

Gradu Amaierako Lana
Ingeniaritza Kimikoko Gradua

Ur grisen tratamendurako biojardineraren modelakuntza eta simulazioa

Egilea:
Leire García Oñarte echevarria
Zuzendariak:
Roberto Aguado Zarraga Dk.
Federico Mijangos Anton Dk.

AURKIBIDEA

1.	HELBURUAK	1
2.	SARRERA	2
2.1.	EL SALVADORREN EGOERA	2
2.2.	BIOJARDINERA	6
2.2.1.	Biojardinera motak	8
2.2.2.	Biojardineraren diseinua	11
3.	MODELOAREN GARAPENA	15
3.1.	EGOERA EGONKORRA	15
3.2.	EGOERA EZ-EGONKORRA.....	19
3.2.1.	Parametroen aldaketek biojardineran sortzen duten eraginaren analisisa.....	26
3.2.2.	Sedimentazioaren ondoriozko lokatzaren metaketa ohandzearen hondoan	40
4.	ONDORIOAK	48
5.	NOMENKLATURA	49
6.	BIBLIOGRAFIA	51

1. HELBURUAK

Gratu Amaierako Lan hau Mugarik Gabeko Ingeniaritza izeneko Gobernu Kanpoko Erakundearekin kooperatuz burutu egin da. Helburu nagusia biojardineraren tratamendu ezberdinak Ingeniaritza Kimikoaren ikuspuntutik aztertzea izan da, batez ere pretratamendua non koipe tranpa gertatzen den eta biojardineraren tratamendu biologikoa gertatzen den. Horretarako lehendabizi El Salvadorren bizi duten uraren egoera ikasi egin da, era honetan biojardineraren instalazioak uraren eskasia pairatzen duten herrialdeetan zer nolako garrantzia duen barneratuz.

Hala ere lan honen garapena biojardineraren tratamendu nagusian zentratu egin da, ur grisaren arazketa burutzerako orduan substratuaren eta mikroorganismoen artean gertatzen den elkarrekintzaren eredu matematikoa burutuz. Modelo matematikoa garatzeko hainbat erronka planteatuz joan dira, hala nola egoera egonkorra, egoera ez-egonkorra, egoera ez-egonkorrera moldatzen den bilaketa parametrikoa eta lokatzen metaketa kontuan hartzen duen egoera ez-egonkorra, era honetan errealitatera hurbiltzen den modelo konplexua lortuz. Gainera erronka bakoitza planteatzerako orduan Scilab erabili da modