erabiltzen den espeziearen arabera aldatzen da eta honakoa hau da: %25-%43 zelulosa, %18-%31 hemizelulosa eta %14-%30 lignina (Raveendran, Ganesh, & Khilar, 1995; Mansaray eta Ghaly, 1998; Worasuwannarak, Sonobe, & Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

Tanthapanichakoon, 2007; Lim, Abdul Manan, Wan Alwi, & Hashim, 2012; Vassilev, Baxter, Andersen, Vassileva, & Morgan, 2012).

Goiko bero ahalmenari (GBA) dagokionez, nekazal hondakinetan 15 MJ/kg eta 17 MJ/kg tartean egoten da eta arroz oskolarena, bereziki, 16 MJ/kg ingurukoa da (Lim eta lag., 2012).

1.1.1.2. Pinu zerrautsa

Zerrautsaren konposizio lignozelulosikoa hauxe da: %43-%46 zelulosa, %25-%34 hemizelulosa eta %26-%28% lignina (Park, Park, & Kim, 2008; Demirbas, 2009; Ulloa, Gordon, & Garcia, 2009; Vassilev eta lag., 2012). Bestalde, Park eta lag.-ek (2008) aurkitu zuen pinu zerrautsetik abiatuz pirolisiaren bidez lorturiko bio-oilaren GBA 21 MJ/kg-koa zela, zeina ohiko erregai mineralena baino txikiagoa den, baina beste erregai oxigenatuekiko konparagarria.

1.1.1.3. Pelletak

Pelletaren parametro garrantzitsuenetarikoak partikula fin kantitatea, ohandze dentsitatea eta erresistentzia mekanikoa dira. Erabilgarritasun luzea beharrezkoa da partikula finen agerpena murrizteko eta garraioan zehar kalitate ona mantentzeko. Partikula fin askoren agerpenak, biltegitratze eta konbustio arazoak sor ditzake eta osasunaren inguruko eta hautsen leherketa arazoak ere bai. (Filbakk, Jirjis, Nurmi, & Hoibo, 2011).

Gaur egun ekoizten diren pellet gehienak ez dute gehigarri edo aglutinatzailezik izaten. Pelletaren osagarri kimiko batzuk, lignina eta materia hegazkorra esaterako, partikula lotzaile natural gisa jokatzeko dute granuluen prentsaketan. Osagarri hauen kontzentrazioa lehengaiaren faktore hauengatik aldatu egiten da: Egurraren adina, uzta, tenperatura eta hezetasun edukia. Bestalde, aipatu berri den hezetasuna eta partikulen tamainaren distribuzioa, granuluen ekoizpenean garrantzitsu izan daitezkeen faktore fisikoak dira (Filbakk eta lag., 2011).

Pelleten konposizioa arestian azaldutako ezaugarrien eta bere ekoizpenerako material motaren arabera da, ohiko konposizioa honakoa izanik: %39-%44 zelulosa, %28-%32 lignina eta %20-%27 hemizelulosa (Filbakk eta lag., 2011; Link, Arvelakis, Paist, Martin, Liedahl & Sjostrom, 2012; Rizhikovs, Zandersons, Spince, Dobeles, & Jakab, 2012; Shang, Nielsen, Dahl, Stelte, Ahrenfeldt, Holm eta lag., 2012). Modu berean pelleten GBA 19 MJ/kg ingurukoa da (Obernberger eta Thek, 2004; Filbakk eta lag., 2011; Shang eta lag., 2012).

1.1.1.4. Rumexa

Rumexa, 10 urtez bizi daitezkeen landare iraunkorra da eta honek fitoenergiaren ikuspuntutik oso abantailatsuak direla adierazten duen ezaugarria da. Normalean kalitate altuko abere janari bezala erabiltzen den laborantza da, gordin dagoenean urtean 2 edo 3 aldiz landu daitezkeena eta, hazten uzten bada, adakera askoko zurtoin altuetan bihurtzen dena. Helburu energetikoetan erabiltzeko, landarea %25-eko Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

hezetasuna eta 12.17 MJ/kg inguruko bero ahalmena duenean moztu egiten da.
(Havlickova eta Suchy, 2010)

1.2. KONBERTSIO PROZESUAK

Biomasa helburu energetikoetan erabili ahal izan aurretik, bere erabilerako eta garraiorako forma egokienera bihurtu behar da. Sarritan biomasa forma eratorri batzuetan bihurtzen da; hala nola, landare-ikatz, briketa, gas, etanol eta elektrizitatea.

Konbertsio teknologiak anitzak izan daitezke prozesu sinple eta ohikoak, lur azpiko sutzarretan ekoiztutako landare-ikatz esaterako; edo dendro-energia eta kogenerazioa bezalako efizientzia altuko prozesuak.

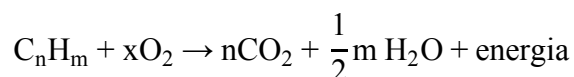
Jarraian biomasaren konbertsiorako bi prozesu esanguratsuenak adierazten dira:

- Prozesu termokimikoak.
- Prozesu biokimikoak.

1.2.1. Prozesu termokimikoak

1.2.1.1. Konbustio zuzena

Hau da biomasatik energia lortzeko formarik ohikoena eta zaharrena. Konbustio zuzeneko sistemak beroa lortzeko erabiltzen dira, zeina zuzenean erabili daitekeen. Gainera, bero hau elektrizitatea sortzeko eta prozesu industrialentzako ur-lurruna sortzeko erabili daiteke. Erreketan ematen den erreakziorik garrantzitsuenak karbonoak eta hidrogenoak oxigenoarekin egiten dutena da:



Aipatutako karbono dioxido eta lurrunaz aparte, askatutako konbustio gasetan nitrogenoa, nitrogeno oxido ezberdinak (NO_x), oxigenoa, karbono monoxidoa, hidrogenoa, sulfuro oxidoa eta erre gabeko partikula solidoak ere aurki daitezke.

Konbustio zuzeneko teknologiak anitzak dira, sistema sinpleak (berogailuak, labeak, galdarak, ...) eta sistema konplexuagoak (ohantze fluidizatuko erreketak) barneratuz. 1. Taulan ikus daitekeenez, biomasa mota ezberdinetarako beraien propietate eta erabilpenengatik teknologia ezberdinak aukeratu daitezke.

Erregai gisa erabiltzen den biomasaren ezaugarriak nagusienak hauexek dira: Biomasa mota, zeinak erabiltzen den prozesua baldintzatuko duen; jatorria, zeinak garrantzi ekonomiko handia duen; hezetasun edukia, zeinak askatutako energia baldintzatzen duen; errauts ehunekoa, zeinak konbustio efizientzian eragina duen eta ohantze dentsitatea, zeinak erabilitako ekipoen tamaina baldintzatu dezakeen.

Mota honetako ohiko prozesuak, oro har, efizientzia oso baxua erakusten dute (%15-20) askatutako energia asko galdu egiten baita. Gainera, NO_x-en agerpena ematen da, eta produkzio elektrikorako erabiltzen duten plantek 1-10 MWe-ko potentzia izaten dute, 2-2.5 milioi €/kW-ko kostua izanik (Renovetec, 2010). Emaidza hauek asko hobetu daitezke operazio baldintza hobeak erabiliz eta ekipoaren diseinu ona eginez. Esaterako, biomasaren hezetasuna murrizteak uraren lurrunketan galdu egiten den energia murriztu egiten du eta biomasa zatitzeak errektiorako azalera handitu egiten du; modu horretan, errektaren efizientzia asko handitu daiteke.

Horretaz gain, labeak bezalako ekipoak hobetu daitezke konbustio hobe lortzeko sarrerako airea erregulatuz eta bero galerak ekiditeko isolatzailea jarritz. Azkenik, aipatzekoa da lan honetan landutako ohandze fluidizatuko errektarekin efizientzia %35-era igo daitekeela (Renovetec, 2010).

1. Taula. Zenbait hondakin solidoen konbustio zuzenerako erabilitako teknologiak (Biomass Users Network, 2002).

Produktua	Teknologia	Ezaugarriak
Hautsak	Hauts erregailuak.	-Inbertsio kostu altua.
Ezpalak	Labeak eta suspentsioko eta ohandze fluidizatuko galdarak.	-Erabilpena errazten dute.
Pelletak	Labeak eta parrilla galdarak.	-Efizientzia eta konbustio ezaugarriak hobetzen dituzte.
Briketak	Labeak eta parrilla galdarak.	
Zurezkoak	Labeak eta galdarak, etxeko berogailuak.	-Tamainak erabilpena zailtzen du efizientzia altuko dispositiboetan.
		-Prozesamendua behar dute.
Landare-ikatzak	Etxeko berogailuak.	-Efizientzia energetiko totala murrizten da baina erabilpena egokiagoa da ke gutxiago sortzen baitu.

Biomasa baldintza kontrolatuetan erretzen denean, osorik erre gabe, bere egitura gas, likido eta solido konposatuetan apurtzen da, zeinak beroa eta elektrizitatea sortzeko erregai gisa erabili ahal diren. Teknologiaren arabera, azken produktua erregai solido, likido edo gasa da.

1.2.1.2. Pirolisia

Oxigeno gabeko atmosferan gertatutako biomasaren deskonposizio kimikoa da. Pirolisi normala 400-500 °C-tan ematen da eta pirolisi azkarra 800-900 °C-tan, prozesuak %35-eko efizientzia izanik batazbeste. Produktuak %10 solido (erdikoke) eta %60 gasa (CO, CH₄, CO₂ eta H₂) izaten dira, gainerakoa alkitranak eta olioak izanik. Produkzio elektrikorako bideratzen bada, planten potentzia 50 MW baino txikiagoa izaten da eta 0.8-1 milioi €/MWe-ko kostua izanik (Renovetec, 2010).

Pirolisia erdiko tenperan gauzatzen denean (400-700 °C) landare-ikatzak sortzen da. Prozesu honetan biomasa aire mugatuarekin erre egiten da, erreketaren osoa ematea

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

galaraziz. Hondakin solidoa landare-ikatz moduan erabiltzen da, zeinak biomasa originalak baino dentsitate energetiko handiagoa duen eta, gainera, ez du kerik sortzen eta etxeko kontsumorako egokia da. Ekoizteko metodorik zaharrena eta, seguruenik, erabiliena, lurrezko labeak dira. Hauek lurrean egindako hondeaketak dira, non biomasa sartu egiten den eta lurrez eta landarediaz estaltzen den erreketak osoa galarazteko. Labe modernoak altzairuzkoak dira eta operazio eta diseinu konplexua izaten dute; honek inbertsio kostuak handitu egiten ditu baina efizientzia, produkzio ahalmena eta produktuaren kalitatea hobetzen ditu.

1.2.1.3. Gasifikazioa

Biomasa ur-lurrun, oxigeno edo biekkin erreakzionarazten da tenperatura handitan “gas pobre” deritzon produktua sortuz zeina karbono monoxidoz, hidrogenoz, metanoz eta, proportzio txikiagoan, karbono dioxidoz eta nitrogenoz osatuta dagoen. Gas hauxe ohiko ekipoetan beroa eta elektrizitatea sortzeko erabili daiteke. Gasaren konposizioa eta bero ahalmena erabilitako biomasaren arabera izango da. Gasifikazio teknika ezberdinak existitzen dira eta bakoitzaren erabilpena lehengaiaren, eta sistemaren eskalaren arabera izango da. Esaterako, gasifikazio normalak %35-eko efizientzia erakusten du eta 10-20 MWe ekoiztu daitezke 1.5-2.0 milioi €/MWe-ko kostuarekin. Ziklo konbinatua erabiliz efizientzia hobetzea lortzen da 15-20 MWe-ko produkzioa lortuz 2.5 milioi €/MWe-ko kostuarekin (Renovetec, 2010).

Gasifikazioak zenbait abantaila ditu, hala nola produzitutako gasa helburu anitzetarako erabili daitekeela eta ia ezpurutasunik gabeko erregaia ekoizten dela. Bestalde, gasifikazio prozesua aurrekoak baino konplexuagoa da eta esperientzia eta doiketa periodo bat behar da sistema operazio baldintza optimoetara eramateko.

Prozesu guzti hauek biomasa balore handiagoko produktuan bihurtzen dute, dentsitate eta balio kalorifiko handiagorekin, zeinak bere erabilpena eta garraioa egokiagoa egiten duten.

1.2.2. Prozesu biokimikoak

Prozesu hauek biomasaren ezaugarri biokimikoak eta mikroorganismoen akzioa erabiltzen dute erregai gaseoso eta likidoak ekoizteko. Prozesu hauek biomasa hezea erabiltzeko egokiagoak dira oro har. Hurrengo lerroetan garrantzitsuenak adieraziko dira.

1.2.2.1. Digestio anaerobikoa

Oxigeno gabeko ingurunean, biomasa hezearen bakterioen bidezko digestioak biogas deituriko gas erregaia sortzen du. Prozesu honetarako, biomasa (animalia hondakinak, oro har) ontzi itxi baten uzten da (digestorean) eta bertan fermentatzen uzten da, non denbora jakin baten ondoren, inguruneke tenperaturaren arabera, gasa

ekoiztu den. Eratutako gas hau %50-70 metano eta karbono dioxido nahastea da eta digestorean gelditutakoa ongarri organiko ona da, %60 efizientzia lortuz (Renovetec, 2010). Bestalde, aipatzekoa da digestoreak ur beltzekin ere erabili daitezkeela, ura tratatzeko erabili ahal izanik eta prozesua kontrolatutako zabortegietan ere eman daitezkeela.

1.2.2.2. Hartzidura alkoholikoa

Biomasatik etanola eta metanola bezalako erregai likidoak ekoiztu daitezke hartziduraren bidez. Lehenengoa azukre hartziduratik lortzen da eta bigarrena egurraren destilazio suntsigarritik (kraking-a). Teknologia hau mendeetan zehar likorearen ekoizpenerako erabili da eta, gaur egun, garraiorako erregai fosilen ordezkioak ekoizteko bideraturik dago, brasilen nagusiki. Erregai hauek forma puruan edo beste erregaiekin nahasturik erabili daitezke, garraiorako edo makinaren propulsiarako.

1.2.2.3. Transesterifikazioa

Transesterifikazioaren bidez gantz-azidoz eta ester alkalinoz osatuta dagoen biodiesela ekoiztu daiteke, bai landare-oliotik, animalia gantzetik edota birziklaturiko gantzetatik abiatuz. Prozesu honen bidez organikoki eratorritako olioak alkoholarekin (etanolarekin edo metanolarekin) konbinatzen dira eraldaketa kimikoa sortuz, etil edo metil esterrak bezalako gantz esterrak ekoiztuz. Hauek zuzenean edota dieselarekin nahastuta ohiko motorretan erabili daitezke. Oro har, biodiesela dieselaren gehigarri gisa erabiltzen da %20-ko proportzioarekin. Abantailarik handiena emisioak, ke beltza eta usaina asko murriztea da.

1.2.2.4. Isurtzeratzea

Isurtzeratze prozesuaren bidez, isurtegietan hiri hondakin solidoen hartziduratik gas erregaia lortu daiteke. Gas hau, metano eta karbono dioxido nahasketa da. Energia produzitzeaz gain, gas honen erabilpenak kontaminazioa eta leherketa arazoak murrizten ditu eta negutegi-efektuko gasen kantitatea murrizten du.

Biomasa hondakina	Aurretratamendua				Konturbertsio prozesua	Produktua	Azken erabilera
	Lehorketa	Biltze Klasifikazioa	Mozketa	Dentsifikazioa			
Basokoak	Zerrautsa	+			Konturbertsio zuzena	Konturbertsio gasak (8000-9000 kcal/kg biomasa)	Estufa, galdara, labeak
	Ezpala	+				Erregai gasak (4000-6000 kcal/m ³)	Labe, galdarak
	Egur-puskak	+	+		Pirolysis	Erregai olioak (8000-9000 kcal/kg)	Labe, galdara, motore
	Azala	+	+			Ikatz begetala (4000-7000 kcal/kg)	Estufa, galdara, labeak
Nekazaritza	Adarrak	+	+		Gasifikazioa	Erregai gasak (1000-2000 kcal/m ³)	Labe, galdara, motore, gasa turbina
	sastrakak	+	+			Ongarri organikoa	Laborantza zelaietan
	Uztak			+		Metano purua (9000kcal/m ³)	Labe, galdara, motore, turbina, hidrogeno zelidak
Hiriakoak	Urrak				Digestio anaerobikoa	Biogasa (4500-5000 kcal/m ³)	Labe, galdara, motore, turbina, hidrogeno zelidak
	Urtak					Etanol (7000kcal/m ³)	Konturbertsio motoreak
Industrialak	Prozesu-urrak	+			Fermentazio alkoholikoa		
	Olio- gantzak	+		+			

2. Irudia. Biomasa hondakin bakoitzarentzako aurretratamendua, erabilgarriak diren konturbertsio prozesuak, ekoiztutako produktua eta azken erabilera (Biomass Users Network, 2002).

Modu horretan, esan behar da gaur egun biomasaren erabilera energetikorako prozesurik erabiliena konbustio zuzena dela. Hala ere, gasifikazioa eta digestio anaerobikoa bezalako prozesu aurreratuagoak aukera efiziente eta egokiago bezala garatzen ari dira baina orain arte bere erabilera ez da hain hedatua izan beraien kostu altuagoagatik eta aplikazioen zailtasunagatik. Azkenik, arestian esandako guztia laburbilduz, 2. Irudian erabilgarriak diren konbertsio prozesuen distribuzioa adierazten da, biomasaren ezaugarri eta motaren arabera eta energiaren azken erabilera posibleekin.

1.3. PRODUKTUAK

Biomasa erabiliz sor daitezkeen produktuak analizatzerakoan bi motako produktuak daudela esan daiteke: Produktu energetikoak, hau da, biomasa zuzenean erabiliz sortzen diren energia formak eta bioproduktuak, biomasa eraldatuz sortzen diren produktu likido eta gaseosoak.

1.3.1. Produktu energetikoak

Konbertsio prozesu ezberdinak aplikatuz, biomasa energia forma ezberdinetan bihurtu daiteke:

Biomasa edo biogasaren bidezko konbustioaren bidez beroa eta baporea ekoiztu daitezke. Beroa, beroketa eta erreketak bezalako prozesuetan produktu nagusia izan daiteke edo, elektrizitatearen ekoizpenean esaterako, azpiproduktu gisa erabili daiteke elektrizitate eta ur-lurrunezko ziklo konbinatuetan.

Horretaz gain, baliabide biomasikoetatik ekoiztutako elektrizitatea “energia berde” gisa merkaturatu daiteke bere produkzioaren ziklo netoak ez baitu negutegi efektua sortzen duen karbono dioxidorik isurtzen. Energia mota honek merkatuari aukera berriak sor ditzake erabiltzaileek bere kostuen egiturak teknologia efizienteetan maila altuagoko inbertsioak jasan ahal izango dutelako, industria bioenergetikoa areagotuz.

Azkenik, aipatzekoa da ere biomasa kogenerazioa egiteko erabili daitekeela. Kogenerazioa, jakina denez, aldi bereko ur-lurrun eta elektrizitate produkzioa da, zeinak bi energia forma horiek behar dituzten prozesu industrialetan erabiliko diren. Zentroamerikan oso ohikoa izaten da azukrea erabiltzen duten prozesuetan, zeinetan prozesuaren hondakinak erabiltzen diren, ahotza nagusiki. Ahotzaren kantitate erabilgarri handiak daudenez, ohikoa zen prozesuak efizientzia txikia izatea baina azken urteetan prozesua hobetzeko joera dago elektrizitate gehiago ekoizteko eta, horrela, soberakinak sare elektrikorara saltzeko.

1.3.2. Bioproduktuak

1.3.2.1. Gas erregeia

Digestio aerobiko edo gasifikazio prozesuetan ekoiztutako biogasa barne-errekuntzako motorretan erabili daiteke elektrizitate ekoizpenerako; etxe, komertzio eta instituzioen kalefakzioarako eta aldatutako ibilgailuetarako.

Metanoa ekoizteko erabili daitezkeen materialak anitzak dira (Council, 1977).

- Uzta hondakinak: Maloka-kainabera, sastrakak, lastoa, arto eta beste laborantzen uztondoa eta hondatutako zuhaina.

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

- Animalia jatorriko hondakinak: Korta hondakinak (simaur, gernu, lastoa), ahuntz eta ardi gorotzak, hiltegi hondakinak (odola, erraiak), arrantza hondakinak eta artile eta larru hondakinak.
- Gizaki jatorriko hondakinak: Zaborra, gorotzak, gernua.
- Nekazaritza-industria hondakinak: Opil oleaginosoak, ahotza, arroz oskola, tabako eta hazi hondakinak, fruta eta barazkien prozesamenduko hondakinak, te hondakinak ...
- Baso-lurrustela: Adartxoak, adarrak, hostoak eta enbor-azalak.
- Ur-landare hondakinak: Algak, kamaloteak...

Azkenik, aipatzekoa da biogasaren konposizioa aldakorra dela berau ekoizteko erabiltzen den biomasaren arabera, 2. Taulan ikus daitekeen gisa, eta, bere bero ahalmena 17 eta 34 MJ/m³ tartean egoten dela metano edukiak baldintzatuta.

2. Taula. Jatorri ezberdinetako biogasaren konposizioa (Coombs, 1990).

Gasak	Nekazal hondakinak	Kloaka lokatza	Hondakin Industrialak	Osasun-betegarria	Ezaugarriak
Metano	%50-80	%50-80	%50-70	%45-65	Erregaiak
Karbono dioxidoa	%30-50	%20-50	%30-50	%34-55	Azidoa, itogarria
Ur lurruna	Saturazioa	Saturazioa	Saturazioa	Saturazioa	Korrosiboa, balio kalorifikoa murrizten du
Hidrogenoa	%0-2	%0-5	%0-2	%0-1	Erregaiak
Hidrogeno sulfuroa	100-700 ppm	%0-1	%0-8	0.5-100 ppm	Korrosiboa, toxikoa, usaintsua
Amoniakoa	Trazak	Trazak	Trazak	Trazak	Korrosiboa
Karbono monoxidoa	%0-1	%0-1	%0-1		Toxikoa
Nitrogenoa	%0-1		%0-1	%0-20	Inertea
Oxigenoa	%0-1	%0-1	%0-1	%0-5	Korrosiboa
Organikoak	Trazak	Trazak	Trazak	5 ppm (terpenoak, esterrak, hidrokarburoak)	Korrosiboa, usaintsua

1.3.2.2. Bioerregaiak

Etanol eta biodiesela bezalako bioerregaien produkzioak erregai fosilen kantitate nabarmenak ordezkatzeko potentziala dute garraio-erregai aplikazio askotan. Brasilen egin Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

den etanolaren erabilera estentsiboak, 20 urte baino gehiagotan, bioerregaiak eskala handian teknikoki posibleak direla erakutsi du. Estatu Batuetan eta Europan bere produkzioa areagotzen ari da eta petrolioaren eratorriekin nahasturik merkaturatzen dira. Gaur egun, mota honetako erregaiak gobernuen diru-laguntzekin egiten dute aurrera; etorkizunean laborantza energetikoen eta eskalako ekonomien hedapenarekin, kostuen murrizketak produkzioa konpetitiboa egin dezake.

Bioetanola

Bioetanola zereal almidoien (gari, arto, garagar), azukreen (azukre kanabera, pataka, sorgo gozoa) edota substantzia zelulosikoen hartziduratik lortzen den produktua. Bere erabilera anitza da; bai gasolinekin nahasteko ETBE edo MTBE-ren ordez. (%15); bai erregai moduan erabiltzeko gasolinekin nahasturik (%85-era arte). Gainera aipatzekoa da ETBE-a ere ekoizteko erabiltzen dela.

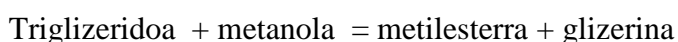
Berau erabiltzeak abantaila asko ditu, hala nola:

- CO₂-aren emisio murrizketa: %51 (zerealetan) , %70 (azukreetan) gasolinarekin alderatuz
- CO-aren emisio murrizketak erreketan
- Kutsatzaile toxikoen murrizketa erreketan: Bentzenoa eta butadienoa

Baina desabantailak ere izan ditzake, esaterako azetaldehido eta formaldehidoen gehiagotzea erreketan eta batazbesteko kostua: Arto etanola 0.50 €/l (zereal etanola 0,45 €/l Espainian (Biomass Users Network, 2002)).

Biodiesela

Biodiesela soja, koltza edo ekilorea bezalako olio begetalen esterifikaziotik dator:



Bere erabilera petroliotik eratorritako diesela zuzenean ordezkatzea da inolako aldaketarik gabe. Oso hedatua dago europako zenbait herrialdetan, Alemanian eta Frantzia adibidez produkzio nabarmena dago (25.000 t/urte) eta Italia, Belgika eta Austrian 15.000 t/urte inguru. Bere erabilpenak emisio murrizpen nabarmena suposatzen du (Vincent, Martínez, & Aracil, 2004):

- Petroliotik eratorritako dieselarekin alderatuz CO₂-aren isurpena %57-an murriztea lortzen da koltza erabiliz eta %72-an soja erabiliz.
- SO₂-aren desagerpena (%99-ko murrizpena)
- CO-aren %20-ko murrizpena
- Partikulen %65
- Produktu organiko aromatikoen murrizpena

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

Gainera motorren bizitzaren luzatu egiten du eta sutze puntu altuagoak seguruagoa egiten du (Körbitz, 1998).

Bestalde, desabantailak ere baditu, esaterako NO_x-en emisioa areagotu egiten da (Vincent eta lag., 2004), gasolioaren bero ahalmena baino %7 txikiagoa da (Wedel, 1999) eta bere produkzio kostua nahiko handia da, hala nola, koltzatik eratorritakoa 0.56 €/l-ko produkzio kostua du eta sojatik eratorritakoa 0.76 €/l (Fukuda, Kondo, & Noda, 2001).

1.4. BIOMASAREN ERABILERAREN EKARPENAK

Biomasa edo biomasatik eratorritako erregaien erabilerak, petroliotik eratorritako erregaiekin alderatuta, zenbait abantaila eskaintzen ditu ingurugiroari dagokionez eta, zenbait kasutan ekonomiaren suspertzea eragin dezake. Hauexek dira abantailarik azpimarragarrienak:

- Biomasa energia-iturri berriztagarria da eta bere erabilpenak ez du berotegi efektuaren arazoa okertzen. Gainera, CO₂ emisioak eta konbertsio-prozesuetako hondakinak gutxitzen laguntzen du (landareak zuzenean erretzen ez badira), eta berriztagarria denez, landareak behin eta berriro hazi daitezke lurzoru berean.
- Alde batetik, nekazal-hondakinak eta betegarri sanitarioetako metanoa atzematen da eta gainera, petrolioaren deribatuak ordezkatzeko dira. Modu honetan, berriro ere berotegi efektuan ez dauka eragin negatiborik eta akuiferoen kutsadura ekiditen da.
- Erregai biomasikoek sulfuro kantitate oso txikiak dituzte, beraz, ez dute euri azidoaren sorketa laguntzen.
- Biomasaren erreketak ikatz mineralak baino erraus gutxiago sortzen du eta lurzoruetan baliabide natural, organiko eta berriztagarri moduan erabili daitezke.
- Baso-hondakinak, nekazal-hondakinak eta hiriko hondakinak energia sortzeko erabiltzen direnez, hondakin hauen tratamenduak dakartzate arazoak saihesten dira.
- Biomasa lekuko baliabidea da, beraz, erregai fosilen inportazioaren nazioarteko merkatuaren fluktuazioek ez daukate eraginik biomasan. Beraz, herrialde bakoitza energetikoki independenteagoa izatea laguntzen da.
- Garapen-bidean dauden herrialdeetan, bere erabilerak petrolioaren eratorrien inportazioaren presio ekonomikoa murriztuko luke.
- Biomasa baliabideen erabilerak nekazal-ekonomian lagundu dezake, lanpostu gehiago sortuz.
- Laborantza-energetikoek uraren kutsadura eta lurzoruen erosioa murriztu dezakete, baita biodibertsitatea mantentzen lagundu ere.
- Aurretik ikusi den moduan, biomasa energia erabilgarrian eraldatzeko hainbat teknologia erabili daitezke.

Hala eta guztiz ere, biomasaren izaeragatik edota bere erabilpen txarragatik arazoak sor ditzake:

- Bere natura dela eta, biomasak dentsitate energetiko baxua dauka, hau da, erregai fosilekin konparatuz, bolumen kantitate handiagoak behar dira potentzia jakin bat ekoizteko. Modu honetan, garraioa eta erabilera garestiagoak bihurtzen dira eta energiaren ekoizpena murrizten da. Arazo hau konpontzeko gakoa, konbertsio prozesua biomasa iturriaren ondoan kokatzean datza, adibidez, basetxeetan edo zerrategietan (animalien hondakinak edo zerrategietako hondakinak dauden lekuetan, besteak beste).
- Bukatu gabeko erreketan materia organikoa, karbono monoxidoa (CO) eta beste gas batzuk sortzen dira. Errekuntza tenperatura altuetan burutuz gero, nitrogeno oxidoak (NO_x) ere sortzen dira. Beraz, gas hauen emisio kaltegarriak oso garrantzitsuak dira.
- Biomasaren ekoizpen eta prozesaketarako garraiobideetarako erregai edota ongarrien kontsumo oso handiak behar dira. Hortaz, konbertsio prozesuan balantze energetikoa txikia izango da. Balantze energetikoa handitzeko, erregai edo ongarri hauen erabilera murriztu behar da eta energiaren berreskurapen prozesuak maximizatu.
- Oraindik ez da existitzen plataforma politiko eta ekonomiko orokor bat biomasa-teknologiaren garapena errazteko, orokorrean hidrokarburoen erabilera baitago diru-laguntzengatik babestua.
- Biolaborantzek elikagaien ekoizpena balaztatu dezakete, ondorioz, elikagai murrizketa eta prezioen igoera sortuz.
- Egurra da munduko biomasa iturri handiena eta egur gehiegi erabiltzeak erregai fosilak baino ingurugirorako eragin negatiboagoa suposa dezake. Hau ekiditeko, egur-hondakinak bakarrik erabili behar dira eta egurra nola landatzen eta erretzen den modu zorrotzean erregulatu behar da.
- Biomasa energian bihurtzeko teknologia asko oraindik ez dira oso efizienteak eta beraz kostu handiak ekartzen ditu.
- Landareen erreketak zuzena eginez gero, erregai fosiletan bezalako kutsadura maila lortzen da.
- Biomasatik ekoiztutako energiaren prezioek ez dituzte bere ingurugirorako onurak konpentsatzen.
- Biomasaren potentzia kalorifikoa hezetasunaren, klimaren eta lehengaiaren dentsitatearekin asko fluktuatzen du.
- Biomasa eraldatzeko proiektu batzuek animalia hondakinak behar dituzte eta hauek lokalizaturik daude eta oso murriztuak dira.

1.5. ALTERNATIBA BERRIAK

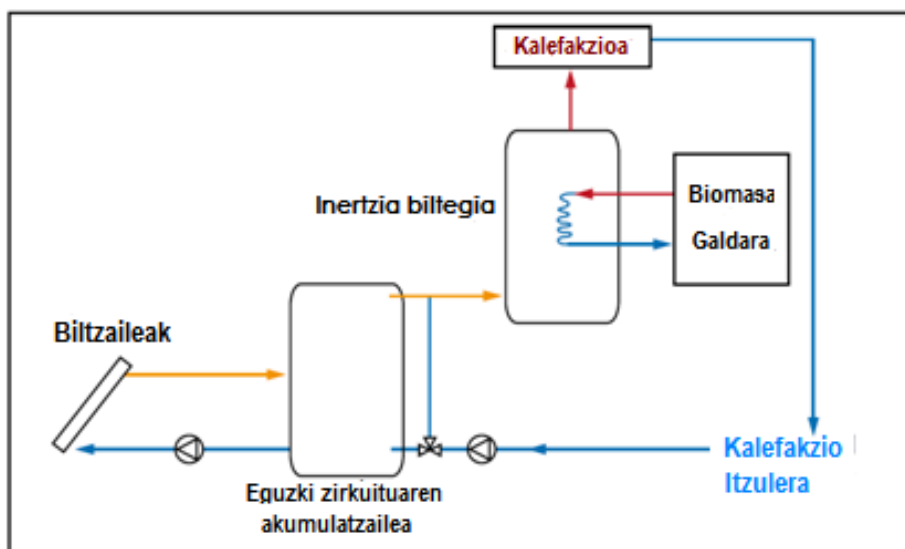
1.5.1. Biomasa eta eguzki-energiaren arteko konbinazioa

Teknologia berri hau oso erakargarria da, instalazio bateko kalefakzio eta ur bero sanitarioaren beharrak asetzen dituelako. Eguzki-energia ez denez konstantea, sistema laguntzaile bat behar izango da. Beraz, galdara konbentzionalak biomasa galdarengatik ordezkatzen dira. Modu honetan, neguan eguzkitik lortu ezin daitekeen energia, biomasa sistematik lortzen da, sistema bakoitzerako biltegi-ontzi bana erabiliz. Honek abantaila ekologikoak ekartzen ditu, hala nola, gas kutsakorren emisioak txikitzea.

Eguzki-energiako instalazioaren eta biomasa sistema lotzeko teknologia desberdinak garatzen ari dira, hauexek dira azpimarragarrienak:

1.5.1.1. Kalefakzioa ur bero sanitarioa ekoiztu gabe

3. Irudian ikus daitekeen legez, kalefakziotik datorren ura eguzki-energia sistemako biltegian aurreberotu eta biltzen da. Ur horrek tenperatura altuegia badu, balbularen bidez biltegiara sartzea ekiditen da. Behin ura aurreberotuta, inertzia biltegiara pasatuko da eta biomasa galdarak nahi den tenperaturaraino berotu egingo du. Inertzia biltegi honi esker, eskakizun energetikoa orekatzen laguntzen da.

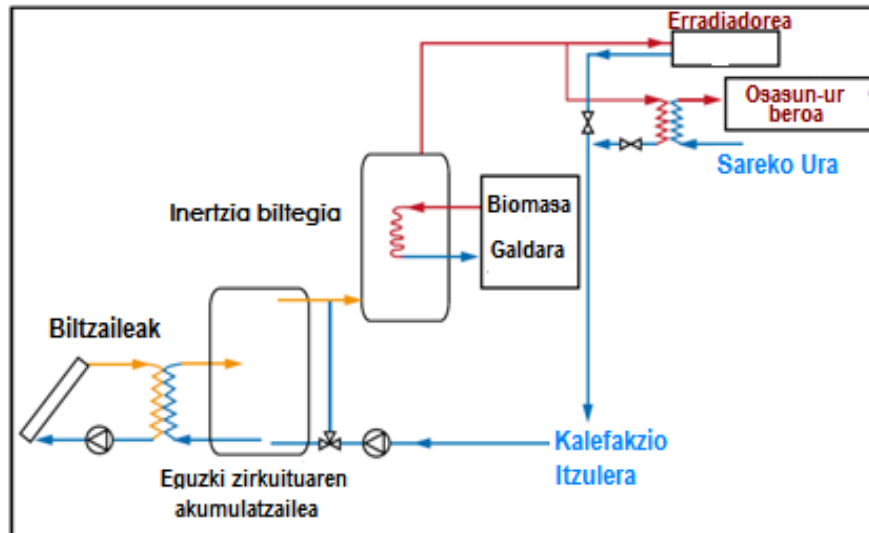


3. Irudia. Ur bero sanitarioa ekoiztu gabeko kalefakzio sistemaren eskema.

1.5.1.2. Kalefakzioa eta ur bero sanitario deszentralizatuaren ekoizpena

Aurrekoaren eskema berdina jarraitzen du, baina kasu honetan, ur bero sanitarioa ekoizteko, bero-trukagailuak instalatzen dira paraleloan. Bero-truke honi esker,

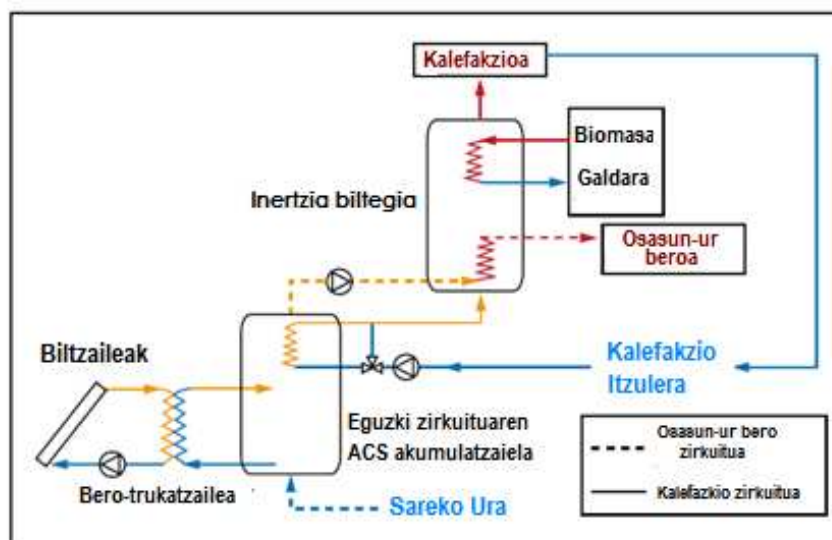
energia kontsumoa optimizatu eta kalefakzioetik datorren uraren tenperatura minimizatzen da, eguzki-energiaren sistemaren errendimendua handituz. (4. Irudia).



4. Irudia. Kalefakzioa eta ur bero sanitario deszentralizatuaren aldibereko ekoizpenaren sistemaren eskema.

1.5.1.3. Kalefakzioa eta ur bero sanitario zentralizatuaren ekoizpena

Azkenik, sistema are konplexuagoa egin daiteke. Esaterako, aurreko sistema parekoa eginenez, ur bero zentralizatu ere lor daiteke 5. Irudian ikus daitezkeen legez.



5. Irudia. Kalefakzioa eta ur bero sanitario zentralizatuaren aldibereko ekoizpenaren sistemaren eskema.

1.5.2. Errautsen erabilpenerako aukera berriak

Biomasaren errekuntzatik datozen errautsak zenbait aplikazio berrietarako erabili ahal dira:

- Ongarrien ekoizpenerako: Errautsen propietate alkalinoak eta elikagai mineralen kontzentrazio altua dela eta, ongarri moduan erabil daitezke.
- Zementuaren fabrikaziorako.
- Bere karbono ehunekoa dela eta, zenbait industrietako galdaretan erregai alternatibo moduan.
- Industriako aktibitateetatik datorren usain txarra kentzeko ere balio du. Adibidez, azido sulfidriko eta bere deribatuak absorbatzen dituzte.

2. HELBURUAK

2. HELBURUAK

Aurretik aipatu den legez biomasa, ikatzarekin eta gas naturalarekin batera, ibilgailu industriarako erregaiak, energia elektrikoa eta industria petrokimikoko lehengaiak lortzeko energi iturri alternatiboa da. Gainera, egun biomasak arreta nabarmenagoa izaten du energi iturri berriztagarria delako eta bere balorizazioak CO₂ isurketan eragin murriztua izaten duelako, honek suposatzen duen berotegi efektuarekiko onurarekin eta emisio kuota ekonomikoen aurrezpenarekin. Horregatik guztiagatik, biomasaren balorizaziorako prozesuen ikerketak suspertu egin dira eta interesa areagotu egin da.

Modu horretan, biomasa ezberdinetarako iturri ohantze konikoaren bidezko erreketaren diseinua azken helburua izanik, proiektu honen xedea baso hondakin ezberdinetarako aurretiazko ikerketa gauzatzea da eta horretarako hurrengo helburu partzialak proposatzen dira:

- Biomasaren karakterizazioa gauzatzea. Horretarako ohantze dentsitatea, hezetasuna eta granulometria bezalako parametro fisikoak neurtu, analisi elementalaren eta berehalako analisiaren bidez biomasaren konposizioa determinatu eta kalorimetriaren bitartez bero ahalmena neurtuko da.
- Datuak doitzen dituen korrelazio hoberenaren determinazioa. Horretarako, berehalako analisiaren eta analisi elementalaren datuetatik abiatuz bero ahalmena determinatzeko eta berehalako analitik abiatuz konposizio elementala lortzeko korrelaziorik hoberenak itzultzen dituen programa gauzatuko da.
- Erreketaren operazio maparen gauzatzea. Horretarako, arestian aipatutako probekin lortutako datu eta korrelazioak erabiliz, sartzen den biomasa eta aire emaria errektore barruan lortzen den tenperaturarekin eta irteerako gasen entalpia emariarekin erlazionatzen duten grafikoak itzultzen dituen programa gauzatuko da.

3. ESPERIMENTALA

3. ESPERIMENTALA

3.1. BIOMASEN KARAKTERIZAZIOA

Lan honetan, lehen adierazi den moduan, lau biomasa mota erabili dira: Arrozaren oskola; pinu egurraren zerrautsa (*Pinus insignis*), zeina Restsch SM 2000 errotaren bitartez txikitu egin den 1-2 mm-ko partikulak lortu arte; pelletak (aglomeraturikoa egur lignozelulosikoa) eta rumexa (*Rumex tianschanicus*).

Biomasa hauen karakterizazioa beraien ezaugarri fisiko, kimiko eta energetikoak determinatuz egin da.

3.1.1. Ezaugarri fisikoak

Lan honen xedea lortzeko neurtu izan diren propietate fisikoak hezetasuna, dentsitatea eta granulometria izan dira. Hezetasuna Mettler Toledo HR83 Halogen Moisture analyzer hezetasun analizatzaileaz neurtu da. Horretarako, 1-2 gramo inguruko lagina 5 minutuz 80 °C-ko tenperaturan lehortzen jarri da analizatzailean, modu horretan galdutako masa biomasaren hezetasunari atxikitu zaio eta oinarri hezeko edo lehorreko hezetasuna kalkulatu ahal izan dira.

Granulometria, bestalde, laginak 0.5, 1, 2, 3, 4 eta 5 mm-ko diametroan bahetatik pasaraziz neurtu da. Hauetako bakoitzean geraturiko masa neurturik biomasa bakoitzaren partikula diametroaren banaketa kalkulatu ahal izan da.

Azkenik, ohandze dentsitatea neurtzeko, jakinik proba hauxe egiteko partikulak probetaren diametroaren %10 gehienez izan behar dutela, granulometriaren emaitzei erreparatzea beharrezkoa da. Horrela, biomasa guztien batzbesteko partikula diametro maximoa 3 mm inguru direla ikusirik, 3 cm-ko diametroa duen probeta erabili da analisia gauzatzeko. Beraz, probeta 30 ml-raino betetzeko behar den lagin masa neurtuz ohandze dentsitatea kalkulatu ahal izan da.

Ezaugarri hauen guztien emaitzak 4.1 atalean aurki daitezke (7. Irudia eta 3. Taula).

3.1.2. Ezaugarri kimikoak

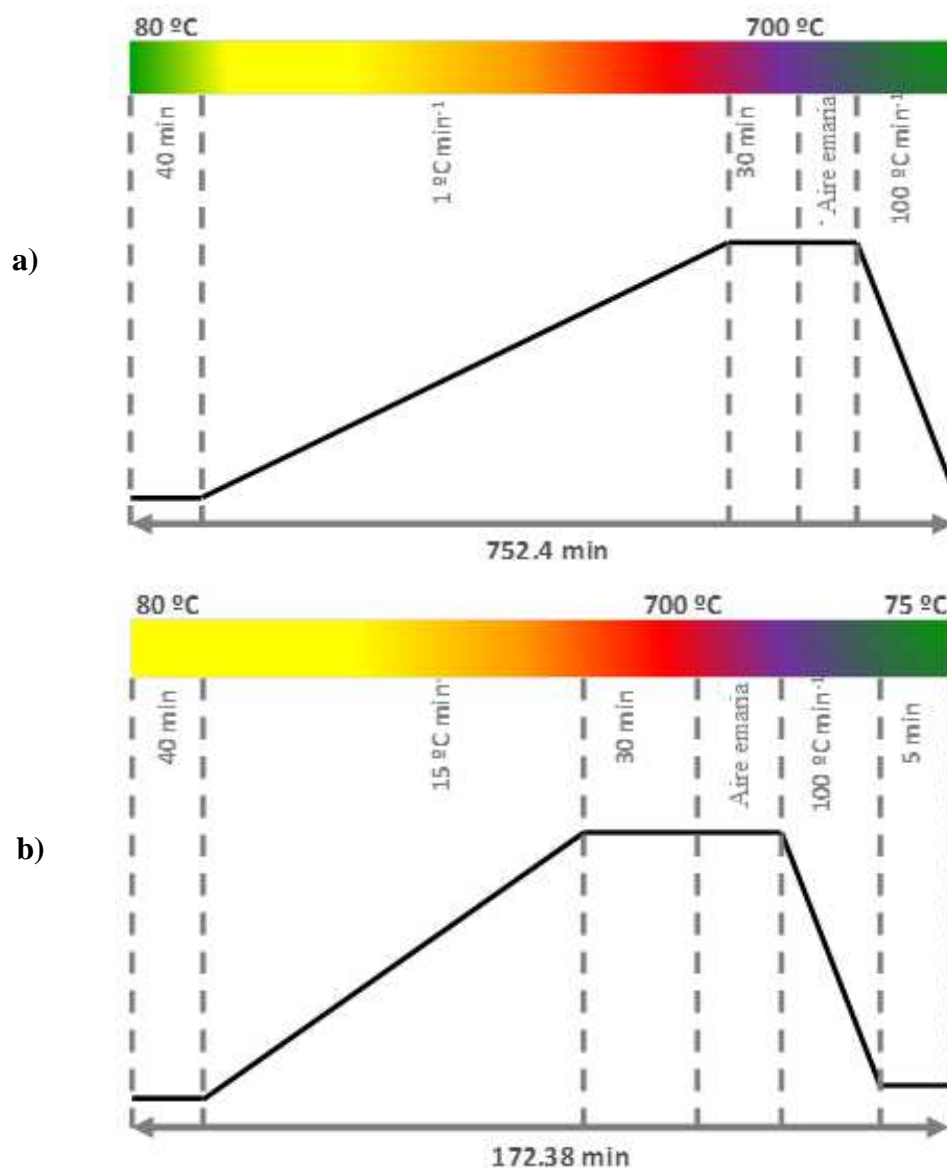
Biomasen ezaugarri kimikoak analisi elementalaren eta berehalako analisiaren bidez determinatu dira.

Analisi elementala gauzatzeko, EuroVentor Euro EA analizatzailea erabili da, zeinak 50 lagineko kapazitatea duen eta guztien analisia automatikoki egiteko gain den. Horretaz gain, ordenagailuarekin loturik dagoen SARTORIUS M2P ultramikrobalantzak (± 0.0001 mg ko prezisioa) analizatzailearen datuak prozesatu egiten ditu.

Bestalde, TA Instruments-en TGA Q500IR termobalantzaren bitartez materia hegazkoren, karbono finkoaren eta errausen kantitatea determinatu da. Esperimentu

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

guztiak inguru tenperaturatik 700 °C-ko tenperaturaraino egin dira. Hasteko, atmosfera inerte barruan, 60 ml/min-ko nitrogeno emaria emariarekin, lagina 80 °C-tan orekatu da eta 40 minutuz mantendu da isotermikoki. Ondoren, bi tenperatura malda ezberdin erabili dira, lehenengoa 1 °C/min-koa eta bestea 15 °C/min-koa (6. Irudia) 700 °C-ko tenperaturara arte eta 30 minututan isotermikoki mantenduz. Horrela, fase honetan galdutako masari materia hegazkorrari atxikitzen zaio. Gero, 60 ml/min-ko aire emaria sartu da karbono finkoaren erreketara eraginez eta azkenik, 100 °C/min-ko tenperatura malda aplikatzen zaio 75 °C-ra arte eta tenperatura horretan 5 minutuz isotermikoki mantendu da, geratutako erreakzionatu gabeko masari errautsei atxikituz. Biomasa guztietarako lortu diren emaitzak 4.1 atalean adierazi dira (4. eta 5. Taulak).



6. Irudia. Termobalantzan egindako berehalako analisiaren eskema a) 1 °C/min-ko maldarako eta b) 15 °C/min-ko maldarako.

3.1.3. Ezaugarri energetikoak

Goiko bero ahalmena Parr 1356 ponpa kalorimetriko isoperibolikoarekin neurtu da. Horretarako, altzairuzko kapsula batean laginaren kantitate neurtua sartu eta kapsula itxirik ponpa kalorimetrikoan sartu da. Bertan metalezko hari bati lotzen zaio eta ponpa ixten da. Azkenik, ponpa airez bete, uretan sartu egiten da tenperatura kontrolatzeko eta elektrikoki ignizioa eragiten da lagina guztiz erre arte. Honekin, kanpoko urak jasandako tenperatura aldaketa neurtuz, ponpa kalorimetrikoak zuzenean askaturiko energia neurtu eta goiko bero ahalmenaren datua inprimatzen du.

Parametro honi dagozkion emaitzak 4.1 atalean aurki daitezke (6. Taula).

4. DATUEN DOIKETARAKO KORRELAZIOAK

4. DATUEN DOIKETARAKO KORRELAZIOAK

4.1. DATU ESPERIMENTALAK

Arestian azaldu den bezala, lanaren lehenengo helburua erabilitako lau biomasen karakterizazioa burutzea izan da. Horretarako, azaldutako prozedura eta tresnariarekin partikula diametroaren distribuzioa (7. Irudia), hezetasuna eta ohantze dentsitatea (3. Taula), karbono finko, materia hegazkor eta errauts datuak (4. Taula), C, H, O, N eta S kontzentrazioak (5. Taula) eta GBA (6. Taula) determinatu dira. Datuak konparagarriak izateko, hezetasuna bazterten duen oinarri lehorrean (o.l.) erabili dira, errautsak kontutan hartuz.

Pelletei ez zaie granulometria probarik egin, biomasa trinko bezala hartu baitira; hau da, begiz ikus daitekeen zentimetro bat inguruko diametroan zilindro itxura izaten dutelako eta oro har itxura fisikoa mantentzen dutelako. Ikus daitekeen legez, biomasa gehienak 1-3 mm tarteko partikula diametroa dute; beraz 3 cm-ko diametroan probetaren erabilpena baietsi egiten da.

3. Taula. Erabilitako biomasen hezetasuna.

Ezaugarria	Pelletak	Zerrautsa	Arroz oskola	Rumexa
Hezetasuna (% pisuan o.l.)	8.02	9.53	8.79	8.76
Ohantze dentsitatea (g/cm ³)	1.383	0.189	0.127	0.121

4. Taula. Erabilitako biomasen berehalako analisiaren emaitzak.

Ezaugarria	Pelletak	Zerrautsa	Arroz oskola	Rumexa
Materia hegazkorra (% pisuan o.l.)	80.41	82.43	64.43	72.34
Karbono finkoa (% pisuan o.l.)	19.03	17.25	13.38	20.46
Errautsak (% pisuan o.l.)	0.56	0.32	22.19	7.20

5. Taula. Erabilitako biomasen analisi elementalaren emaitzak.

Ezaugarria	Pelletak	Zerrautsa	Arroz oskola	Rumexa
C (% pisuan o.l.)	50.03	50.45	38.17	45.85
H (% pisuan o.l.)	5.89	6.52	5.17	6.04
N (% pisuan o.l.)	0.75	0.22	0.54	1.42
S (% pisuan o.l.)	0.09	0.02	0.09	0.53
O (% pisuan o.l.)	42.69	42.48	33.83	38.96

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

a)

b)

c)

7. Irudia. Granulometriaren emaitzak a) Rumex partikuletarako, b) Zerrautsarako eta c) Arroz oskoletarako.

6. Taula. Erabilitako biomasen goiko bero ahalmenak.

Ezaugarria	Pelletak	Zerrautsa	Arroz oskola	Rumexa
Goiko bero ahalmena (MJ/kg)	18.74	18.85	13.76	16.91

Datuei erreparatuz, pelletak eta zerrautsa konposizio antzekoa dutela ikus daiteke baina arroz oskola eta rumexarekiko oso ezberdinak. Lortutako emaitzak fidagarriak izanik, korrelazioen lorpenerako abiapuntu egokia direla bermatu egin da.

4.2. KORRELAZIOEN DOIKETARAKO PROGRAMA

Behin datu fidagarriak lortuta, lanaren bigarren faseari hasiera ematen zaio: lortutako datuak elkar erlazionatzen dituzten korrelazioak lortzeko programaren eraiketa. Horrela, hiru helburu nagusi daude: i) Berehalako analisiaren datuetatik abiatuz karbono, hidrogeno eta oxigenoaren kontzentrazioa auresatea, ii) Berehalako analisiaren datuetatik abiatuz GBA auresatea eta iii) Analisi elementalaren datuetatik abiatuz GBA auresatea. Programa gauzatzeko Scilab softwarearen 5.3.3. bertsioa erabili da.

Programa honek aipatutako 3 helburuetarako emaitzak aurkitzeko aukera ematen du. Doiketak gauzatzeko hiru aukeratarako ekuazio sorta bana doitzen ditu, hau da, ekuazio sortaren ekuazio bakoitzerako datuak hobekien doitzen dituen parametroak bilatzen ditu. Doiketa hau gauzatzeko Parikh, Channiwala & Ghosal-ek (2005, 2007) proposatzen duten batzbesteko errore absolutu (BEA) minimoa bilatu da, honela definituz:

$$BEA = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{KB - BE}{BE} \right| 100\% \quad (1)$$

KB kalkulaturiko balorea izanik eta EB balio esperimentalak.

Modu berean batzbesteko desbideratze errorea edo bias errorea honela definitu da:

$$BDE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{KB - BE}{BE} \right) 100\% \quad (2)$$

Zeinak kalkulaturiko datuek esperotakoekin duten joera adierazten duen, hau da, positiboa bada, batzbeste kalkulaturiko datuak esperotakoak baino handiagoak dira eta, balorea negatiboa bada, alderantziz.

Arestian azaldu denez, programak helburuaren arabera hiru ekuazio sorta ezberdin erabiltzen ditu. Horrela i) kasurako Parikh eta lag.-k (2007) proposatzen dituzten ekuazioak erabili dira (7. Taula), ii) kasurako eta lag.-k (2005) proposaturiko ekuazioak erabili dira (8. Taula) eta ii) kasurako Channiwala eta Parikh-ek, (2002) proposaturiko ekuazioak erabili dira (9. Taula).

- 7. Taula.** Berehalako analisitik C, H eta O-ren kontzentrazioa estimatzeko erabili diren korrelazioak eta hauek hautatzeko irizpidea, datu guztiak % pisuan eta oinarri lehorrean (Parikh eta lag., 2007).

Ek. zb.	Proposaturiko ekuazioa	Aukeratzeko irizpidea
(3)	$KE = aKF + b \frac{KF}{MH} + cMH$	Suposatuz C, H eta O karbono finkoan eta materia hegazkorrean linealki

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

		banatzen direla eta hauen proportzioaren funtzio direla.
(4)	$KE = aKF + bKF^2 + cKF \cdot MH + dMH + eMH^2$	Suposatuz C, H eta O karbono finkoaren eta materia hegazkorraren funtzio polinomiala direla.
(5)	$KE = aKF + bMH$	Suposatuz C, H eta O karbono finkoaren eta materia hegazkorraren funtzio lineala direla.
(6)	$KE = aKF + bMH^c$	Suposatuz C, H eta O karbono finkoaren funtzio lineala eta materia hegazkorraren funtzio ez-lineala direla.
(7)	$KE = aKF^d + bMH^c$	Suposatuz C, H eta O karbono finkoaren eta materia hegazkorraren funtzio ez-lineala direla.
(8)	$KE = aKF^d + bMH$	Suposatuz C, H eta O karbono finkoaren funtzio ez-lineala eta materia hegazkorraren funtzio lineala direla.
(9)	$KE = KF + bMH$	Suposatuz materia hegazkorraren efektua lineala dela eta karbono finkoa konstantea bezala jokatzen duela.

8. Taula. Berehalako analititik GBA estimatzeko erabili diren korrelazioak eta hauek hautatzeko irizpidea, GBA MJ/kg-tan eta kontzentrazioak % pisuan eta oinarri lehorrean (Parikh eta lag., 2005).

Ek. zb.	Proposaturiko ekuazioa	Aukeratzeko irizpidea
(10)	$GBA = aKF + bMH + cEr$	Suposatuz GBA karbono finkoaren, materia hegazkorraren eta errautsen funtzio lineala dela.
(11)	$GBA = aKF + b \frac{KF}{MH} + cMH + dEr$	Suposatuz GBA karbono finkoaren, materia hegazkorraren eta errautsen funtzio lineala dela eta KF eta MH-ren erlazioaren efektua sartuz.
(12)	$GBA = aKF + bKF^2 + cKF \cdot MH + dMH + eMH^2 + fEr$	Suposatuz GBA karbono finkoaren, materia hegazkorraren eta errautsen funtzio polinomiala dela. Kucukbayrak-en (1991) irizpidean oinarriturik.
(13)	$GBA = aKF + bMH$	Corderoren (2001) irizpidean oinarriturik.
(14)	$GBA = aKF + bMH^c$	Suposatuz materia hegazkorraren efektu ez-lineala Kucukbayrak-en (1991) irizpidean oinarriturik.
(15)	$GBA = aKF^d + bMH^c$	Suposatuz GBA karbono finkoaren eta materia hegazkorraren funtzio ez-lineala dela.
(16)	$GBA = aKF^d + bMH$	Suposatuz karbono finkoaren efektu ez-lineala. Kucukbayrak-en (1991) irizpidean oinarriturik.
(17)	$GBA = aKF + bMH^c + dEr$	Suposatuz materia hegazkorraren efektu ez-lineala eta errautsak kontutan izanik.

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

Ek. zb.	Proposaturiko ekuazioa	Aukeratzeko irizpidea
(18)	$GBA = KF + b(KF + MH) + cEr$	Suposatuz karbono finkoaren eta materia hegazkorraren efektu konbinatua dagoela. Jimenez-en (1991) irizpidean oinarriturik.

9. **Taula.** Analisi elementaletik GBA estimatzeko erabili diren korrelazioak eta hauek hautatzeko irizpidea, GBA MJ/kg-tan eta kontzentrazioak % pisuan eta oinarri lehorrean (Channiwala eta Parikh, 2002).

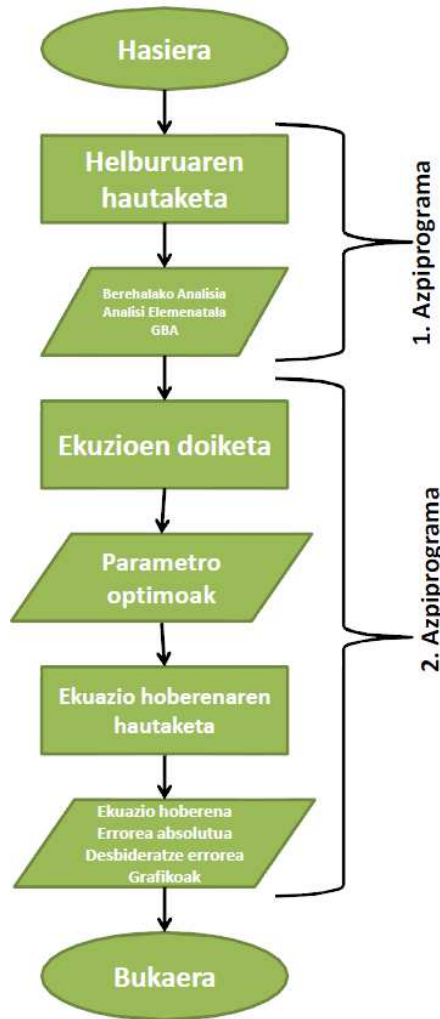
Ek. zb.	Proposaturiko ekuazioa	Aukeratzeko irizpidea
(19)	$GBA = 0.328C + 1.149H + 0.0928S$	Korrelazio basikoa non C, H eta S-ren konbustio osoa suposatu den.
(20)	$GBA = 0.328C + 1.149H + 0.0928S + a(O + N) + bEr + c$	C, H eta S-ren konbustio osoa suposatuz eta, O, N, Er. eta lotura energiaren efektua a, b eta c konstanteekin, hurrenez hurren, sartuz.
(21)	$GBA = a(0.328C + 1.149H + 0.0928S) + b(O + N) + cEr$	C, H eta S-ren konbustio osoa suposatuz eta, lotura energiaren O, N, eta errautsen efektua a, b eta c konstanteekin, hurrenez hurren, sartuz..
(22)	$GBA = a(0.328C + 1.149H + 0.0928S) + bO - 0.0238N + cEr$	C, H, S, eta N-ren erreketa osoa suposatuz eta, C-H lotura energiaren O eta errautsen efektua a, b eta c konstanteekin, hurrenez hurren, sartuz.
(23)	$GBA = aC + bH + cS + dO + eN + fEr + g$	Suposatuz GBA osagaien funtzio lineala dela.
(24)	$GBA = aC + bH + cS + dO + eN + fEr$	Suposatuz GBA osagaien funtzio lineala dela.
(25)	$GBA = aC + bH + cS + d(O + N) + eEr + f$	Suposatuz GBA osagaien funtzio lineala dela, O eta N-ren efektua konbinatuz.
(26)	$GBA = aC + bH + cS + d(O + N) + eEr$	Suposatuz GBA osagaien funtzio lineala dela, O eta N-ren efektua konbinatuz.
(27)	$GBA = aC + b\left(H - \frac{O}{8}\right) + dS$	Dulong-en prozeduran oinarritua hidrogeno erabilgarrirako. (Selvig eta Gilbon, 1945)
(28)	$GBA = aC + bH + cS + dO$	Dulong-en korrelazioaren bertsio eraldatua.
(29)	$GBA = \left[a \left(\frac{H}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + b \right] \left[\frac{C}{3} + H - \left(O - \frac{S}{8} \right) \right]$	Suposatuz GBA erreketa osorako beharrezko oxigeno edo airearekiko proportzionala dela eta proportzionaltasun konstantea hidrogenoarekiko proportzionala dela. (Grummel eta Davis-en (1933a, 1933b) oinarritua)

Ek. zb.	Proposaturiko ekuazioa	Aukeratzeko irizpidea
(30)	$GBA = \left[a \left(\frac{O}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + b \right] \left[\frac{C}{3} + H - \left(O - \frac{S}{8} \right) \right]$	Suposatuz GBA erreketa osorako beharrezko oxigeno edo airearekiko proportzionala dela eta proportzionaltasun konstantea oxigenoarekiko proportzionala dela. (Schuster-en (1931, 1934) prozeduran oinarritua)
(31)	$GBA = \left[a \left(\frac{C}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + b \right] \left[\frac{C}{3} + H - \left(O - \frac{S}{8} \right) \right]$	Suposatuz GBA erreketa osorako beharrezko oxigeno edo airearekiko proportzionala dela eta proportzionaltasun konstantea karbonoarekiko proportzionala dela.
(32)	$GBA = \left[a \left(\frac{C}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + b \left(\frac{H}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + c \left(\frac{O + N}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + d \left(\frac{S}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + e \right] \left[\frac{C}{3} + H - \left(O - \frac{S}{8} \right) \right]$	Suposatuz GBA erreketa osorako beharrezko oxigeno edo airearekiko proportzionala dela eta proportzionaltasun konstanteak osagaiekiko proportzionalak direla.
(33)	$GBA = aC + bH + c \left(\frac{O^2}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + d \left(1 - \frac{Er}{100} \right)$	Suposatuz formazio entalpia oxigeno kantitatearen funtzio lineala dela. (Saylor, 1958)
(34)	$GBA = aC + bH + cO + d \left(\frac{O^2}{1 - \frac{Er}{100}} \right) + eS$	Suposatuz O-ren efektu ez-lineala GBA-n. (Mott eta Spooner, 1940)
(35)	$GBA = aC + b$	Suposatuz GBA soilik karbonoaren funtzio lineala dela. (Tillman, 1978)
(36)	$GBA = a \frac{C}{H} + b(O + N) + cEr$	Suposatuz GBA erregaiaren heldutasun graduarekiko (C/H bezala hartuta) mendekotasuna duela eta O, N eta errausen efektua kontutan harturik (Grabosky eta Bain, 1981)

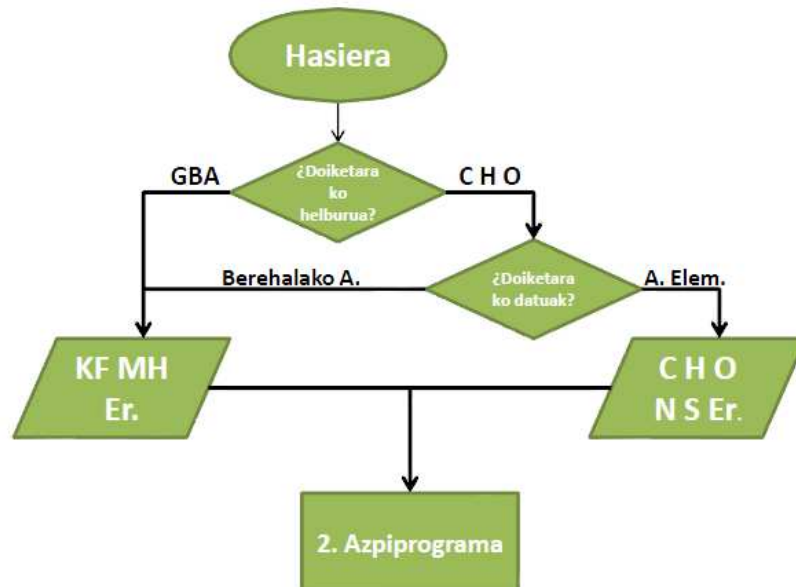
Modu horretan, ekuazio mota ezberdin anitz daude datuen doiketarako eta datuak doitzen dituen ekuazio baten aurkikuntza ia guztiz bermatzen da.

Behin ekuazio sorta osorako parametro guztiak eta errore minimoak kalkulatu, ekuaziorik hoberena eta dagokion errore absolutua, desbideratze errorea eta doiketa grafikoak itzultzen ditu. Horrela, kasu bakoitzerako datuak doitzen dituen ekuaziorik hoberena aurkitu ahal izan da. 7. Irudiko fluxu diagrama orokorrean eta 8. eta 9. Irudietako azpiprogramen fluxu diagrametan azaldutakoa modu argiagoan ikus daiteke. Programa osoa eranskinetan aurkitu ahal izango da.

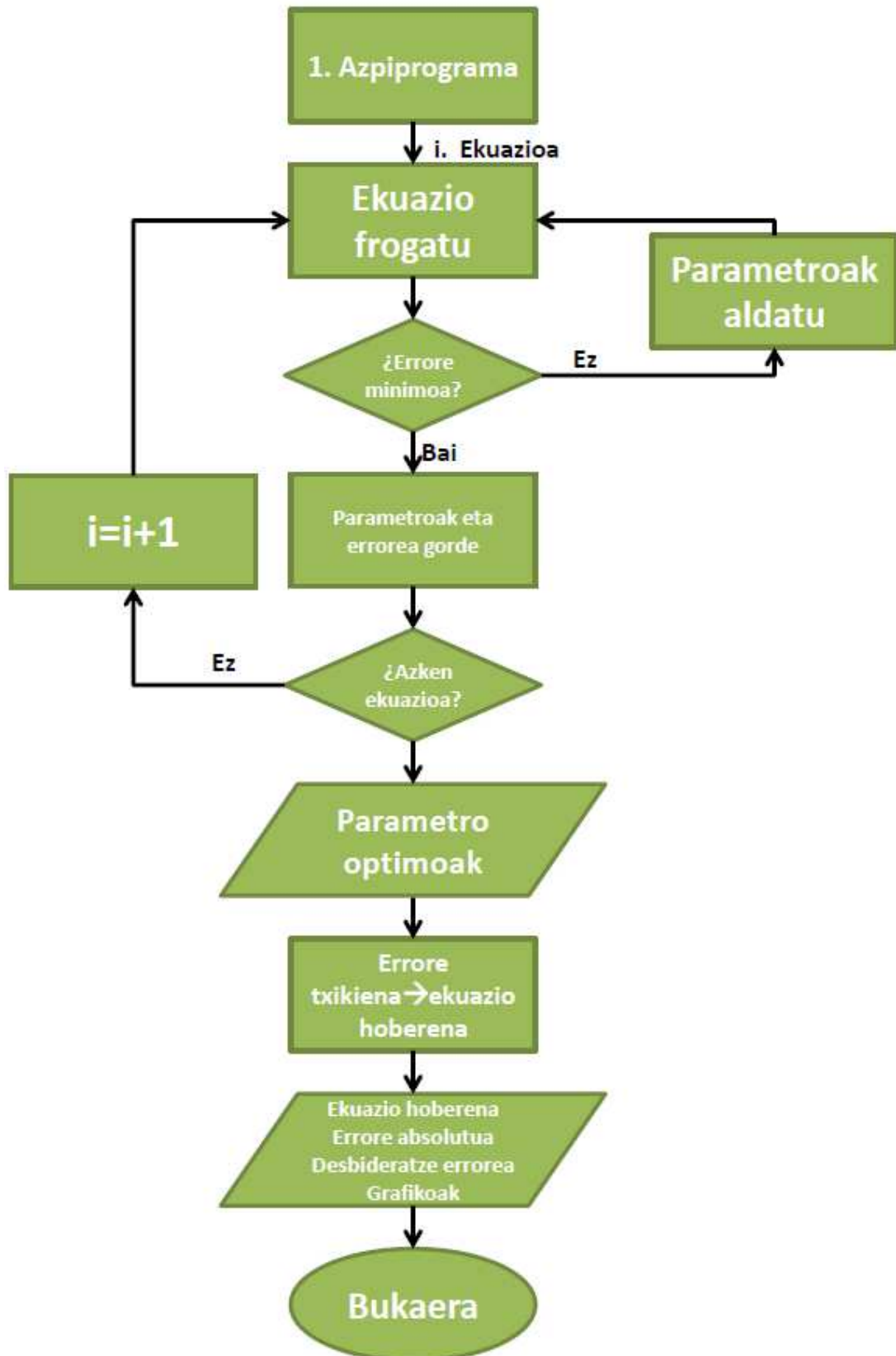
Garrantzitsua da esatea parametro hoberenen doiketa gauzatzeko Nelder-Mead algoritmoan oinarritutako prozedura erabili dela. Metodo honen bidez modu erraz batean helburu funtzio den errorea minimoa egiten duten parametroak aurkitzen dira eta kalkuluak funtzio askotarako inplementatu daitezke.



8. Irudia. Korrelazioen programaren fluxu diagrama orokorra.



9. Irudia. Korrelazio programaren 1. Azpiprogramaren fluxu diagrama.



10. Irudia. Korrelazio programaren 2. Azpiprogramaren fluxu diagrama.

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

4.3. DATUEN DOIKETAREN EMAITZAK

4.3.1. Doiketa analizaturiko 4 biomasekin

Arestian ikusitako programa erabiliz, baina 3 parametroko ekuazioetara mugatuz (4 biomasaren ezaugarriak besterik ez direlako lortu), emaitza hauek lortu dira (10. Taula).

10. Taula. Analizaturiko 4 biomasetarako, analisi mota bakoitzerako ekuazio hoberena, parametroen balioak eta errorea.

Analisi mota	Korrelazio Zb.	a	B	c	BEA (%)
GBA berehalako analisitik	(10)	0.12498	0.20311	-0.04503	0.15
GBA analisi elementaletik	(22)	0.17211	0.34643	-0.05112	0.06
KE berehalako analisitik	C	0.78503	-26.08505	0.51364	0.04
	H (3)	-0.05979	7.59284	0.06883	3.16
	O	0.13509	8.44444	0.46916	0.23

Ikus daitekeenez, lortutako ekuazioak modu onean doitzen dira, erakusten duten errorea %5-ekoa baino txikiagoa da eta hidrogenoaz aparte, beste doiketak %0.25-etik beherakoak dira. Modu horretan, hiru parametrodun ekuazio sinpleekin eta erabilitako lau biomasetarako, GBA eta C, H, O kontzentrazioak konfiantza handiarekin aurrean ahal direla esan daiteke.

Lortutako emaitzak sakontzeko asmoarekin aukera bakoitzeko emaitzak modu zabalago batean adieraziko dira hurrengo lerrotan. Horrela, 11. Taulan konposizio elementalaren doiketan lortutako emaitzak adierazi dira, zeinak 11. Irudian irudikatu diren.

Ikus daitekeen moduan, lehen aipatu bezala, emaitza oso onak lortu dira. Benetako eta kalkulaturiko balioen arteko desbideratzea oso txikiak dira kasu gehienetan. Hidrogenoaren kasurako, aldiz, doiketa ez dela hain ona. Honen zergatia kontzentrazio txikiagoen desbideratze txikiek errorean duten eragin nabarmenean bilatu behar da. Hala ere, kasu honetan ere ez dago desbideratze handirik eta, errorea %5 baino txikiagoa izanik, emaitzak onargarriz hartu daitezke.

Bestalde, modu berean GBA auresateko ekuazioekin lorturiko emaitzak 12. Taulan laburbildu eta 12. eta 13. Irudietan irudikatu dira.

Gainera, datuen zilegitasuna bermatzeko, bibliografian proposatzen diren ekuazioekin konparatu dira (13. Taula) eta, ikus daitekeenez, lan honetan proposatzen diren ekuazioak emaitza hobeak ematen dituzte, prozesaturiko biomasetarako lorturiko ekuazioek duten erabilgarritasun handia plazaratuz.

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

11. Taula. C, H eta O-ren kontzentrazioak, ekuazio hoberenarekin kalkulaturiko balioa eta errorea.

Biomasa mota	C (% pisuan o.l.)			H (% pisuan o.l.)			O (% pisuan o.l.)		
	Esp.	Kalk.	Errorea	Esp.	Kalk.	Errorea	Esp.	Kalk.	Errorea
Pelleta	50.03	50.07	0.07%	5.89	6.19	5.21%	42.69	42.29	-0.92%
Zerrautsa	50.45	50.42	-0.05%	6.52	6.23	-4.38%	42.48	42.77	0.70%
Arroz oskola	38.17	38.18	0.01%	5.17	5.21	0.85%	33.83	33.79	-0.14%
Rumex	45.85	45.84	-0.02%	6.04	5.90	-2.20%	38.96	39.09	0.35%

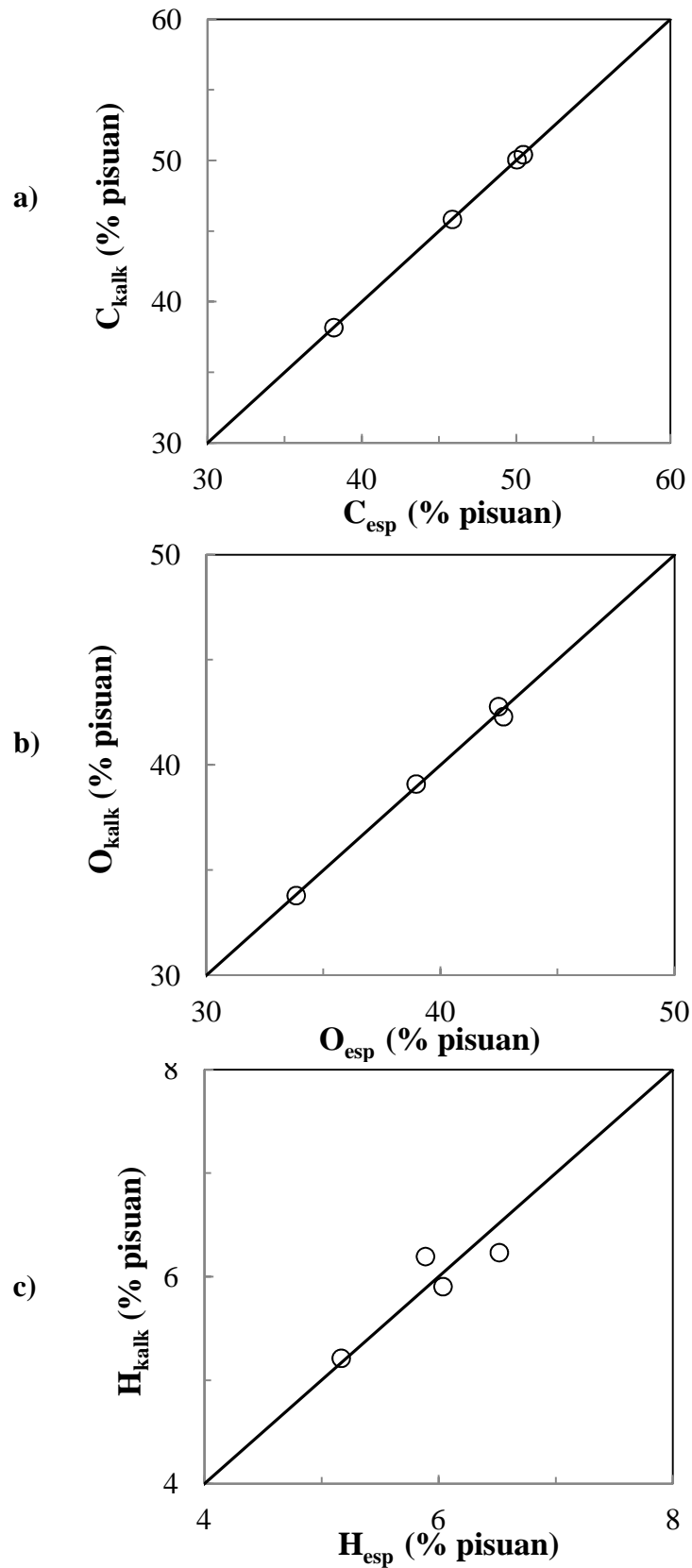
12. Taula. GBA auresateko ekuazio hoberenen emaitzak eta errorea.

Biomasa mota	GBA Berehalako A.-tik			GBA A. Elementaletik		
	Esp.	Kalk.	Errorea	Esp.	Kalk.	Errorea
Pelleta	18.74	18.68	-0.27%	18.74	18.74	0.02%
Zerrautsa	18.85	18.88	0.19%	18.85	18.83	-0.09%
Arroz oskola	13.76	13.76	-0.03%	13.76	13.76	-0.02%
Rumex	16.91	16.93	0.10%	16.91	16.93	0.09%

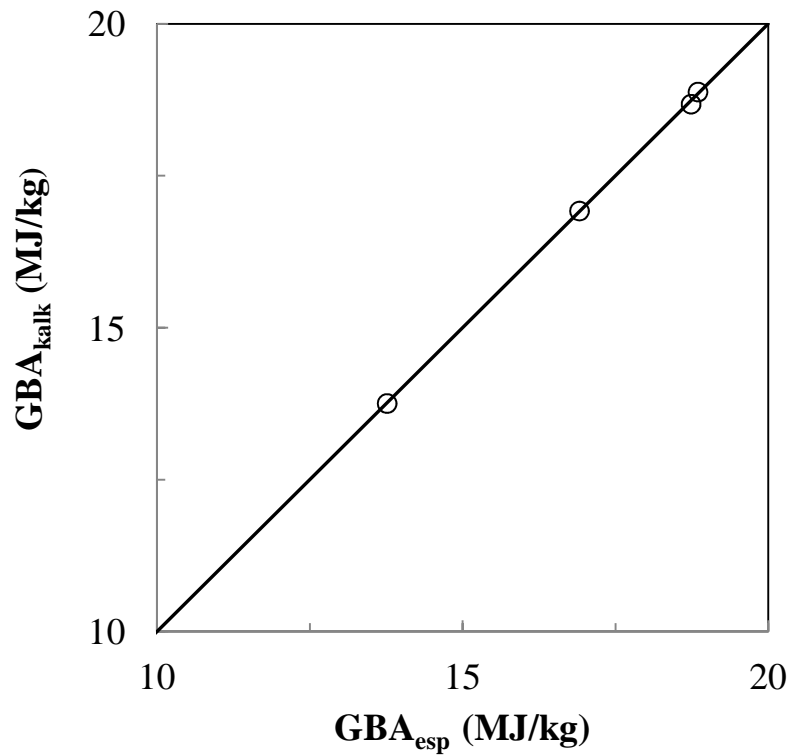
13. Taula. Bibliografian proposaturiko ekuazioak eta hauek duten errorea (Channiwala eta Parikh, 2002; Parikh eta lag., 2005; Parikh eta lag., 2007).

Analisi mota	Ek. Zb.	Proposaturiko ekuazioa	BEA (%)
GBA berehalako analisitik	(37)	$GBA = 0.3536KF + 0.1559MH - 0.0078Er$	3.92
GBA analisi elementaletik	(38)	$GBA = 0.3491C + 1.1783H + 0.1005S - 0.1034O - 0.0151N - 0.0211Er$	10.48
KE berehalako analisitik	C (38)	$C = 0.637KF + 0.455MH$	0.58
	H (39)	$H = 0.052KF + 0.062MH$	6.65
	O (40)	$O = 0.304KF + 0.476MH$	3.74

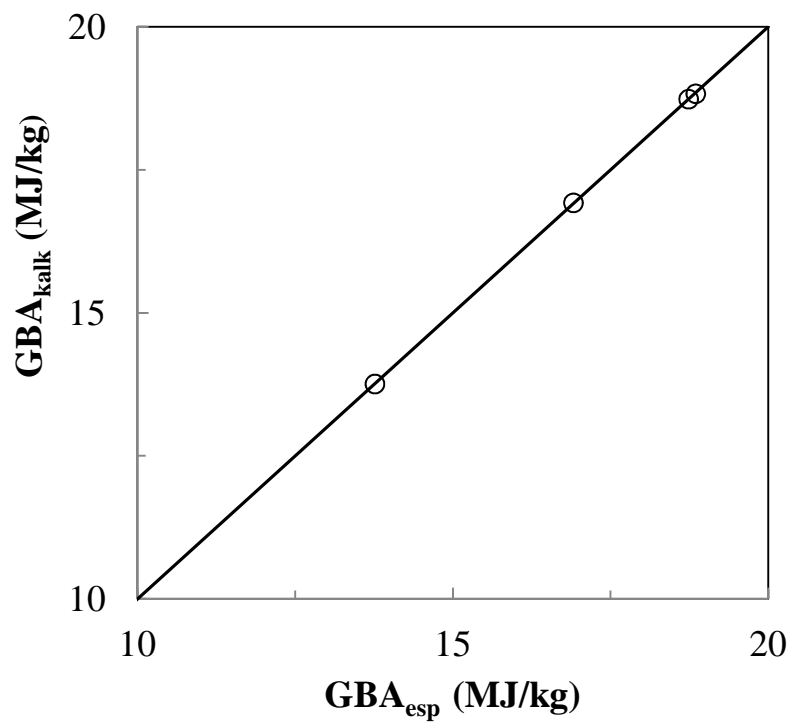
Horrekin guztiarekin, lorturiko ekuazioak sinpleak eta nahi diren ezaugarrian auresateko oso egokiak direla egiaztatzen da, egiteko errazak diren analisi elementaletik eta, bereziki, berehalako analisitik bai GBA, bai konposizio elementala modu egokian auresateko aukera bikaina emanez.



11. Irudia. Kalkulatoriko balioak vs balio esperimentalak a) karbonorako, b) Oxigenorako eta c) hidrogenorako.



12. Irudia. Kalkulaturiko GBA vs GBA esperimentalaren berehalako analitiko lortutako datuetatik abiatuta.



13. Irudia. Kalkulaturiko GBA vs GBA esperimentalaren analisi elementaletik lortutako datuetatik abiatuta.

4.3.2. Doiketa bibliografiatik ateratako biomasa ezberdinekin

Lortu diren emaitza onak kontutan izanik, ekuazio berdinak bibliografian lortutako biomasa ezberdinen datuak doitzeko erabili ahal direla pentsatu da. Horrela, 15. Taulan ikus daitezkeen datuak bildu dira, GBA auresateko 31 puntu lorturik eta konposizio elementalara auresateko 46. Lan honetan erabili diren lau biomasak ere barne egon dira analisi honetan.

Egindako hasierako doiketetan, erabilitako ekuazioak ikatzak modu desegokian doitzen zituztela ikusi zen, beraz, doiketarako biomasa hondakinak erabili dira bakarrik. Horrek lortutako ekuazioek duten muga ezartzen du, hondakin biomasikoetarako bakarrik balio duela, alegia.

Modu horretan, azaldutako programak erabiliz baina arestian erabilitako ekuazioekin (3, 10 eta 22 ekuazioekin) bibliografiako datuak doitu dira, datu guztiak hobeto auresaten dituzten parametro berriak lorturik (14. Taula).

14. Taula. Bibliografiako biomasetarako, analisi mota bakoitzerako ekuazio hoherena, parametroen balioak eta errorea.

Analisi mota		Korrelazio Zb.	a	b	c	BEA (%)
GBA berehalako analisitik		(10)	0.21815	0.19247	-0.05555	4.23
GBA analisi elementaletik		(22)	0.75602	0.05398	-0.05124	4.16
KE	C		1.18953	-36.96416	3.83	3.83
berehalako	H	(3)	-0.04948	4.94612	7.31	7.31
analisitik	O		-0.24765	33.51970	4.39	4.39

Ikusten denez, ekuazio berdinetarako parametro berriak erabiliz doiketa nahiko egokia lortzen da kasu guztietan, hidrogenoa salbu, errorea %5 baino txikiagoa baita.

Lehen egin den modu berean, emaitzak sakontzeko nahiarekin hiru helburuetarako biomasa guztietarako emaitzak adierazi dira (16. Taula) eta hauek irudikatu dira (14-17. Irudiak). Grafikoetan, lan honetan analizatu diren pellet, arroz oskola, rumex eta zerrautsak hiruki berdeen bidez desberdindu dira, ekuazio hauek biomasa hauekin bereziki duten doiketa ikusteko.

Emaitzei erreparatuta, argi dago ekuazioek biomasa gehien GBA eta konposizioa modu egokian auresaten dutela. Baina badaude zenbait biomasa non erroreak besteenak baino handiagoak diren. Kafe, kotoi eta soja oskolek, esaterako, konposizio elementalaren doiketetan %10 baino handiagoko errorea erakusten dute eta tratamendu gabeko olibek eta artatxiki garau hondakinek GBA-ren kalkuluan desbiderapen nabarmenagoa erakusten dute. Gainera, logikoa denez, lan honetako biomasen datuak ez ditu lehen adierazitako ekuazioak bezain ondo doitzen. Hala eta guztiz ere, lehen jarritako %5-eko errore mugaren azpitik daude doiketa gehienak.

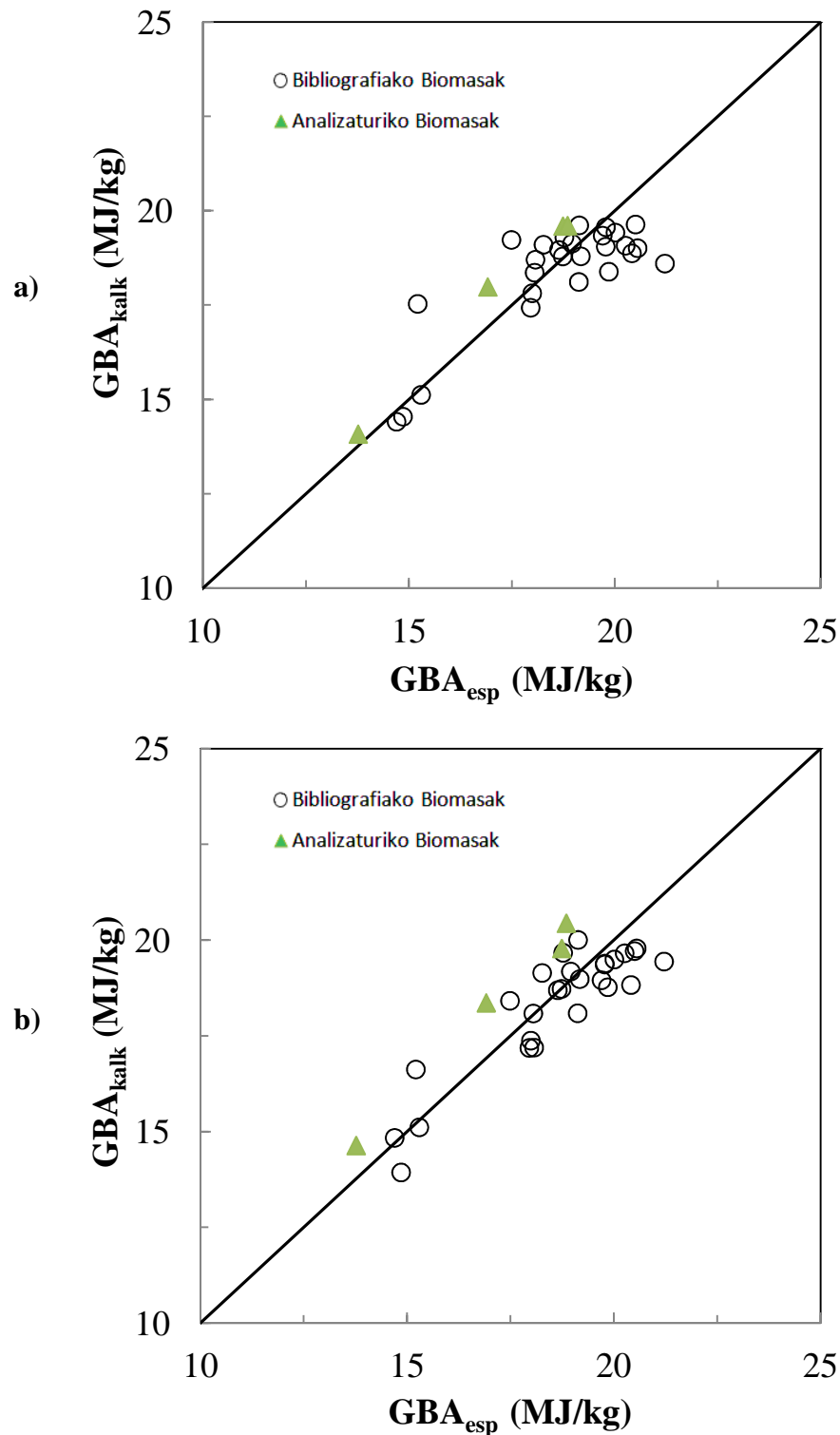
Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

15. Taula. Bibliografiako biomasaren ezberdinetarako berehala azalduko analisiaren, konposizio elementalaren eta CIBA-ren datuak
ZB **FC** **VM** **CSH** **CS** **O** **N** **S** **(Mg)**
(Chamiwala & Parikh, 2002; Link et al., 2014; Vassilev, Baxter, Anderson & Vassileva, 2010).

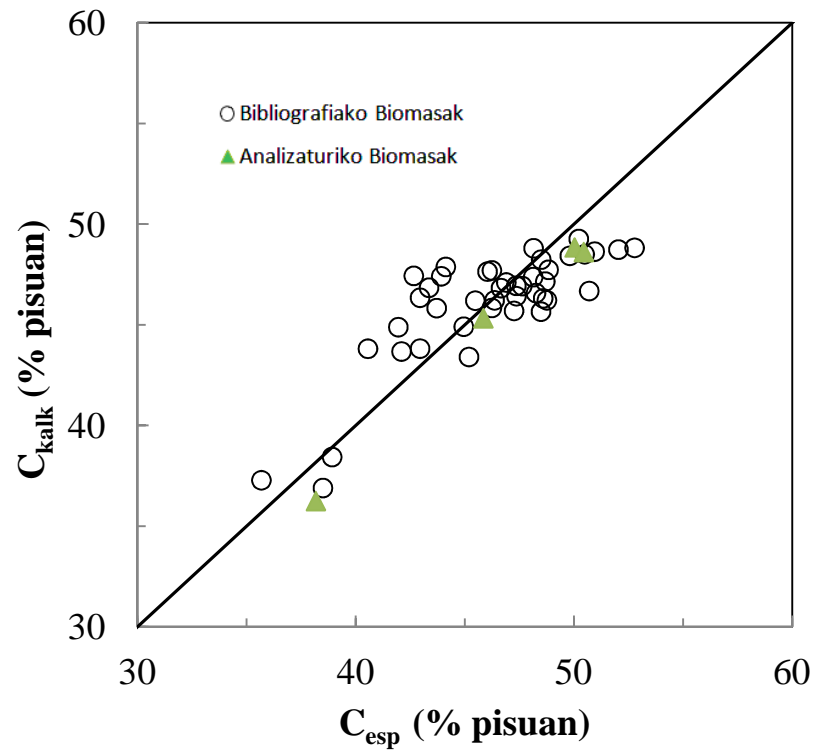
1	Pelietak	17.25	82.43	0.32	6.52	42.48	0.22	18.848
2	Zerarrutsa	17.25	82.43	0.32	6.52	42.48	0.22	18.848
3	Arroz oskola	11.38	64.43	22.19	5.17	33.83	0.54	13.762
4	Pamex	20.46	72.34	7.20	6.04	38.96	1.42	16.509
5	Kannabera	16.53	80.26	3.21	5.66	43.14	0.44	20.410
6	Pina Felleak	16.49	83.29	0.22	5.85	42.97	0.32	19.130
7	Douglas izei egur tupak	20.99	72.28	6.13	4.83	39.25	0.63	19.120
8	Tratamenduko olibak	19.40	76.00	4.60	5.89	36.97	1.36	21.210
9	Koko azala	22.10	77.19	0.71	5.70	43.37	0.00	20.498
10	Alhorrat azala	18.78	79.98	1.70	5.64	47.97	0.41	20.608
11	Kakaxete azale	21.60	72.70	5.70	5.64	39.49	0.58	19.849
12	Subelatu egur freskoa	15.20	83.60	1.12	5.80	46.59	0.25	19.698
13	Subelatu egur siktua	18.32	81.02	1.20	5.87	44.73	0.03	19.777
14	Enkaliptr egurra	21.50	75.35	3.35	5.82	44.44	0.30	18.640
15	Casurina egurra	19.58	78.58	1.83	6.24	43.12	0.31	18.769
16	Rambur egurra	11.24	86.60	1.95	48.76	6.37	0.70	20.547
17	Neena Egurra	12.19	85.86	1.93	48.26	6.27	0.66	20.257
18	Maugo egurra	11.36	85.64	2.98	46.24	6.08	0.28	19.170
19	Jujuba egurra	14.14	83.63	2.32	47.63	6.12	0.15	19.773
20	Ply egurra	15.77	82.14	2.09	48.15	5.87	1.43	18.553
21	Egur blokea	14.59	83.32	2.09	46.90	6.07	0.95	18.261
22	Arriaxiki lastoa	16.45	78.78	5.77	43.71	5.85	0.01	18.647
23	Geni lastoe	10.98	82.12	6.90	42.95	5.35	0.00	17.988
24	Jawar lastoa	13.15	75.97	8.88	42.10	5.60	0.04	17.551
25	Auro lastoa	13.91	65.70	20.38	35.68	4.62	0.28	14.850
26	Arroz oskola	16.95	61.81	21.24	38.30	3.20	0.43	14.693
27	Arroz oskola zehaz	19.53	61.83	18.64	38.92	5.12	0.55	15.290
28	Koko muna zintza	28.82	66.02	5.16	43.36	4.98	1.63	18.667
29	Azultre kanabera	15.15	83.66	3.20	45.48	5.96	0.15	18.730
30	Artaxiki garu bostak	14.50	77.10	8.40	40.56	5.24	0.40	15.206
31	Kokoi luodiak	14.97	83.41	1.61	42.66	6.05	0.18	17.551
32	Enkaliptr azala	17.20	78.00	4.80	46.71	5.47	0.29	17.483
33	Pina azala	24.40	73.70	1.90	52.86	5.80	0.29	17.483
34	Pina zerarrutsa	16.80	83.10	0.10	50.99	42.90	0.10	17.483
35	Iesi egurra	18.30	81.20	0.50	52.04	6.07	0.30	17.483
36	Bana belarra	16.60	73.60	9.80	45.74	5.57	0.82	17.483
37	Kenaf'lehar	17.00	79.40	3.60	46.83	5.81	0.15	17.483
38	Sorgo gozo belarra	18.10	77.20	4.70	47.61	5.84	0.38	17.483
39	altia lastoa	12.80	88.90	5.30	47.61	38.93	2.67	17.483
40	Arto lastoa	19.20	73.10	7.70	45.48	5.98	0.65	17.483
41	Kafe eskola	20.70	76.50	2.80	44.77	4.78	1.07	17.483
42	Koton oskola	18.20	78.40	3.40	48.83	8.14	1.36	17.483
43	Zape oskola	23.30	72.60	4.10	44.08	8.85	0.19	17.483
44	Piper hondakina	27.00	64.80	8.20	42.13	2.98	3.17	17.483
45	Soja oskola	20.30	74.30	5.40	43.20	6.37	0.86	17.483
46	Eklorre oskola	20.90	76.00	3.10	49.01	5.35	1.07	17.483

16. Taula. Bibliografiako biomasa ezberdinetarako, konposizio elementalaren eta GBA-ren ekuazioen bidezko kalkularen emaitzak eta hauen errorea.

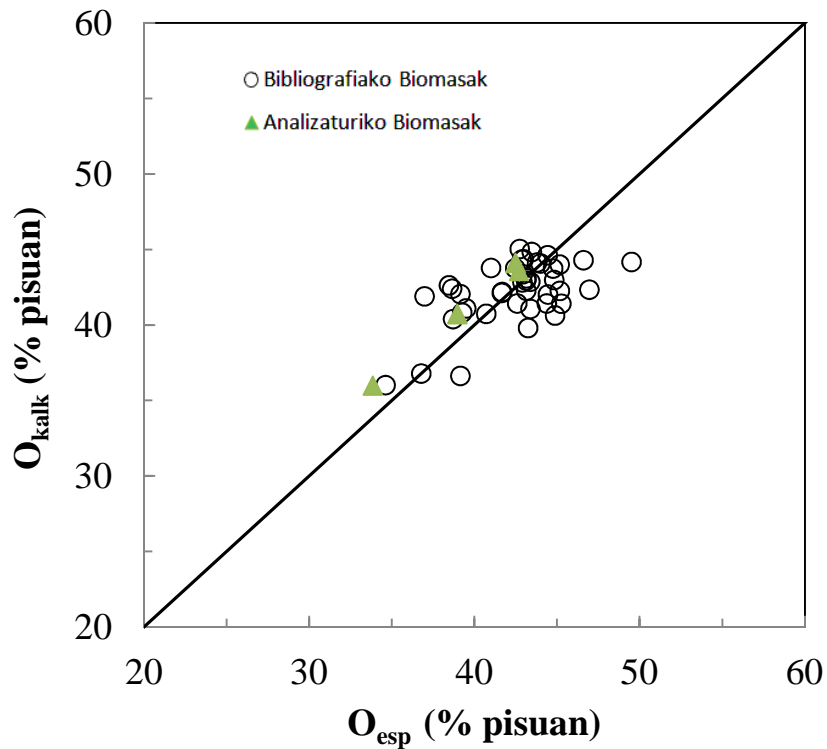
Zb.	Biomasa mota	C (% pisuan o.l.)		H (% pisuan o.l.)		O (% pisuan o.l.)		GBA, B, A-dik (o.l.) (ΔU/pe)		GBA, A, E-dik (o.l.) (ΔU/pe)				
		E	K	E	K	E	K	E	K	E	K			
1	Pellenak	50.03	48.85	-2.36%	5.89	5.86	-0.50%	42.69	41.57	18.735	19.60	18.735	19.75	5.61%
2	Zerantza	50.45	48.83	-3.62%	6.52	5.95	-8.67%	42.48	44.11	18.848	19.61	18.848	20.44	8.47%
3	Arroz oskola	38.17	36.25	-5.04%	5.17	4.88	-5.66%	33.83	35.98	13.762	14.09	13.762	14.64	6.38%
4	Rimexa	45.85	45.34	-1.13%	6.04	5.45	-9.70%	38.96	40.77	16.909	17.99	16.909	18.37	8.66%
5	Kainabea	47.36	46.95	0.87%	5.66	5.82	2.81%	43.14	43.00	20.410	18.88	20.410	18.83	7.73%
6	Piut Pellotas	50.49	48.51	-3.92%	5.85	5.99	2.40%	42.97	44.35	19.130	19.62	19.130	20.01	4.60%
7	Longas ize egur txupak	48.49	49.66	2.44%	4.85	5.46	12.59%	39.25	40.81	19.120	18.12	19.120	18.09	-5.31%
8	Tratamendurik gabe hondatuta	50.70	46.69	-7.92%	5.89	5.62	-4.54%	36.97	41.89	21.210	18.60	21.210	19.44	8.33%
9	Koko azala	50.77	49.77	-1.90%	5.70	5.73	0.45%	43.37	43.86	20.498	19.61	20.498	19.77	3.80%
10	Akharot azala	49.81	48.43	-2.76%	5.64	5.83	3.38%	42.92	43.36	20.008	19.42	20.008	19.50	2.55%
11	Kakahute azala	48.39	46.32	-4.67%	5.64	5.49	-2.60%	39.49	41.10	19.849	18.39	19.849	18.77	5.42%
12	Subabul egur freskoa	46.24	47.71	3.18%	5.80	6.00	3.43%	46.39	44.29	19.698	19.34	19.698	18.96	-3.17%
13	Subabul egur salua	48.15	48.81	1.37%	5.87	5.89	0.27%	44.75	44.74	19.777	19.57	19.777	19.39	-1.94%
14	Eukalipto egurra	46.04	47.65	3.50%	5.82	5.62	-3.46%	41.41	42.02	18.610	18.96	18.610	18.70	0.31%
15	Casuma egurra	48.30	48.25	-0.12%	6.24	5.76	-7.62%	43.12	42.94	18.769	19.29	18.769	19.67	4.82%
16	Bambu egurra	48.76	46.23	-5.20%	6.32	6.15	-2.72%	42.73	45.03	20.347	19.01	20.347	19.79	-3.70%
17	Neem Egurra	48.26	46.58	-3.47%	6.27	6.11	-2.56%	43.46	44.83	20.257	19.08	20.257	19.66	2.94%
18	Mango egurra	46.74	45.85	-1.89%	6.08	6.09	0.14%	44.47	44.61	19.170	18.80	19.170	18.94	0.96%
19	Jamba egurra	47.63	46.93	-1.47%	6.12	5.99	-2.11%	43.78	41.14	19.773	19.03	19.773	19.37	2.05%
20	Fly egurra	48.13	47.38	-1.57%	5.87	5.92	0.84%	42.46	43.75	18.955	19.13	18.955	19.18	1.21%
21	block egurra	46.90	47.11	0.45%	6.07	5.98	-1.54%	43.99	44.07	18.261	19.10	18.261	19.12	4.86%
22	Arnatxiki lastoa	45.71	45.84	0.28%	5.85	5.71	-2.48%	43.16	42.26	18.047	18.36	18.047	18.09	0.23%
23	Gari lastoa	42.65	43.82	2.83%	5.35	5.87	9.63%	44.82	42.98	17.988	17.82	17.988	17.38	-3.38%
24	Javer lastoa	42.10	43.68	3.76%	5.60	5.55	-0.81%	43.38	41.06	17.951	17.43	17.951	17.19	4.24%
25	Arroz lastoa	33.68	37.29	4.30%	4.62	4.96	7.31%	39.14	36.62	14.830	14.53	14.830	13.94	-6.14%
26	Arroz oskola	38.30	36.90	-3.66%	5.20	4.84	-6.84%	34.61	36.01	14.693	14.41	14.693	14.84	1.01%
27	Arroz oskola zahia	38.92	38.44	-1.24%	5.12	4.92	-3.83%	36.77	36.78	15.290	15.13	15.290	15.12	-1.14%
28	Koko mazu lastoa	43.36	46.85	8.05%	4.98	5.35	7.52%	44.87	40.63	18.067	18.71	18.067	17.20	-4.82%
29	Arzakre kumabea	45.48	46.21	1.60%	5.96	5.98	0.39%	45.15	44.00	18.730	18.79	18.730	18.72	0.00%
30	Arnatxiki egur hondakinak	40.36	43.82	8.03%	5.24	5.61	7.00%	45.25	41.41	18.498	17.54	18.498	16.63	9.34%
31	Kotoi hondakinak	42.66	47.44	11.20%	6.05	5.99	-1.06%	49.30	44.17	17.483	19.23	17.483	18.42	5.36%
32	Eukalipto azala	46.71	46.22	-1.05%	5.47	5.70	4.24%	43.45	42.28	18.730	18.79	18.730	18.72	0.00%
33	Piut azala	52.86	48.83	-7.63%	5.80	5.50	-5.50%	39.21	42.04	20.410	18.88	20.410	18.83	7.73%
34	Piut zerantza	50.99	48.64	-4.61%	5.90	5.99	1.46%	42.90	44.32	19.130	19.62	19.130	20.01	4.60%
35	Izei egurra	52.04	48.74	-6.34%	6.07	5.89	-2.91%	41.00	43.77	16.909	17.99	16.909	18.37	8.66%
36	Enna belarra	45.74	43.41	-5.10%	5.57	5.45	-2.21%	39.17	40.39	18.047	18.36	18.047	18.09	0.23%
37	Kenaf belarra	46.83	46.83	0.00%	5.81	5.78	-0.51%	43.06	42.82	18.067	18.71	18.067	17.20	-4.82%
38	Songo gozo oskola	47.61	46.43	-2.48%	5.84	5.67	-2.90%	41.86	42.12	18.730	18.79	18.730	18.72	0.00%
39	Alfalfa lastoa	47.61	45.70	-4.02%	6.01	5.73	-4.64%	38.93	42.40	18.730	18.79	18.730	18.72	0.00%
40	Arto lastoa	45.48	44.91	-1.25%	5.98	5.47	-8.53%	41.18	40.74	18.730	18.79	18.730	18.72	0.00%
41	Kafe oskola	44.27	47.88	8.16%	4.78	5.67	18.63%	47.10	42.34	18.047	18.36	18.047	18.09	0.23%
42	Kotoi oskola	48.83	47.16	-3.43%	8.14	5.74	-29.53%	38.56	42.62	10.531		10.531		
43	Ziape oskola	44.08	47.42	7.57%	8.85	5.52	-37.70%	42.73	41.42					
44	Piper hondakina	42.35	44.89	5.07%	2.98	3.26	76.57%	43.85	39.80					
45	Soin oskola	43.20	46.35	7.31%	6.37	5.55	-12.97%	44.62	41.42					
46	Ekilene oskola	49.01	47.74	-2.60%	5.33	5.65	5.96%	41.80	43.18					



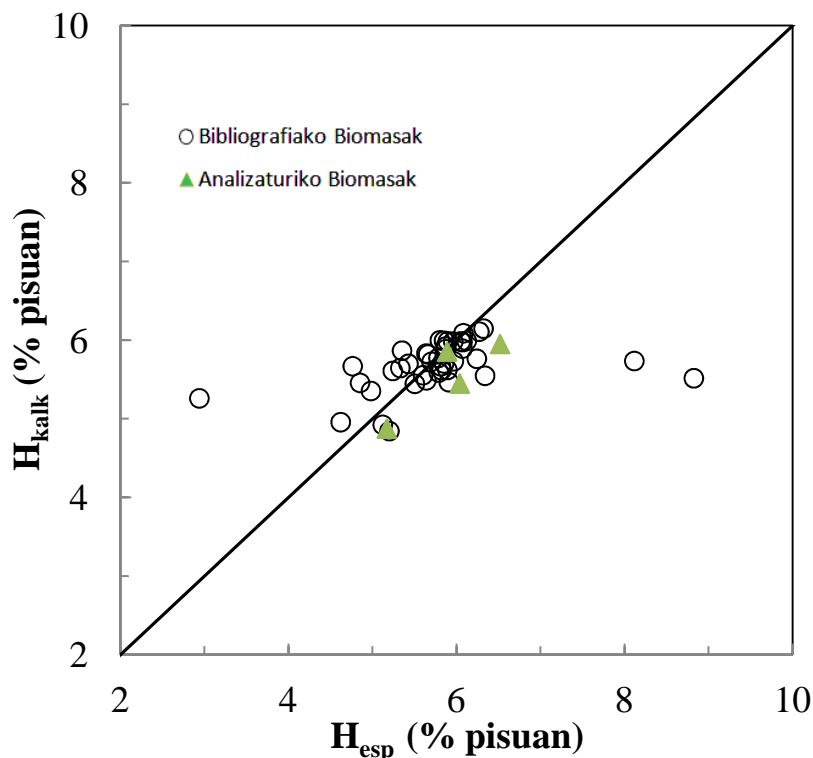
14. Irudia. Kalkulaturiko GBA vs GBA esperimental a) berehalako analisitik lortutako datuetatik abiatuta eta b) analisi elementaletik lortutako datuetatik abiatuta.



15. Irudia. Bibliografiako biomasetarako, kalkulaturiko C vs C esperimentala berehalako analisitik lortutako datuetatik abiatuta.



16. Irudia. Bibliografiako biomasetarako, kalkulaturiko O vs O esperimentala berehalako analisitik lortutako datuetatik abiatuta.



17. Irudia. Bibliografiako biomasetarako, kalkulaturiko H vs H esperimentalaren berehalako analitiko lortutako datuetatik abiatuta.

Azpimarragarria da ekuazio berri hauek lau biomasetarako doitutako emaitzen joera berdina erakusten dutela. Izan ere, GBA konposizio elementala baino hobeto doitzen dute, AE-tik lorturiko emaitzak BA-tik lorturikoak baino arinki hobeak dira, karbonoa hoberean doitzen den elementua da eta hidrogenoak errore handiena erakusten duen parametroa da. Honek adierazten du ekuazioak hautatzeko erabili diren oinarriek bai lau biomasetarako, bai bibliografiako biomasa orotarako alde on eta txar berdinak mantentzen dituztela.

Bestalde, lehen egin den legez, lan honetan lortu diren emaitzen zilegitasuna bermatzeko bibliografiako ekuazioekin lortutakoekin konparatu nahi izan dira. Horrela, 17. Taulan lehen adierazi diren bibliografiako ekuazioekin lorturiko errorea adierazi da.

17. Taula. Bibliografiako biomasa guztietarako, Bibliografian proposaturiko ekuazioak eta hauek duten errorea (Channiwala eta Parikh, 2002; Parikh eta lag., 2005; Parikh eta lag., 2007).

Analisi mota	Ek. Zb.	BEA (%)
GBA berehalako analitiko	(37)	5.94
GBA analisi elementaletik	(38)	5.10
	C (38)	3.70
KE berehalako analitiko	H (39)	4.55
	O (40)	4.21

Ikus daitekeen legez, GBA-ren kalkulurako lan honetan proposaturiko ekuazioek doiketa hobea erakusten dute bibliografiakoak baino baina, kasu honetan, konposizio elementala auresateko ekuazioekin Parikh eta lag.-k (2007) proposaturikoekin baino emaitza txarragoak lortzen dira. Beraz, lan honetako ekuazioek GBA-ren kalkulurako erakusten dute datuak lortzeko potentzial handiena eta, modu horretan, hauexek dira lan honetan lortutako ekarpen handienetarikoak.

Honekin guztiarekin hautatuko ekuazioen erabilgarritasuna bermatzen da bibliografiako biomasen GBA eta konposizio elementala auresateko eta, bereziki, analizatu diren 4 biomasen ezaugarriak auresateko. Honek berehalako analisia bezalako analisi sinple baten emaitzetatik zailagoak diren analisi elemental eta kalorimetriaren datuak konfiantza handiarekin auresateko aukera ematen du, daturik lortu ezin daitekeen biomasen ezaugarriak modu egokian auresatea baimentzen du, eta, lan honen helburu den operazio mapa kalkulatzeko behar den GBA kalkulatzeko aukera erraz eta zehatza ematen du.

**5. OPERAZIO
MAPAREN
LORPENA**

5. OPERAZIO MAPAREN LORPENA

5.1. BERO BALANTZEA

Behin biomasen ezaugarriak auresateko ekuazio fidagarriak aurkituta, lanaren azkeneko helburua den operazio mapen kalkulua gauzatu da. Tresna honi esker, iturri ohantze konikoan erretzen den edozein biomasetarako, bere emaria eta aire emaria jakinez irteerako gasek izango duten tenperatura eta askatu dezaketen energia maximoa auresatea posible izango da.

Horrela, operazio mapa fidagarriak lortzeko helburuarekin, beharrezkoa da ondo definituriko bero balantzea egitea eta, lehenik eta behin, funtsezkoa da programaren oinarria izan den bero balantzean egindako suposizioak egokiak izatea. Hauexek:

- Biomasaren formula enpirikoa honakoa izatea: $CH_xO_yN_zS_w$.
- Errekuntza osoa gertatzen da, irteerako gasak O_2 , N_2 , CO_2 , H_2O (v), SO_2 eta NO_2 izanik.
- NO_2 guztia biomasak duen N-tik dator.
- Biomasa heze sartzen da T_a tenperaturan eta airea T_c tenperaturan.
- Biomasa guztietarako C_p -a berdina da.
- Alboko eta goiko paretetatik gertatzen diren galerak kontutan hartzen dira.
- Erreketa bat-batekoa da eta T_c tenperaturan gertatzen da.
- Produktuak T_c -tik T_p -ra berotzen dira.
- Erregailuaren tenperatura uniforme da T_u tenperaturan.
- h_i eta h_{oa} konbekzio koefizienteak ez dira tenperaturarekin aldatzen.
- Metalaren eta isolatzailearen konduktibitateen tenperaturarekiko aldaketa lineala da.
- Entalpien kalkulurako erreferentzia tenperatura T_a da.
- Altzairu/isolatzaile interfasearen tenperatura T_p -ren %95-a da eta isolatzaile/aire interfasearena $3T_a$. (Altzairu eta isolatzailearen konduktibitate termikoen kalkuluan bakarrik du eragina.
- Irteerako gasen entalpia emaria T_a -raino hoztean askatzen duten beroa bezala kalkulatu da, uraren kondentsaziorik gabe.

Behin suposizio egokiak eginik, kalkuluetarako beharrezkoak diren parametroak zehaztu beharra dago. Hauen artean konstanteak diren parametro batzuk daude, ur likidoaren bero espezifikoa eta bero latentea kasu, zeinetarako 4180 J/kg °C eta $2.26 \cdot 10^6$ J/kg balioak erabili diren, hurrenez hurren (Smith, Van Ness, & Abbott, 2004). Bestalde, Temperaturaren funtzio diren zenbait aldagai era badaude, zeinak Smith eta lag.-k (2004) proposaturiko ekuazioen bidez zehaztu diren, temperatura °C-tan egonik:

$$C_p^{O_2} \left(\frac{J}{kg \text{ } ^\circ C} \right) = \frac{8314}{32} (3.639 + 0.506 \cdot 10^{-3} (273.15 + T) - 0.227 \cdot 10^5 (273.15 + T)^{-2}) \quad (41)$$

$$C_p^{N_2} \left(\frac{J}{kg \text{ } ^\circ C} \right) = \frac{8314}{28} (3.280 + 0.593 \cdot 10^{-3} (273.15 + T) - 0.040 \cdot 10^5 (273.15 + T)^{-2}) \quad (42)$$

$$C_p^{H_2O(v)} \left(\frac{J}{kg \text{ } ^\circ C} \right) = \frac{8314}{18} (3.470 + 1.450 \cdot 10^{-3} (273.15 + T) - 0.121 \cdot 10^5 (273.15 + T)^{-2}) \quad (43)$$

$$C_p^{CO_2} \left(\frac{J}{kg \text{ } ^\circ C} \right) = \frac{8314}{44} (5.457 + 1.045 \cdot 10^{-3} (273.15 + T) - 1.157 \cdot 10^5 (273.15 + T)^{-2}) \quad (44)$$

$$C_p^{NO_2} \left(\frac{J}{kg \text{ } ^\circ C} \right) = \frac{8314}{46} (4.982 + 1.195 \cdot 10^{-3} (273.15 + T) - 0.792 \cdot 10^5 (273.15 + T)^{-2}) \quad (45)$$

$$C_p^{SO_2} \left(\frac{J}{kg \text{ } ^\circ C} \right) = \frac{8314}{64} (5.699 + 0.801 \cdot 10^{-3} (273.15 + T) - 1.015 \cdot 10^5 (273.15 + T)^{-2}) \quad (46)$$

$$k_{iso} \left(\frac{W}{m \text{ } ^\circ C} \right) = 1000 (6.35 \cdot 10^{-5} (1.0011762^T)) \quad (47)$$

$$k_{ss} \left(\frac{W}{m \text{ } ^\circ C} \right) = 1000 (1.16 \cdot 10^{-2} + (6.117 \cdot 10^{-6} T)) \quad (48)$$

Parametro konstante eta menpeko huez gain, badira sistemaren eta ingurunearen baldintzen arabera diren beste aldagai batzuk: parametro geometrikoak, konbektzio koefizienteak, ingurune eta konbustio Temperaturak, biomasa eta aire emariak eta airearen hezetasuna.

Azkenik, erabilitako biomasaren arabera diren parametro batzuk beharrezkoak dira ere bai: formula enpirikoaren baloreak, zeinak analisi elementaleko datuetatik (5. Taula) kalkulatu diren; erreakzio beroa, zeina analisi elementaleko balioetatik (22) ekuazioa erabiliz kalkulatu den; hezetasuna (3. Taula), eta biomasen bero espezifikoa, zein erabilitako lau biomasetarako 1550 J/kg °C-ko balioa hartu den.

Behin behar diren balore guztiak lorturik, bero balantzea gauzatzeko behar diren aurretiazko kalkuluak egin behar dira. Horrela, lehendabizi gasen bolumen molarra, eta aire hezearen oxigeno eta nitrogeno proportzioa kalkulatu da, atmosfera bateko presiorako eta temperatura °C-tan egonik:

$$V_{mol}(l) = 0.082(273 + T_a) \quad (49)$$

$$X_{O_2} = \frac{21}{100 + h_{aire}} \quad (50)$$

$$X_{N_2} = \frac{79}{100 + h_{aire}} \quad (51)$$

Ondoren behar den aire estekiometrika kalkulatu da

$$m_{O_2} \left(\frac{kg}{s} \right) = \frac{Q_{aire}(100 - h_{aire})X_{O_2}M_{O_2}}{100V_{mol}} \quad (52)$$

$$m_{O_2(est)} \left(\frac{kg}{s} \right) = q_{bio} \frac{\left(1 + \frac{H_x}{4} + N_z + S_w - \frac{O_y}{2} \right) M_{O_2}}{M_C + M_H H_x + M_O O_y + M_N N_z + M_S S_w} \quad (53)$$

Eta behin hau kalkulaturik, irteerako gasen emariak lortu daitezke:

$$m_{O_2(gehi)} \left(\frac{kg}{s} \right) = m_{O_2} - m_{O_2(est)} \quad (54)$$

$$m_{H_2O(bio)} \left(\frac{kg}{s} \right) = \frac{q_{bio} h_{bio}}{60000 \cdot 100} \quad (55)$$

$$m_{H_2O(aire)} \left(\frac{kg}{s} \right) = \frac{Q_{aire} h_{aire} M_{H_2O}}{V_{mol}} \quad (56)$$

$$m_{H_2O(err)} \left(\frac{kg}{s} \right) = q_{bio} \frac{\frac{H_x}{2} M_{H_2O}}{M_C + M_H H_x + M_O O_y + M_N N_z + M_S S_w} \quad (57)$$

$$m_{N_2} \left(\frac{kg}{s} \right) = \frac{Q_{aire}(100 - h_{aire})X_{N_2}M_{N_2}}{100V_{mol}} \quad (58)$$

$$m_{CO_2} \left(\frac{kg}{s} \right) = q_{bio} \frac{M_{CO_2}}{M_C + M_H H_x + M_O O_y + M_N N_z + M_S S_w} \quad (59)$$

$$m_{NO_2} \left(\frac{kg}{s} \right) = q_{bio} \frac{N_z M_{NO_2}}{M_C + M_H H_x + M_O O_y + M_N N_z + M_S S_w} \quad (60)$$

$$m_{SO_2} \left(\frac{kg}{s} \right) = q_{bio} \frac{S_w M_{SO_2}}{M_C + M_H H_x + M_O O_y + M_N N_z + M_S S_w} \quad (61)$$

Non irteerako ur kantitate totala biomasak duenaren, aireak duenaren eta erreazioan sortutakoaren batura izango den, baina fase ezberdinetan daudela kontutan harturik.

Azkenik, bero transferentziarako azalera kalkulatu beharko dira, diametroa, lodiera eta altuera m-tan egonik eta angelua gradutan:

$$A_i^{cil}(m^2) = \pi D_c H_{cil} \quad (62)$$

$$A_i^{con}(m^2) = \frac{\pi \left(\frac{D_c}{2} + \frac{D_i}{2} \right) H_{con}}{\cos \left(\frac{\gamma}{2} \right)} \quad (63)$$

$$A_i(m^2) = A_i^{cil} + A_i^{con} \quad (64)$$

$$A_1^{cil}(m^2) = \pi (D_c + 2x_{ss}) H_{cil} \quad (65)$$

$$A_1^{con}(m^2) = \frac{\pi \left(\frac{D_c}{2} + \frac{D_i}{2} + 2x_{ss} \right) H_{con}}{\cos \left(\frac{\gamma}{2} \right)} \quad (66)$$

$$A_1(m^2) = A_1^{cil} + A_1^{con} \quad (67)$$

$$A_{ml_1}(m^2) = \frac{A_1 - A_i}{\ln \left(\frac{A_1}{A_i} \right)} \quad (68)$$

$$A_o^{cil}(m^2) = \pi (D_c + 2x_{ss} + 2x_{iso}) H_{cil} \quad (69)$$

$$A_o^{con}(m^2) = \frac{\pi \left(\frac{D_c}{2} + \frac{D_i}{2} + 2x_{ss} + 2x_{iso} \right) H_{con}}{\cos \left(\frac{\gamma}{2} \right)} \quad (70)$$

$$A_o(m^2) = A_o^{cil} + A_o^{con} \quad (71)$$

$$A_{ml_2}(m^2) = \frac{A_o - A_i}{\ln \left(\frac{A_o}{A_i} \right)} \quad (72)$$

$$A_s(m^2) = \frac{\pi D_c^2}{4} \quad (73)$$

Modu horretan, bero balantzea osatzeko behar diren parametro guztien kalkulua osatu da eta jadanik bere kalkulua egin daiteke. Horretarako, Sartu+Sortu=Gastatu+Irten+Galdu balantzea jarraitu da, honela gelditzen delarik (W-tan):

$$m_{O_2} \int_{T_a}^{T_c} C_p^{O_2} dT + m_{N_2} \int_{T_a}^{T_c} C_p^{N_2} dT + m_{H_2O(aire)} \int_{T_a}^{T_c} C_p^{H_2O(v)} dT + q \Delta H_c =$$

$$q \int_{T_a}^{T_c} C_p^{bio} dT + m_{H_2O(bio)} \left[C_p^{H_2O(l)} (T_h - T_a) + \lambda + \int_{T_h}^{T_c} C_p^{H_2O(v)} dT \right] +$$

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

$$\begin{aligned}
& m_{O_2(gehi)} \int_{T_c}^{T_p} C_p^{O_2} dT + m_{N_2} \int_{T_c}^{T_p} C_p^{N_2} dT + m_{CO_2} \int_{T_c}^{T_p} C_p^{CO_2} dT + m_{NO_2} \int_{T_c}^{T_p} C_p^{NO_2} dT + \\
& m_{SO_2} \int_{T_c}^{T_p} C_p^{SO_2} dT + [m_{H_2O(bio)} + m_{H_2O(aire)} + m_{H_2O(erre)}] \int_{T_c}^{T_p} C_p^{H_2O(v)} dT + \\
& m_{O_2(gehi)} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{O_2} dT + m_{N_2} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{N_2} dT + m_{CO_2} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{CO_2} dT + m_{NO_2} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{NO_2} dT + \\
& m_{SO_2} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{SO_2} dT + [m_{H_2O(bio)} + m_{H_2O(aire)} + m_{H_2O(erre)}] \int_{T_a}^{T_p} C_p^{H_2O(v)} dT \\
& + \frac{A_o(T_p - T_a)}{\left(\frac{A_o}{h_i A_i}\right) + \left(\frac{x_{SS} A_o}{k_{ma}^{SS} A_{ml_1}}\right) + \left(\frac{1}{h_o}\right)} + \frac{A_s(T_p - T_a)}{\left(\frac{1}{h_i}\right) + \left(\frac{x_{SS}}{k_{ma}^{SS}}\right) + \left(\frac{1}{h_o}\right)} \quad (74)
\end{aligned}$$

Horrela, iteratuz balantzea betetzea baimentzen duen gasen irteerako tenperatura (T_p) kalkulatu da eta irteerako entalpia emaria (ΔH_o) ere, horretarako arestian ikusitako bero balantzearen “irteera” terminoa erabiliz (75).

$$\begin{aligned}
\Delta H_o = & m_{O_2(gehi)} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{O_2} dT + m_{N_2} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{N_2} dT + m_{CO_2} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{CO_2} dT + m_{NO_2} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{NO_2} dT \\
& + m_{SO_2} \int_{T_a}^{T_p} C_p^{SO_2} dT + [m_{H_2O(bio)} + m_{H_2O(aire)} + m_{H_2O(erre)}] \int_{T_a}^{T_p} C_p^{H_2O(v)} dT \quad (75)
\end{aligned}$$

5.2. OPERAZIO MAPA EBAZTEKO PROGRAMA

Behin bero balantzea teorikoki definituta, kalkulu horiek aire eta biomasa emari konbinazio ezberdinetarako ebazten dituen programa osatu behar da. Hasteko, erabiliko den lan baldintzen araberrakoak diren aldagaiak finkatu behar dira (18. Taula) eta, modu berean, operazio mapa eraikitzekeo behar diren biomasa emari tartea (1-8 g/min), aire emari tartea (5-35 lN/min) eta ebatziko den sareko aldearen puntu kopurua (50) finkatzea beharrezkoa da.

Modu horretan, 18. Irudiko fluxu diagrama orokorrean eta 19-22. Irudietako azpiprogramen fluxu diagrametan ikus daitekeen programa eraiki da. Honek, aurretik jorratutako korrelazioak barneratuz eta laborategi mailako iturri ohantze koniko sistema erreal baten baldintzetarako, irteerako gasen Temperatura eta entalpia emariak biomasa eta aire emarietikiko duten joera erakusten dituzten irudiak ematen ditu. Programaren transkripzio osoa eranskinetan aurkitu daiteke.

18. Taula. Laborategi mailako iturri ohantze konikoan erabilitako parametroen baloreak.

Parametroa	Balorea	Parametroa	Balorea
γ (°)	28	x_{iso} (m)	0.014
D_i (m)	0.02	h_i (W/m ² °C)	5
D_o (m)	0.14	h_o (W/m ² °C)	210
H_{con} (m)	0.24	T_a (°C)	20
H_{cil} (m)	0.20	T_c (°C)	400
x_{ss} (m)	0.002	h_{aire} (% V)	1

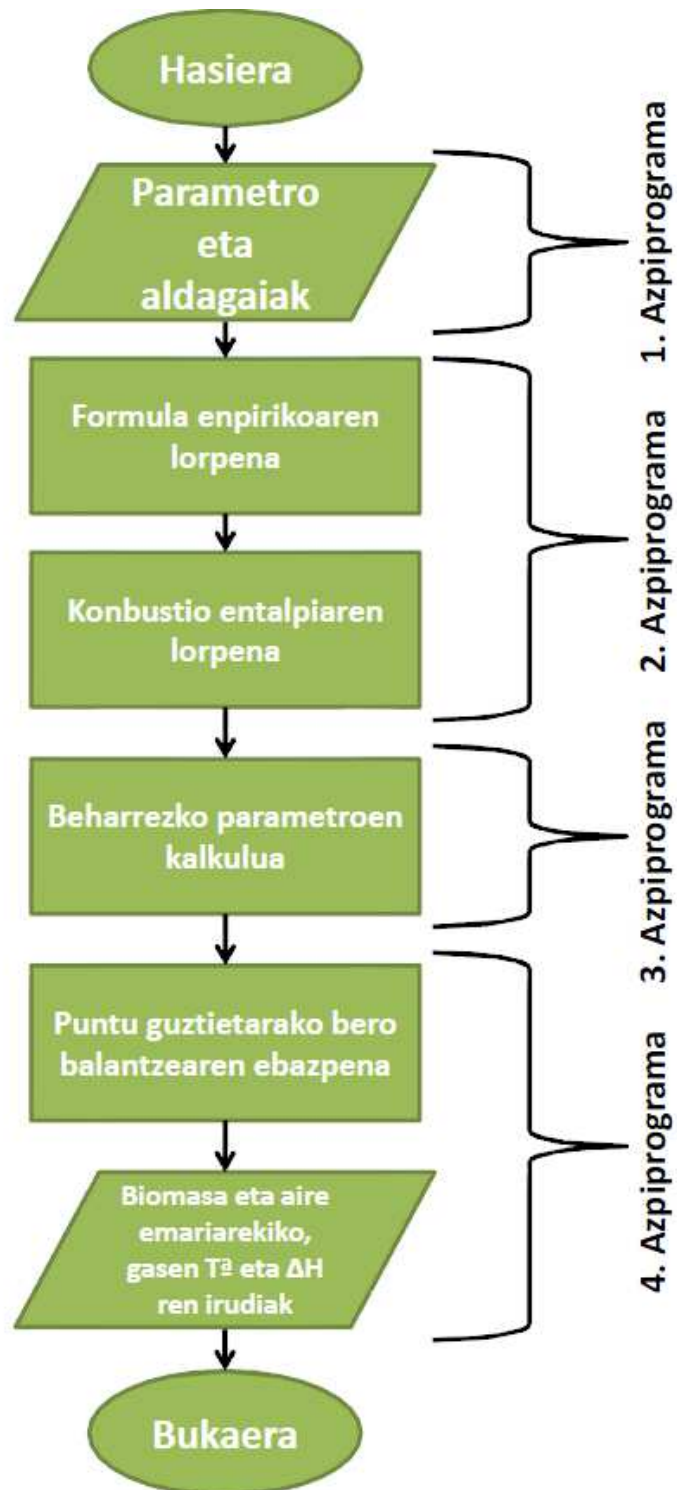
Ikusten denez, programa nahiko konplexua da; izan ere, 50x50 dimentsioko puntu sare baterako integralak barneratzen dituen balantze baten milaka iterazio gauzatu behar ditu, kalkulurako potentzia handia behar izanez. Programak modu honetan lan egiten du: Hasteko, behin biomasaren hezetan, bero espezifikoko eta analisi elementaleko datuak sartuta, programak puntua definitzen du aire eta biomasa emariekin, baldintza horietarako aire estekiometrikoa baino gehiago edo gutxiago dagoen baieztatzen du eta azkenik, konbustio osoa gertatu daitekeen kasuetarako emaria guztiak kalkulatu eta bero balantzearen bitartez emari konbinazio horri dagokion irteerako gasen temperatura eta entalpia emaria kalkulatu ditu.

Horretaz gain, kontutan hartu behar da programak aire estekiometrikoa baino gehiago sartzen den kasuetarako soilik ebazten duela bero balantzea, baldintza hauetan errete ideal osoa gertatzen dela suposatuz. Aire estekiometrikoa baino gutxiago sartzen den kasuetarako irteerako temperaturari eta entalpia emariari balio zehatz bat eman zaie benetako balioetatik bereizteko.

Modu honetan, lorturiko emaitzak egindako suposizioen pean egindako saiaketa batean erdietsiko liratekeenak izango dira. Proposaturiko modeloa auresuposaketa

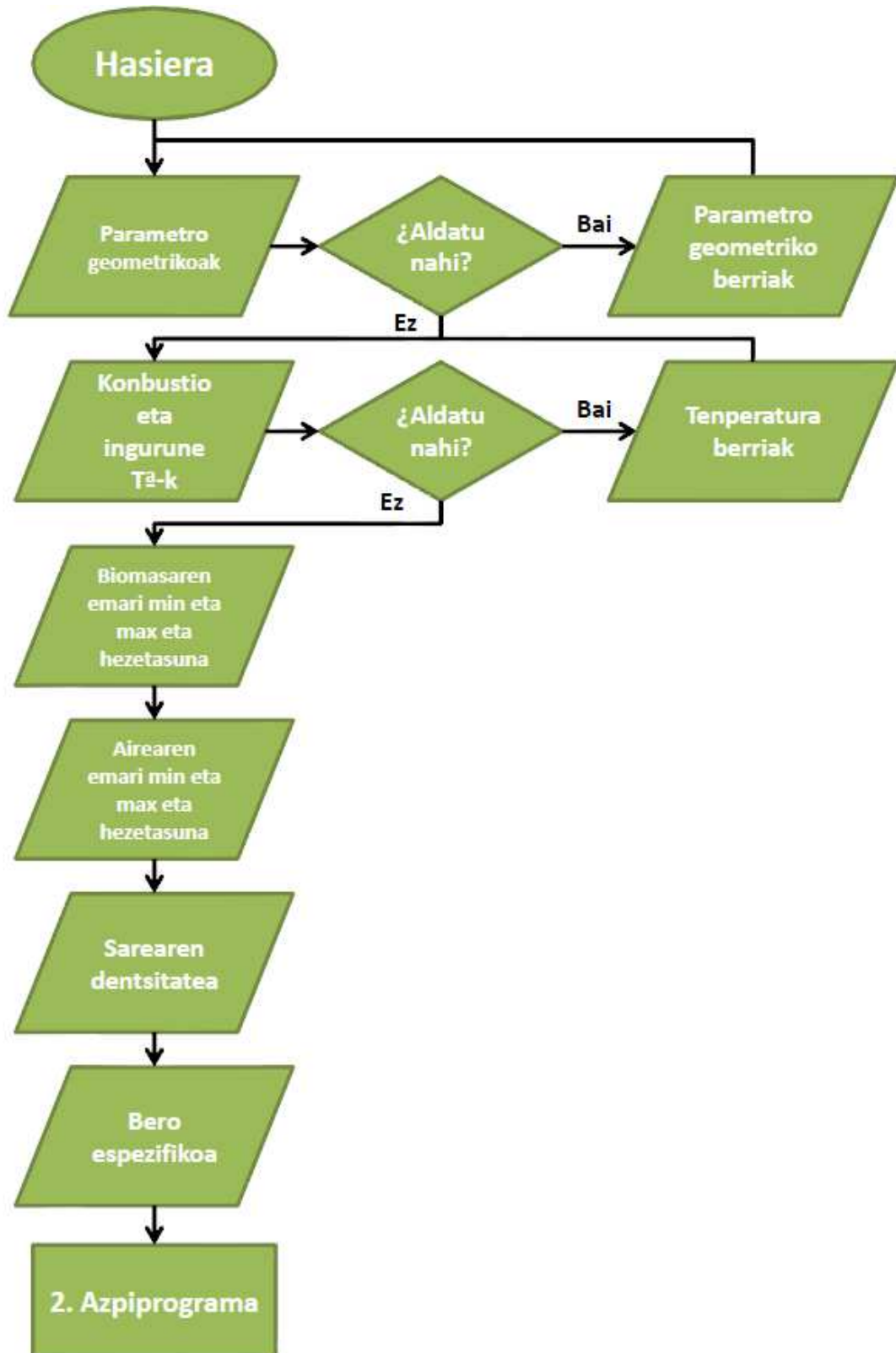
Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa

nahiko fidagarri bat egiteko aproposa izango litzateke baina bere emaitzak zinetika eta hidrodinamika kontutan hartuko litzuzkeen modelo konplexuago eta garatuago batekin osatu beharko lirateke.

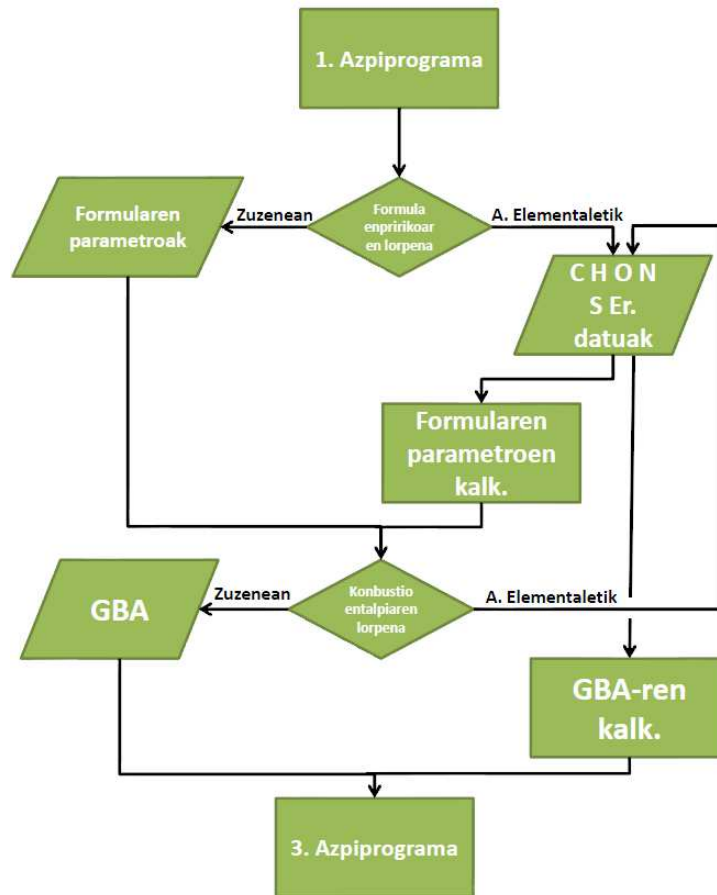


18. Irudia. Operazio maparen eraketarako programaren fluxu diagrama orokorra.

Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa



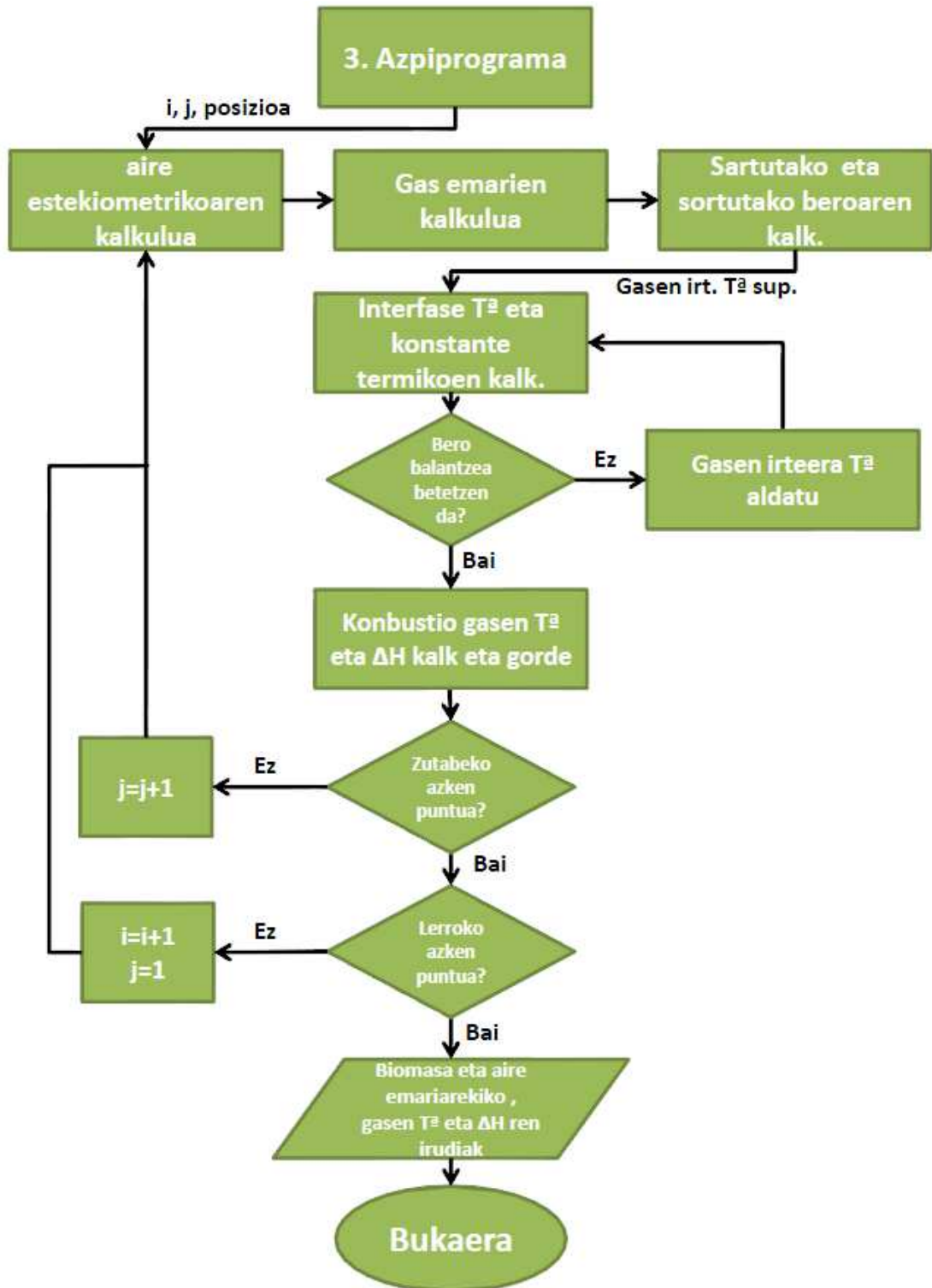
19. Irudia. Operazio mapen programaren 1. Azpiprogramaren fluxu diagrama.



20. Irudia. Operazio mapen programaren 2. Azpiprogramaren fluxu diagrama.



21. Irudia. Operazio mapen programaren 3. Azpiprogramaren fluxu diagrama.



22. Irudia. Operazio mapen programaren 4. Azpiprogramaren fluxu diagrama.

5.3. OPERAZIO MAPAREN PROGRAMAREN EMAITZAK

Arestian azaldu den bero balantzea ikusitako programarekin ebatziz, lorturiko emaitzak zerrautsetarako (23. Irudia), rumexerako (24. Irudia), pelletentzako (25. Irudia) eta arroz oskolarentzako (26. Irudia) adierazi dira.

Grafikoetan, 400 °C-ko tenperatura eta -100 W-ko entalpia emaria adierazten duten gune lauek aire estekiometrikoa baino gutxiago sartzen diren kasuak adierazten dituzte.

Ikus daitekeenez, tenperaturaren grafikoak azalera kurbatua erakusten du eta entalpiarenak, aldiz, azalera laua. Grafikoen baliorik handienak (tenperatura altuena eta askaturiko energia txikiena), aurretik esperotakoa betez, aire estekiometriko maximoaren baldintzetan gertatzen da, hots, soberako oxigenorik gabeko aire eta biomasa emari maximoa sartzen den puntuan. Hala ere, baldintza horiek ez dira sistemaren balio maximoenak. Izan ere, tenperaturaren grafikoaren itxura parabolikoak saturazio tenperatura baten existentzia adierazten du, hau da, lan egin den sistemaren baldintzetarako irteerako gasek lor dezaketen tenperatura maximoa.

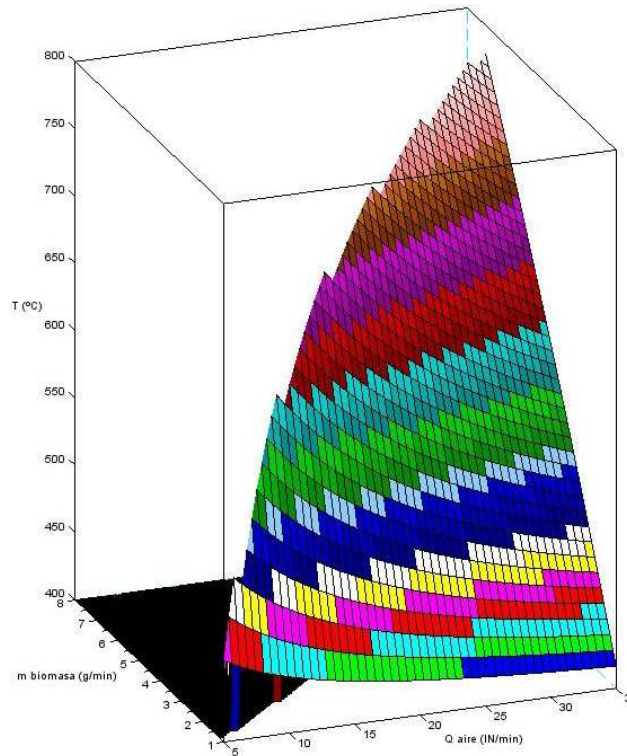
Programa emari tarte zabalagoetara aplikatuta tenperatura maximo horien gutxi gorabeherako balioak kalkulatu dira (19. Taula). Entalpia emariak, bestalde, ez du saturazio balio batera joateko joerarik eta balio gero eta handiagoetara joateko joera erakusten du.

19. Taula. Lan egin den baldintzetarako eta erabilitako biomasa bakoitzerako lor daitezken tenperatura maximoak.

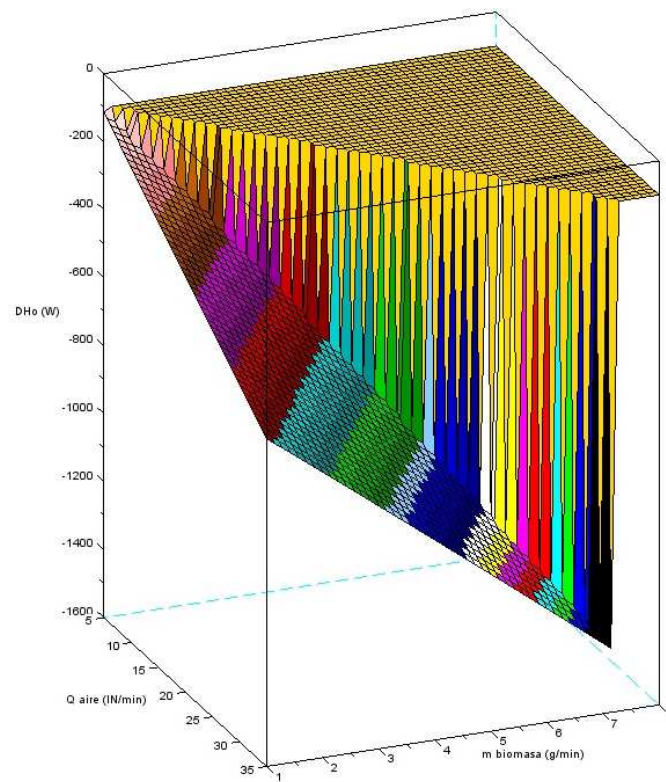
Biomasa mota	T ^a maximoa (°C)
Zerrautsa	865
Pelletak	878
Rumexa	815
Arroz oskola	735

Balio minimoei erreparatuz gero, ordea, aldagai bakoitzak baldintza ezberdinetan erakusten duela ikus daiteke. Tenperaturak balio minimoa biomasa emari minimoa eta aire emari maximoa dagoen baldintzetan aurkitzen da; hau da, espero zen legez, aire soberakin emari maximoa dagoen baldintzetan. Entalpia emaria minimoa, ordez, aire emari estekiometriko minimoko baldintzetan aurkitzen da. Baldintza hauetan, nahiz eta gasak tenperatura baxuenean ez egon, gas emari minimoa egongo da eta, beraz, termino honek garrantzia handiagoa duela erakusten du.

a)

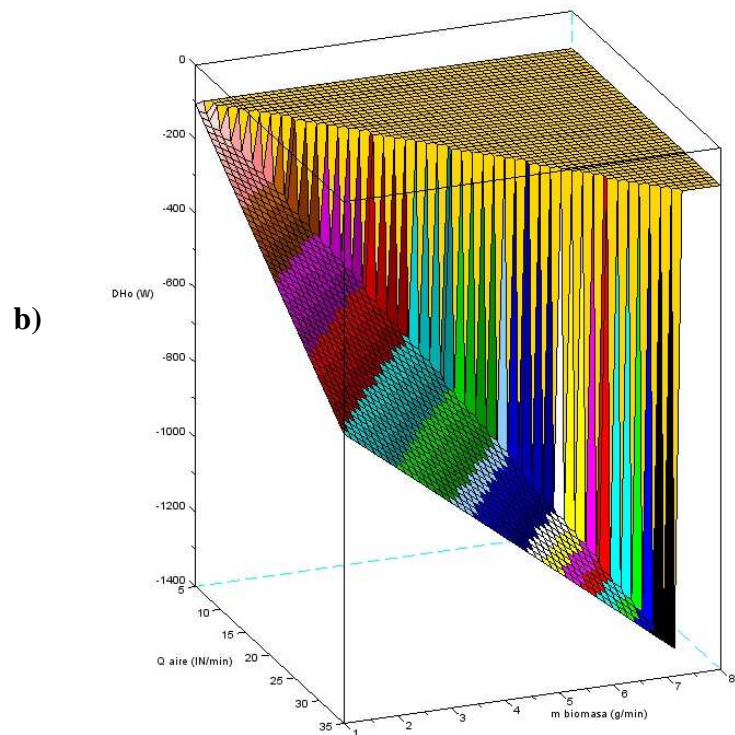
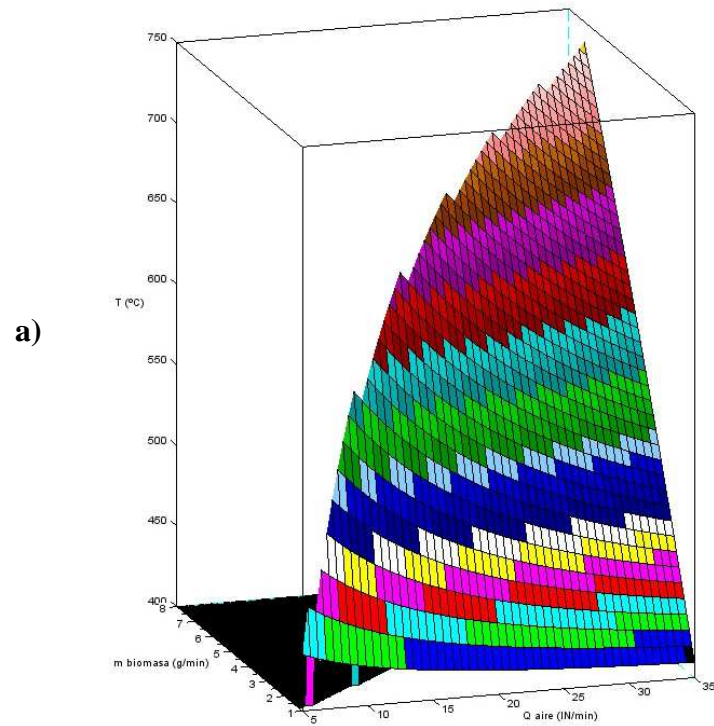


b)

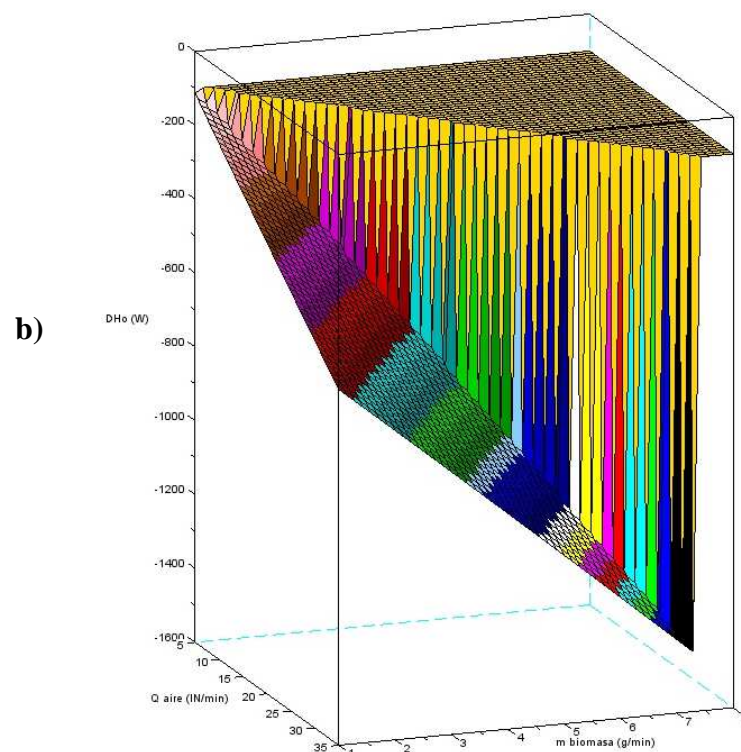
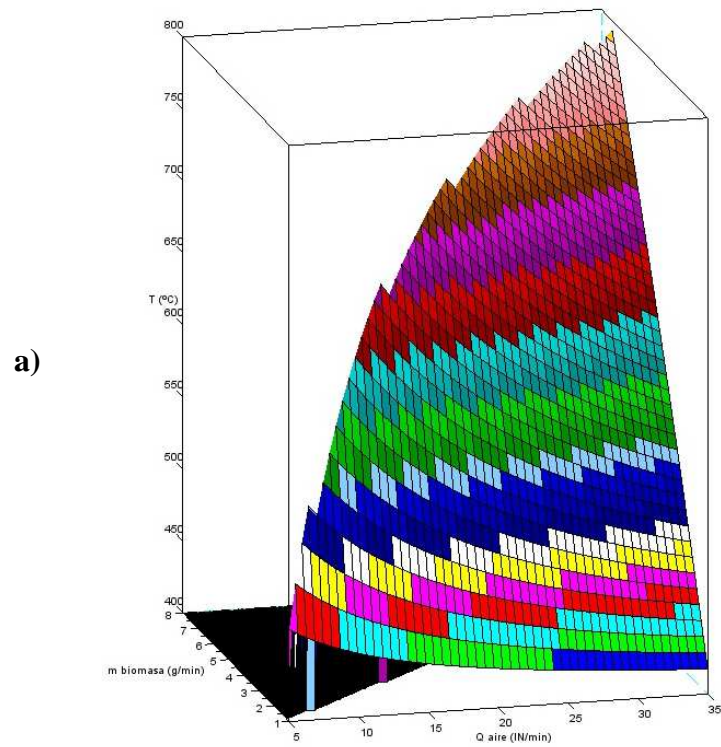


23. Irudia. Zerrauts eta aire emariarekiko konbustio gasen irteerako a) Temperatura eta b) Entalpia emaria.

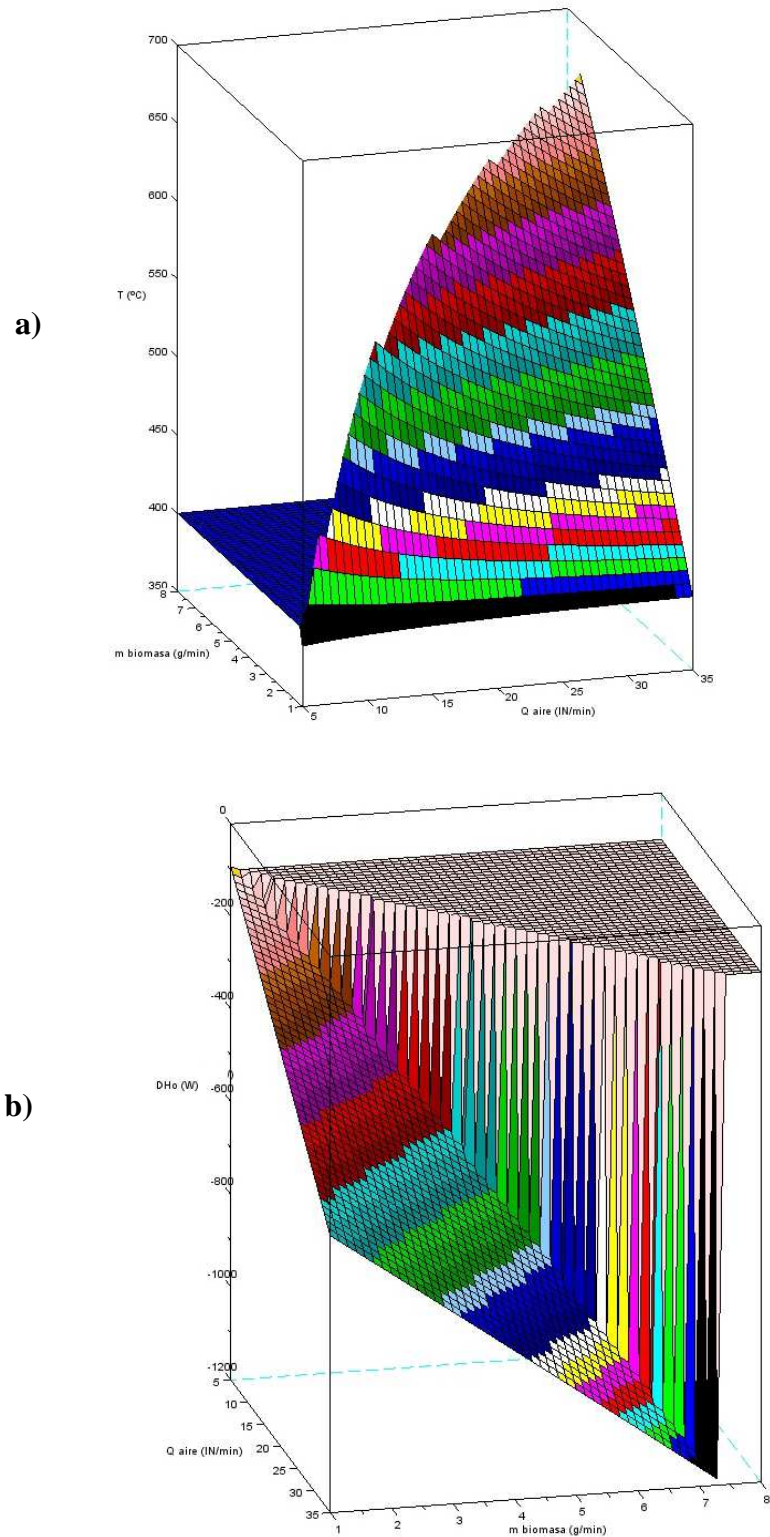
Erreketaren bidezko baso hondakinaren balioztapen aurretiazko ikerketa



24. Irudia. Rumex eta aire emariarekiko konbustio gasen irteerako a) Temperatura eta b) Entalpia emaria.



25. Irudia. Pellet eta aire emariarekiko konbustio gasen irteerako a) Tenperatura eta b) Entalpia emaria.



26. Irudia. Arroz oskola eta aire emariarekiko konbustio gasen irteerako a) Temperatura eta b) Entalpia emaria.

Honekin guztiarekin, konbustio osoa gertatzen den baldintzetarako erreketak gasek irteeran erakusten duten tenperatura eta ondorengo prozesu baten aska lezaketen beroa aurreratzeko tresna egokiak eraiki dira.

6. ONDORIOAK

6. ONDORIOAK

Lortu diren emaitzetan oinarriturik zenbait ondorio garrantzitsu lortu dira lan honetan:

- Konposizioari dagokionez, zerrautsak eta pelletek konposizio parekoa dute eta goiko bero ahalmen handiena erakusten dute. Arroz oskolak, aldiz, txikiena.
- Lan egindako biomasetarako lortu diren korrelazioak sinpleak eta oso zehatzak dira, konposizio elementala eta GBA modu egokian aurreranez eta Parikh eta lag.-en (2005; 2007) eta Channiwala eta Parikh-en (2002) ekuazioen emaitzak hobetuz.
- AE-tik GBA aurrerateko korrelazioak erreketara osoa suposatzen du eta C-H loturen, oxigenoaren eta errautsen kontribuzioa garrantzitsua dela baieztatzen du, Channiwala eta Parikh-ek (2002) adierazitakoarekin bat ez etorritz.
- BA-tik GBA aurrerateko korrelazioak erlazio lineala dagoela baieztatzen du Parikh eta lag.-k (2005) adierazitakoa baietsiz.
- BA-tik konposizio elementala aurrerateko korrelazioak karbono finkoarekin, materia hegazkorrarekin eta hauen erlazioarekin erlazio lineala dagoela adierazten du, Parikh eta lag.-k (2007) ez bezala.
- Bibliografia osorako lorturiko korrelazioek lan honetan analizaturiko biomasen korrelazioen joera berdina erakusten dute, GBA aurrerateko doiketek konposizio elementala aurreratekoak baino emaitza hobeak lortuz eta erroreen banaketa parekoa erakutsiz.
- Bibliografia osorako korrelazioak ez ditu ikatz motako biomasak ongi doitzen, honek erabilgarritasun muga ezarritz.
- Bibliografia osorako korrelazioak hondakin biomasen ezaugarriak nahiko modu egokian aurreraten dituzte; GBA-ren doiketan Channiwala eta Parikh-ek (2002) eta Parikh eta lag.-k (2005) proposaturiko ekuazioekin baino emaitza hobeak lortzen dira baina konposizio elementalaren doiketan Parikh eta lag.-en (2007) emaitzak ez dira hobetzen.
- Lan honetan proposatzen diren ekuaziorik adierazgarrienak GBA aurrerateko lortu direnak dira, ekuazio sinple hauekin errore txikiko doiketak lortzen baitira bibliografiako ekuazioekin lortzen diren emaitzak hobetuz.
- GBA-ren datuak aurrerateko datu oinarri hoberenak AE-tik lorturikoak dira (%0.06 eta %4.16-ko errorea) baina BA-ren datuetatik lorturikoekin konparatuz (0.15 eta %4.23), AE-k erakusten duten hobekuntza xumeak ez du BA-k eskaintzen duen datuak lortzeko sinpletasunari aurre egiten.

- Operazio mapari dagokionez, tenperaturak maximo batera jotzen du eta entalpia emariak, aldiz, ez du maximorik erakusten.
- Sistemaren baldintzetarako tenperatura maximoak pellet eta zerrautsarekin lortzen dira (878 °C eta 865 °C, hurrenez hurren) eta minimoa arroz oskolarekin (735 °C), GBA-ren balioekin erlazioa dagoela baietsiz.
- Proposaturiko modeloa egokia da biomasa hondakinen irteerako gasen tenperatura eta duten entalpia emariaren lehenengo auresuposizioak egiteko baina lortzen diren emaitzak zinetika eta hidrodinamika kontutan hartzen dituen modelo batekin osatu beharko lirateke eta, azkenik, laborategi mailako erreaktore batekin lortutako benetako emaitzekin egiaztatu.

7. NOMENKLATURA

7. NOMENKLATURA

A_{ml_1}, A_{ml_2}	Altzairuaren eta isolatzailearen azaleraren batzbesteko logaritmikoa, L^2 .
$A_1, A_1^{cil}, A_1^{con}$	Altzairu/isolatzaile interfasearen azalera, sekzio zilindrikoarena eta sekzio konikoarena, L^2 .
$A_i, A_i^{cil}, A_i^{con}$	Barruko azalera osoa, sekzio zilindrikoarena eta sekzio konikoarena, L^2 .
$A_o, A_o^{cil}, A_o^{con}$	Kanpoko azalera osoa, sekzio zilindrikoarena eta sekzio konikoarena, L^2 .
C_p^i	i osagaiaren bero espezifikoa, $L^2T^{-2}K^{-1}$
D_c, D_i	Erregailuaren sekzio zilindrikoaren eta konoaren oinarriaren diametroa, L^2 .
h_{aire}, h_{bio}	Airearen eta biomasaren hezetasuna.
H_{cil}, H_{con}	Sekzio zilindrikoaren eta sekzio konikoaren altuera, L .
h_i, h_o	Erregailuaren barruko eta kanpoko konbekzio koefizienteak, $T^{-3}MK^{-1}$
k_{iso}, k_{so}	Isolatzailearen eta altzairuaren konduktibitate termikoa, $LT^{-3}MK^{-1}$
$m_{H_2O}(\text{aire}), m_{H_2O}(\text{bio}), m_{H_2O}(\text{herra})$	Airetik, biomasatik eta errektiotik eratorriko uraren emari masikoa, MT^{-1} .
$m_{O_2}(\text{ezta}), m_{O_2}(\text{gehi})$	Oxigeno estekiometrikoaren eta gehiegizkoaren emari masikoa, MT^{-1} .
m_i	i osagaiaren emaria masikoa, MT^{-1} .
M_i	i osagaiaren masa molekularra, $M \text{ mol}^{-1}$.
q, q_{bio}	Biomasaren lehorraren eta hezearen emaria, MT_1^{-1} .
Q_{aire}	Airearen emari bolumetrikoa, L^3T^{-1} .
T_a, T_c, T_h, T_p	Airearen, erreketaren, aire lurrunketaren eta Erregailu barruko tenperatura, K .

V_{mol}	Gasaren bolumen molarra, L^3 .
$x_{\text{iso}}, x_{\text{ss}}$	Isolatzailearen eta altzairuaren hormaren lodiera, L.
$x_{\text{O}_2}, x_{\text{N}_2}$	Oxigenoaren eta nitrogenoaren bolumeneko kontzentrazioa airean.

Sinboloak

γ	Sekzio konikoaren angelua, $^\circ$.
ΔH_c	Biomasaren konbustio entalpia, L^2T^{-2} .
ΔH_o	Irteerako gasen entalpia emaria, $L^2T^{-3}M$.
λ	Bero latentea, L^2T^{-2} .

Laburdurak

AE	Analisi elementala.
BA	Berehalako analisia.
BDE	Batazbesteko desbideratze errorea.
BE	Balio esperimentalak.
BEA	Batazbesteko errore absolutua.
Er	Errautsak.
GBA	Goiko bero ahalmena.
KB	Kalkulatutako balorea
KE	Konposizio elementala
KF	Karbono finkoa.
MH	Materia hegazkorra.
SI	Sistema internazionala.

8. BIBLIOGRAFIA

8. BIBLIOGRAFIA

- Biomass Users Network B-C: Manuales sobre energías renovables: Biomasa, in. Edited by FOCER. San José, Costa Rica, Biomass Users Network (BUN-CA), 2002, pp. 42.
- Channiwala, S.A., Parikh, P.P.: A unified correlation for estimating HHV of solid, liquid and gaseous fuels. *Fuel* 81:1051-1063, 2002.
- Coombs, J.: The present and the future of anaerobic digestion.: *Anaerobic Digestión: A Waste Treatment Technology*. Barking, Essex: Elsevier Science Publishers Ltd, 1990.
- Cordero, T., Marquez, F., Rodriguez-Mirasol, J., Rodriguez, J.J.: Predicting heating values of lignocellulosics and carbonaceous materials from proximate analysis. *Fuel* 80:1567-1571, 2001.
- Council, N.R.: *Methane Generation from Human, Animal, and Agricultural Wastes*. Washington, 1977
- Demirbas, A.: Biorefineries: Current activities and future developments. *Energy Conversion and Management* 50:2782-2801, 2009.
- Filbakk, T., Jirjis, R., Nurmi, J., Hoibo, O.: The effect of bark content on quality parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) pellets. *Biomass & Bioenergy* 35:3342-3349, 2011.
- Fukuda, H., Kondo, A., Noda, H.: Biodiesel fuel production by transesterification of oil. *Journal of Bioscience and Bioengineering* 92:405-416, 2001.
- Grabosky, M., Bain, R.: Properties of biomass relevant to gasification, in *Biomass gasification-principles and technology*. Edited by TB R. New Jersey: Noyes Data Corporation, 1981, pp. 41-69.
- Grummel, E.S., Davis, I.A.: Fuel, in. Edited by, 1933a, pp. 12:199-203.
- Grummel, E.S., Davis, I.A.: Colliery Guradian, in. Edited by, 1933b, pp. 146:1154-1155.
- Havlickova, K., Suchy, J.: Development model for energy crop plantations in the Czech Republic for the years 2008-2030. *Renewable & Sustainable Energy Reviews* 14:1925-1936, 2010.
- Jimenez, L., Gonzalez, F.: Study of physical and chemical-properties of lignocellulosic residues with a view to the production of fuels. *Fuel* 70:947-950, 1991.

- Kucukbayrak, S., Durus, B., Mericboyu, A.E., Kardioglu, E.: Estimation of calorific values of turkish lignites. *Fuel* 70:979-981, 1991.
- Körbitz, W.: From the field to the fast lane-biodiesel. *Renewable Energy World*:32-37, 1998.
- Lim, J.S., Abdul Manan, Z., Wan Alwi, S.R., Haschim, H.: A review on utilisation of biomass from rice industry as a source of renewable energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 16:3084-3094, 2012.
- Link, S., Arvelakis, S., Paist, A., Martin, A., Liedahl, T., Sjostrom, K.: Atmospheric fluidized bed gasification of untreated and leached olive residue, and co-gasification of olive residue, reed, pine pellets and Douglas fir wood chips. *Applied Energy* 94:89-97, 2012.
- Mansaray, K.G., Ghaly, A.E.: Thermal degradation of rice husks in nitrogen atmosphere. *Bioresource Technology* 65:13-20, 1998.
- Mott, R.A., Spooner C: Fuel, in. Edited by, 1940, pp. 226-31242-31251
- Obernberger, I., Thek, G.: Physical characterisation and chemical composition of densified biomass fuels with regard to their combustion behaviour. *Biomass & Bioenergy* 27:653-669, 2004.
- Parikh, J., Channiwala, S.A., Ghosal, G.K.: A correlation for calculating HHV from proximate analysis of solid fuels. *Fuel* 84:487-494, 2005.
- Parikh, J., Channiwala, S.A., Ghosal, G.K.: A correlation for calculating elemental composition from proximate analysis of biomass materials. *Fuel* 86:1710-1719, 2007.
- Park, H.J., Park, Y-K., Kim, J.S.: Influence of reaction conditions and the char separation system on the production of bio-oil from radiata pine sawdust by fast pyrolysis. *Fuel Processing Technology* 89:797-802, 2008.
- Raveendran, K., Ganesh, A., Khilar, K.C.: Influence of mineral matter on biomass pyrolysis characteristics. *Fuel* 74:1812-1822, 1995.
- Renovetec: Centrales termoeléctricas de biomasa, Vol. 1:Curso Técnico general centrales termoeléctricas de biomasa. Madrid: Santiago García Garrido, 2010.
- Rizhikovs, J., Zandersons, J., Spince, B.: Preparation of granular activated carbon from hydrothermally treated and pelletized deciduous wood. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 93:68-76, 2012.
- Saldarriaga, J.F., Pablos, A., Amutio, M., Aguado, R., Olazar, M.: Validation of Experimental Correlations for Calculating HHV from Proximate Analysis of

- Biomass Materials in. Edited by. ANQUE's International Congress of Chemical Engineering, Sevilla., 2012.
- Schuster, F.: Glukauf, in. Edited by, 1931, pp. 67:235-235.
- Schuster, F.: Brennstoff-Chem, in. Edited by, 1934, pp. 25:45-26.
- Selvig, W.A., Gilbon I: Calorific value of coal, in Chemistry of coal utilization, Vol. 1. Edited by HH L. New York, Wiley, 1945, pp. 139.
- Saylor, A.C.: Proc S Wales Inst Engrs, in. Edited by, 1958, pp. 53:254.
- Shang, L., Nielsen, N.P.K., Dahl, J., Stelte, W., Ahrenfeld, J., Holm, J.K., Thomsen, T., Henriksen, U.B.: Quality effects caused by torrefaction of pellets made from Scots pine. Fuel Processing Technology 101:23-28, 2012.
- Smith, J., Van Ness, H., Abbott, M.: Introduction to Chemical Engineering Thermodynamics 7 Edition. Mexico, D.F.: Elizabeth A. Jones, 2004.
- Tillman, D.A.: Wood as an Energy resources, in. Edited by. New York: Academic Press, 1978.
- Ulloa, C.A., Gordon AL, Garcia XA: Thermogravimetric study of interactions in the pyrolysis of blends of coal with radiata pine sawdust. Fuel Processing Technology 90:583-590, 2009.
- Vassilev, S.V., Baxter D, Andersen LK, Vassileva, CG: An overview of the chemical composition of biomass. Fuel 89:913-933, 2010.
- Vassilev, S.V., Baxter D, Andersen LK, Vassileva, CG, Morgan, TJ: An overview of the organic and inorganic phase composition of biomass. Fuel 94:1-33, 2012.
- Vincent, G., Martínez M, Aracil J: Integrated biodiesel production: a comparison of different homogeneous catalysts systems. Bioresource Technology 92:297-305, 2004.
- Wedel, R.: Technical Handbook for Marine Biodiesel. U.S.: National Renewable Energy Laboratory, U.S. Department of Energy., 1999.
- Worasuwannarak, N., Sonobe, T., Tanthapanichakoon, W.: Pyrolysis behaviors of rice straw, rice husk, and corncob by TG-MS technique. Journal of Analytical and Applied Pyrolysis 78:265-271, 2007.
- Zhang, Y., Dubé, M., McLean, D., Kates, M.: Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. . Bioresource Technology 89:1-16, 2003.

9. ERANSKINAK


```

0001 //9.1. KORRELAZIOEN DOIKETARAKO PROGRAMA

0002 function z=funciones1(x, ctes)
0003 a=ctes(1)
0004 b=ctes(2)
0005 c=ctes(3)
0006 d=ctes(4)
0007 e=ctes(5)
0008
0009 if l==1
0010     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,1)./x(:,2))+(c*x(:,2));
0011 elseif l==2
0012     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,1).^2)+(c*x(:,1).*x(:,2))+(d*x(:,2))+(e*x(:,2).^2);
0013 elseif l==3
0014     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2));
0015 elseif l==4
0016     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2)^c);
0017 elseif l==5
0018     z=(a*x(:,1)^d)+(b*x(:,2)^c);
0019 elseif l==6
0020     z=(a*x(:,1)^d)+(b*x(:,2));
0021 elseif l==7
0022     z=(x(:,1))+(b*x(:,2));
0023 elseif l==8
0024     if j==1
0025         z=0.637*x(:,1)+0.455*x(:,2);
0026     elseif j==2
0027         z=0.052*x(:,1)+0.062*x(:,2);
0028     elseif j==3
0029         z=0.304*x(:,1)+0.476*x(:,2);
0030     end
0031 end
0032 endfunction
0033
0034 function z=funciones2(x, ctes)
0035 a=ctes(1)
0036 b=ctes(2)
0037 c=ctes(3)
0038 d=ctes(4)
0039 e=ctes(5)
0040 f=ctes(6)
0041
0042 if l==1
0043     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2))+(c*x(:,3));
0044 elseif l==2
0045     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,1)./x(:,2))+(c*x(:,2))+(d*x(:,3));
0046 elseif l==3
0047     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,1).^2)+(c*x(:,1).*x(:,2))+(d*x(:,2))+(e*x(:,2).^2)+...
0048         (f*x(:,3));
0049 elseif l==4
0050     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2));
0051 elseif l==5
0052     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2)^c);
0053 elseif l==6
0054     z=(a*x(:,1)^d)+(b*x(:,2)^c);
0055 elseif l==7
0056     z=(a*x(:,1)^d)+(b*x(:,2));
0057 elseif l==8
0058     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2)^c)+(d*x(:,3));
0059 elseif l==9
0060     z=(a)+(b*(x(:,1)+x(:,2)))+(c*x(:,3));
0061 elseif l==10

```

```

0062     z=0.3536*x(:,1)+0.1559*x(:,2)+0.0078*x(:,3);
0063 end
0064 endfunction
0065
0066 function z=funciones3(x, ctes)
0067 a=ctes(1)
0068 b=ctes(2)
0069 c=ctes(3)
0070 d=ctes(4)
0071 e=ctes(5)
0072 f=ctes(6)
0073 g=ctes(7)
0074
0075 if l==1
0076     z=(0.328*x(:,1))+(1.149*x(:,2))+(0.0928*x(:,5));
0077 elseif l==2
0078     z=(0.328*x(:,1))+(1.149*x(:,2))+(0.0928*x(:,5))+(a*(x(:,3)+x(:,4)))+...
0079         (b*x(:,6))+c;
0080 elseif l==3
0081     z=a*((0.328*x(:,1))+(1.149*x(:,2))+(0.0928*x(:,5)))+(b*(x(:,3)+x(:,4)))+...
0082         (c*x(:,6));
0083 elseif l==4
0084     z=a*((0.328*x(:,1))+(1.149*x(:,2)))+(0.0928*x(:,5))+(b*x(:,3))-...
0085         (0.0238*x(:,4))+(c*x(:,6));
0086 elseif l==5
0087     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2))+(c*x(:,5))+(d*x(:,3))+(e*x(:,4))+(f*x(:,6))+g;
0088 elseif l==6
0089     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2))+(c*x(:,5))+(d*x(:,3))+(e*x(:,4))+(f*x(:,6));
0090
0091 elseif l==7
0092     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2))+(c*x(:,5))+(d*(x(:,3)+x(:,4)))+(e*x(:,6))+f;
0093 elseif l==8
0094     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2))+(c*x(:,5))+(d*(x(:,3)+x(:,4)))+(e*x(:,6));
0095 elseif l==9
0096     z=(a*x(:,1))+(b*((x(:,2))-x(:,3))/8)+(d*(x(:,5)));
0097 elseif l==10
0098     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2))+(c*x(:,5))+(d*x(:,3))
0099 elseif l==11
0100     z=(a*(x(:,2)./(1-x(:,6)/100))+b).*((x(:,1))/3+x(:,2)-(x(:,3)-x(:,5))/8))
0101 elseif l==12
0102     z=(a*(x(:,3)./(1-x(:,6)/100))+b).*((x(:,1))/3+x(:,2)-(x(:,3)-x(:,5))/8))
0103 elseif l==13
0104     z=(a*(x(:,1)./(1-x(:,6)/100))+b).*((x(:,1))/3+x(:,2)-(x(:,3)-x(:,5))/8))
0105 elseif l==14
0106     z=(a*(x(:,1)./(1-x(:,6)/100))+b*(x(:,2)./(1-x(:,6)/100))+c*((x(:,3)+...
0107         x(:,4))./(1-x(:,6)/100))+d*(x(:,5)./(1-x(:,6)/100))+e).*((x(:,1))/3+...
0108         x(:,2)-(x(:,3)-x(:,5)))
0109 elseif l==15
0110     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2))+c*((x(:,3).^2)./(1-x(:,6)/100))+d*(1-x(:,6)/100)
0111 elseif l==16
0112     z=(a*x(:,1))+(b*x(:,2))+(c*x(:,3))+d*((x(:,3).^2)./(1-x(:,6)/100))+...
0113         (d*x(:,5))
0114 elseif l==17
0115     z=(a*x(:,1))+b
0116 elseif l==18
0117     z=(a*x(:,1)./x(:,2))+(b*(x(:,3)+x(:,4)))+(c*x(:,6))
0118     elseif l==19
0119     z=0.3491*x(:,1)+1.1783*x(:,2)+0.1005*x(:,3)-0.1034*x(:,4)-...
0120         0.0151*x(:,5)-0.0211*x(:,6);
0121 end
0122 endfunction
0123

```

```

0124 function e=fun(ctes, x, z, wm)
0125     if choose==1
0126         e=(wm.*funciones1(x,ctes)./z-1);
0127     else
0128         if check==1
0129             e=(wm.*funciones2(x,ctes)./z-1);
0130         else
0131             e=(wm.*funciones3(x,ctes)./z-1);
0132         end
0133     end
0134 endfunction
0135
0136
0137 //1. Azpiprograma
0138 //Helburu hautaketa
0139
0139 clc;
0140 l1=list('?Que datos desea ajustar?',1,['Análisis Elemental','PCS']);
0141 choose=x_choices('Elija la opción deseada',list(l1));
0142 global choose
0143 if choose==2
0144     l1=list('?De que datos se parte?',1,['Análisis Inmediato','Análisis...
0145         Elemental']);
0146     check=x_choices('Elija la opción deseada',list(l1));
0147 end
0148 global check
0149 ebias=null()
0150 eabs=null()
0151 CHO_calc=null()
0152 HHV_calc=null()
0153 errorea=null()
0154
0155 //Berehalako analisi, analisi elemental edota GBA datuen sarrera
0156 m=evstr(x_dialog('Numero de datos experimentales(%)','5'));
0157 [FichDatos,PathName,Filtro]=uigetfile(['*.x*'],'M:\5.maila\Proiektto\Nire...
0158     programak","Seleccione el fichero de datos",%f)
0159 chdir(PathName)
0160 sheets=readxls(FichDatos)
0161 hojal=sheets(1)
0162 if choose==1
0163
0164     datos_reg=sheets(1);
0165     FC=datos_reg(4,2:m+1)';
0166     VM=datos_reg(3,2:m+1)';
0167     CHO=datos_reg([6,7,10],2:m+1)';
0168     eq=7
0169     x0=[0.0;0.0;0.0;0.0;0.0];
0170     tmp=[FC VM];
0171 else
0172     if check==1
0173
0174         datos_reg=sheets(1);
0175         FC=datos_reg(4,2:m+1)';
0176         VM=datos_reg(3,2:m+1)';
0177         ASH=datos_reg(5,2:m+1)';
0178         HHV=datos_reg(11,2:m+1)';
0179         eq=9
0180         x0=[0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0];
0181         tmp=[FC VM ASH];
0182     else

```

```

0183     datos_reg=sheets(1);
0184     C=datos_reg(6,2:m+1)';
0185     H=datos_reg(7,2:m+1)';
0186     O=datos_reg(10,2:m+1)';
0187     N=datos_reg(8,2:m+1)';
0188     S=datos_reg(9,2:m+1)';
0189     ASH=datos_reg(5,2:m+1)';
0190     HHV=datos_reg(11,2:m+1)';
0191     eq=18
0192     x0=[0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0;0.0];
0193     tmp=[C H O N S ASH];
0194     end
0195 end
0196
0197 //2. Azpiprograma
0198 //Ekuazio doiketa
0199 for l=1:eq+1
0200     global l
0201
0202
0203     for j=1:3
0204         if choose==1
0205             FUN=CHO(:,j)
0206             wm=ones(length(FC),1);
0207         else
0208             FUN=HHV
0209             if check==1
0210                 wm=ones(length(FC),1);
0211             else
0212                 wm=ones(length(C),1);
0213             end
0214         end
0215
0216         [f,xopt,gopt]=leastsq(list(fun,tmp,FUN,wm),x0);
0217
0218         errore(:,l)=fun(xopt,tmp,FUN,wm)*100
0219         ebias(l,j)=sum(errore(:,l))
0220         eabs(l,j)=sum(abs(errore(:,l)))
0221
0222         //Parametro optimoen imprimaketa
0223
0224         if choose ==1
0225             calc=funciones1(tmp,xopt);
0226             CHO_calc(:,3*(l-1)+j)=calc
0227
0228             if j==1
0229                 nom='C';
0230             elseif j==2
0231                 nom='H';
0232             elseif j==3
0233                 nom='O';
0234             end
0235             printf('\n\n Valores de ajuste: \n %d%s: \n %s: \n a= %6.5f \n ...
0236                 b= %6.5f \n c= %6.5f \n d= %6.5f \n e= %6.5f',l,','. ecuación',nom,...
0237                 xopt(1),xopt(2),xopt(3),xopt(4),xopt(5))
0238         else
0239             if check==1
0240                 calc=funciones2(tmp,xopt);
0241                 printf('\n\n Valores de ajuste: \n %d%s: \n a= %6.5f \n b= %6.5f \n...
0242                 c= %6.5f \n d= %6.5f \n e= %6.5f \n f= %6.5f',l,','. ecuación',...

```

```

0242         xopt(1),xopt(2),xopt(3),xopt(4),xopt(5),xopt(6))
0243     else
0244         calc=funciones3(tmp,xopt);
0245         printf('\n\n Valores de ajuste: \n %d%s: \n a1= %6.5f \n ...
0246             a2= %6.5f \n a3= %6.5f \n a4= %6.5f \n a5= %6.5f \n a6= %6.5f \n...
0247             a7= %6.5f',1, ' ecuación',xopt(1),xopt(2),xopt(3),xopt(4),...
0248             xopt(5),xopt(6),xopt(7))
0249     end
0250     HHV_calc(:,1)=calc
0251 end
0252 xopt=0;
0253 if choose==2
0254     break
0255 end
0256 end
0257
0258 //Ekuazio hoberenaren hautaketa

0259 errorea(1)=sum(eabs(1,:))
0260 end
0261 w=min(errorea)
0262 h=find(errorea==w)
0263 if length(h)>1
0264     printf('\n\n Cuidado hay mas de una ecuacion con el mismo error mínimo,...
0265         podría haber algún fallo')
0266 end
0267
0268 //Ekuazio hoberenaren, errore absolutuaren, desbideratze errorearen eta

0269 //grafikoen inprimaketa

0270 if choose==1
0271     for hl=1:length(h)
0272         printf('\n\n La ecuación con mejor ajuste es la número%d:\n error para ...
0273             C: abs()=%8.3e bias():%8.3e \n error para H: abs()=%8.3e bias():...
0274             %8.3e \n error para O: abs()=%8.3e bias():%8.3e',h(hl),eabs(h(hl),1),...
0275             ebias(h(hl),1),eabs(h(hl),2),ebias(h(hl),2),eabs(h(hl),3),...
0276             ebias(h(hl),3))
0277     end
0278     o=0
0279     for k=1:length(h)*3
0280         o=o+1
0281         if o==4
0282             o=1
0283         end
0284         subplot(length(h),3,k)
0285         plot(CHO(:,o),CHO_calc(:,3*(h-1)+k),'og',[0 1.2*max([CHO(:,o) ...
0286             CHO_calc(:,3*(h-1)+k])],[0 1.2*max([CHO(:,o) CHO_calc(:,...
0287             3*(h-1)+k])]),'k')
0288         a=get("current_axes");
0289         a.data_bounds=[0,0;1.2*max([CHO(:,o) CHO_calc(:,3*(h-1)+k])],...
0290             1.2*max([CHO(:,o) CHO_calc(:,3*(h-1)+k])]);
0291         if o==1
0292             xtitle("Carbono","Exp (%)","Calc (%)")
0293         elseif o==2
0294             xtitle("Hidrógeno","Exp (%)","Calc (%)")
0295         else
0296             xtitle("Oxígeno","Exp (%)","Calc (%)")
0297         end
0298     end
0299 else
0300     for hl=1:length(h)

```

```

0301     printf('\n\n La ecuación con mejor ajuste es la número%d:\n error de: ...
0302         abs()=%8.3e bias():%8.3e \n ',h(hl),eabs(h(hl),1),ebias(h(hl),1))
0303     end
0304     if check==1
0305         for k=1:length(h)
0306             subplot(length(h),1,k)
0307             plot(HHV(:,1),HHV_calc(:,h(k)),'og',[0 1.2*max([HHV(:,1) ...
0308                 HHV_calc(:,h(k))])],[0 1.2*max([HHV(:,1) HHV_calc(:,h(k))])],'k')
0309             a=get("current_axes");
0310             a.data_bounds=[0,0;1.2*max([HHV(:,1) HHV_calc(:,h(k))]),...
0311                 1.2*max([HHV(:,1) HHV_calc(:,h(k))])];
0312             xtitle("HHV","Exp (%)","Calc (%)")
0313         end
0314     else
0315         for k=1:length(h)
0316             subplot(length(h),1,k)
0317             plot(HHV(:,1),HHV_calc(:,h(k)),'og',[0 1.2*max([HHV(:,1) ...
0318                 HHV_calc(:,h(k))])],[0 1.2*max([HHV(:,1) HHV_calc(:,h(k))])],'k')
0319             a=get("current_axes");
0320             a.data_bounds=[0,0;1.2*max([HHV(:,1) HHV_calc(:,h(k))]),...
0321                 1.2*max([HHV(:,1) HHV_calc(:,h(k))])];
0322             xtitle("HHV","Exp (%)","Calc (%)")
0323         end
0324     end
0325 end

```

```

0001 //9.2. OPERAZIO MAPA EBAZTEKO PROGRAMA
0002 //1. Azpiprograma
0003 //Parametro eta aldagaien sarrera
0004 clc;clear;clf
0005
0006 ang=28;
0007 Di=.02;
0008 Dc=.14;
0009 Hcon=.24;
0010 Hcil=.20;
0011 xss=.002;
0012 xais=.014;
0013
0014 printf('Angulo (°):                %2.1f \n',ang)
0015 printf('Diámetro de la base (m):    %2.3f \n',Di)
0016 printf('Diámetro de la sección cilíndrica (m): %2.3f \n',Dc)
0017 printf('Altura de la sección cónica (m): %2.3f \n',Hcon)
0018 printf('Altura de la sección cilíncrica (m): %2.3f \n',Hcil)
0019 printf('Espesor de la pared metálica del horno (m): %2.3f \n',xss)
0020 printf('Espesor del aislante en la sección cónica (m): %2.3f \n',xais)
0021
0022 l1=list('¿Desea modificarlos?',1,['No','Si']);
0023 modif_param_geom=x_choices('En la command window se muestran los valores de ...
0024     los parámetros geométricos',list(l1));
0025
0026 if modif_param_geom == 2
0027     ang=evstr(x_dialog('Angulo de la base (°)','28'));
0028     Di=evstr(x_dialog('Diámetro de la base (m)','0.02'));
0029     Dc=evstr(x_dialog('Diámetro de la sección cilíndrica (m)','0.14'));
0030     Hcon=evstr(x_dialog('Altura de la sección cónica (m)','0.24'));
0031     Hcil=evstr(x_dialog('Altura de la sección cilíncrica (m)','0.20'));
0032     xss=evstr(x_dialog('Espesor de la pared metálica del horno (m)','0.002'));
0033     xais=evstr(x_dialog('Espesor del aislante (m)','0.014'));
0034 end
0035
0036 Ta=20;
0037 Tc=400;
0038
0039 printf('Temperatura ambiente (°C):        %3.1f \n',Ta)
0040 printf('Temperatura de combustión (°C):    %3.1f \n',Tc)
0041
0042 l1=list('¿Desea modificarlos?',1,['No','Si']);
0043 modif_temp=x_choices('En la command window se muestran la temperatura ...
0044     ambiente y de combustión',list(l1));
0045
0046 if modif_temp == 2
0047     Ta=evstr(x_dialog('Temperatura ambiente (°C)','20'));
0048     Tc=evstr(x_dialog('Temperatura de combustión (°C)','400'));
0049 end
0050
0051 qbio_min=evstr(x_dialog('Caudal mínimo de biomasa (g/min)','1'));
0052 qbio_max=evstr(x_dialog('Caudal máximo de biomasa (g/min)','8'));
0053 hdad_biomasa=evstr(x_dialog('Humedad del biomasa (% b.h.)','14'));
0054 qaire_min=evstr(x_dialog('Caudal mínimo de aire (lN/min)','5'));
0055 qaire_max=evstr(x_dialog('Caudal máximo de aire (lN/min)','35'));
0056 hdad_aire=evstr(x_dialog('Humedad del aire (%vol)','1'));
0057 n_punt=evstr(x_dialog('Densidad de mallado?','50'));
0058 Cpbio=evstr(x_dialog('calor específico(kJ/kg)','1550'));
0059 CpH2O1=4184;

```

```

0060
0061 l_mol=0.082*(Ta+273);
0062 porc_O2=21/(100+hdad_aire);
0063 porc_N2=79/(100+hdad_aire);
0064
0065 //2. Azpiprograma

0066 //Ekuazio enpririkoaren lorpena

0067 l1=list('¿Cómo desea obtener los valores de la formula empírica?',1,...
0068 ['Insertando el valor','Análisis Elemental']);
0069 check=x_choices('Fórmula empírica: C Hx Oy Nz Sw',list(l1));
0070 if check==1
0071   Hx=evstr(x_dialog('Estequiometría del Hidrógeno por mol de C (x)', '1.76'));
0072   Oy=evstr(x_dialog('Estequiometría del Oxígeno por mol de C (y)', '0.81'));
0073   Nz=evstr(x_dialog('Estequiometría del Nitrógeno por mol de C (z)',...
0074     '1.7e-3'));
0075   Sw=evstr(x_dialog('Estequiometría del Azufre por mol de C (w)', '7.5e-5'));
0076   else
0077     C=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Carbono en base seca (%)',...
0078       '50.03'));
0079     H=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Hidrógeno en base seca (%)',...
0080       '5.89'));
0081     O=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Oxígeno en base seca (%)',...
0082       '42.69'));
0083     N=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Nitrógeno en base seca (%)',...
0084       '0.75'));
0085     S=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Azufre en base seca (%)',...
0086       '0.09'));
0087     ASH=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de cenizas en base seca (%)',...
0088       '0.56'));
0089     Hx=H/(C/12); Oy=(O/16)/(C/12); Nz=(N/14)/(C/12); Sw=(S/32)/(C/12)
0090   end
0091
0092 //Konbustio entalpiaren lorpena

0093 l1=list('¿Cómo desea obtener el valor?',1,['Insertando el valor','Análisis ...
0094   Elemental']);
0095 check_est=x_choices('Calculo de la entapia de combustión',list(l1));
0096 if check_est == 1
0097   DHc=evstr(x_dialog('Entalpia de combustión (J/kg)', '19.85e6'));
0098 else
0099   if check==1
0100     C=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Carbono en base seca (%)',...
0101       '50.03'));
0102     H=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Hidrógeno en base seca (%)',...
0103       '5.89'));
0104     O=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Oxígeno en base seca (%)',...
0105       '42.69'));
0106     N=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Nitrógeno en base seca (%)',...
0107       '0.75'));
0108     S=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de Azufre en base seca (%)',...
0109       '0.09'));
0110     ASH=evstr(x_dialog('Porcentaje de masa de cenizas en base seca (%)',...
0111       '0.56'));
0112   end
0113   DHc=(0.17211*((0.328*C)+(1.149*H)))+(0.0928*S)+(0.34643*O)-(0.0238*N)+...
0114     (-0.05112*ASH)*1000000;
0115   end
0116
0117 //3. Azpiprograma

```



```

0118 //Beharrezko parametroen lorpena

0119 lambda=2.26e6;
0120
0121 ho=5;
0122 hi=210;
0123
0124 deff(' [CpO2]=fun1(T)', 'CpO2=8314/32*(3.639+0.506e-3*(273.15+T)-...
0125     0.227e5*(273.15+T)^-2)');
0126 deff(' [CpN2]=fun2(T)', 'CpN2=8314/28*(3.280+0.593e-3*(273.15+T)+...
0127     0.040e5*(273.15+T)^-2)');
0128 deff(' [CpNO2]=fun7(T)', 'CpNO2=8314/46*(4.982+1.195e-3*(273.15+T)-...
0129     0.792e5*(273.15+T)^-2)');
0130 deff(' [CpSO2]=fun8(T)', 'CpSO2=8314/64*(5.699+0.801e-3*(273.15+T)-...
0131     1.015e5*(273.15+T)^-2)');
0132 deff(' [CpH2Ov]=fun3(T)', 'CpH2Ov=8314/18*(3.470+1.450e-3*(273.15+T)+...
0133     0.121e5*(273.15+T)^-2)');
0134 deff(' [CpCO2]=fun4(T)', 'CpCO2=8314/44*(5.457+1.045e-3*(273.15+T)-...
0135     1.157e5*(273.15+T)^-2)');
0136
0137 deff(' [kais]=fun5(T)', 'kais=1000*6.35e-5*(1.001762^T)');
0138 deff(' [kss]=fun6(T)', 'kss=1000*(1.61e-2+(6.117e-6*T))');
0139
0140 qbmin=qbio_min*(100-hdad_biomasa)/(60000*100);
0141 qbmax=qbio_max*(100-hdad_biomasa)/(60000*100);
0142 Qamin=qaire_min/60000;
0143 Qamax=qaire_max/60000;
0144 angrad=ang*2*%pi/360;
0145
0146 Aicil=%pi*Dc*Hcil;
0147 Aicon=%pi*((Dc/2)+(Di/2))*Hcon/cos(angrad/2);
0148 Ai=Aicil+Aicon;
0149 Alcil=%pi*(Dc+(2*xss))*Hcil;
0150 Alcon=%pi*((Dc/2)+(Di/2)+(2*xss))*Hcon/cos(angrad/2);
0151 Al=Alcil+Alcon;
0152 Alml=(Al-Ai)/log(Al/Ai);
0153 Aocil=%pi*(Dc+(2*xss)+(2*xais))*Hcil;
0154 Aocon=%pi*((Dc/2)+(Di/2)+(2*xss)+(2*xais))*Hcon/cos(angrad/2);
0155 Ao=Aocil+Aocon;
0156 A2ml=(Ao-Al)/log(Ao/Al);
0157 Asup=%pi*(Dc^2/4);
0158
0159 qb=linspace(qbmin, qbmax, n_punt);
0160 qa=linspace(Qamin, Qamax, n_punt);
0161 Tp=zeros(n_punt, n_punt);
0162 DHo=zeros(n_punt, n_punt);
0163
0164 //4. Azpiprograma

0165 //Puntu guztietarako bero balantzearen ebazpena

0166 for i=1:n_punt
0167
0168     q=qb(i);
0169
0170     for j=1:n_punt
0171
0172         Qa=qa(j);
0173
0174         mO2=(Qa*(100-hdad_aire)*porc_O2/100)*32/l_mol;
0175         mO2_est=q/(12+Hx+16*Oy+14*Nz+32*Sw)*(1+Hx/4+Nz+Sw-Oy/2)*32;
0176         if mO2 < mO2_est

```

```

0177         Tp(i,j)=400;
0178         DHo(i,j)=-100;
0179     else
0180         mO2_exc=mO2-mO2_est;
0181         mH2O_biomasa=q*hdad_biomasa/(100-hdad_biomasa);
0182         mH2O_aire=Qa*hdad_aire*18/l_mol;
0183         mH2O_reac=q/(12+Hx+16*Oy+14*Nz+32*Sw)*Hx/2*18;
0184         porc_N2=79/(100+hdad_aire);
0185         mN2=(Qa*(100-hdad_aire)*porc_N2/100)*28/l_mol;
0186
0187         mCO2=q/(12+Hx+16*Oy+14*Nz+32*Sw)*44;
0188         mNO2=q/(12+Hx+16*Oy+14*Nz+32*Sw)*Nz*46;
0189         mSO2=q/(12+Hx+16*Oy+14*Nz+32*Sw)*Sw*64;
0190
0191         Entr=(mO2*intg(Ta,Tc,fun1))+(mN2*intg(Ta,Tc,fun2))+...
0192             (mH2O_aire*intg(Ta,Tc,fun3));
0193         Gen=q*DHC;
0194
0195         function fTp=bcspout(Tp)
0196
0197             T1=0.95*Tp;
0198             Tss=[T1 Tp];
0199             kss=feval(Tss,fun6);
0200             kss_av=sum(kss)/length(kss);
0201             T2=3*Ta;
0202             Tais=[Ta T2];
0203             kais=feval(Tais,fun5);
0204             kais_av=sum(kais)/length(kais);
0205             Perd=(Ao*(Tp-Ta)/((Ao/(hi*Ai))+(xss*Ao/(kss_av*A1ml))+...
0206                 (xais*Ao/(kais_av*A2ml)+(1/ho)))+(Asup*(Tp-Ta)/((1/hi)+...
0207                 (xss/kss_av)+(1/ho)));
0208             Gast=(q*Cpbio*(Tc-Ta)+(mH2O_biomasa*((CpH2O1*(100-Ta))+...
0209                 lambda+intg(100,Tc,fun3)))+(mO2_exc*intg(Tc,Tp,fun1))+...
0210                 (mN2*intg(Tc,Tp,fun2))+((mH2O_biomasa+mH2O_aire+mH2O_reac)...
0211                 *intg(Tc,Tp,fun3)))+(mCO2*intg(Tc,Tp,fun4))+...
0212                 (mNO2*intg(Tc,Tp,fun7)))+(mSO2*intg(Tc,Tp,fun8));
0213             Sale=(mO2_exc*intg(Ta,Tp,fun1))+(mN2*intg(Ta,Tp,fun2))+...
0214                 ((mH2O_biomasa+mH2O_aire+mH2O_reac)*intg(Ta,Tp,fun3))+...
0215                 (mCO2*intg(Ta,Tp,fun4)))+(mNO2*intg(Ta,Tp,fun7))+...
0216                 (mSO2*intg(Ta,Tp,fun8));
0217             fTp=Sale+Gast+Perd-Entr-Gen;
0218
0219         endfunction
0220
0221         Tp(i,j)=fsolve(Tc,bcspout);
0222
0223         DHo(i,j)=(mO2_exc*intg(Tp(i,j),Ta,fun1))+(mN2*intg(Tp(i,j),...
0224             Ta,fun2))+((mH2O_biomasa+mH2O_aire+mH2O_reac)*intg(Tp(i,j),Ta,...
0225             fun3)))+(mCO2*intg(Tp(i,j),Ta,fun4)))+(mNO2*intg(Tp(i,j),Ta,...
0226             fun7)))+(mSO2*intg(Tp(i,j),Ta,fun8));
0227     end
0228 end
0229 end
0230
0231 //Biomasa eta aire emariarekiko, konbustio gasen Tª eta Entalpia irudiak.
0232 subplot(1,2,1)
0233 surf(linspace(qaire_min,qaire_max,n_punt),linspace(qbio_min,qbio_max,n_punt),Tp)
0234 ylabel("m biomasa (g/min)");
0235 xlabel("Q aire (lN/min)");
0236 zlabel("T (°C)");
0237

```

```
0238 subplot(1,2,2)
0239 surf(linspace(qaire_min,qaire_max,n_punt),linspace(qbio_min,qbio_max,n_punt),...
0240      DHo)
0241 ylabel("m biomasa (g/min)");
0242 xlabel("Q aire (lN/min)");
0243 zlabel("DHo (W)")
```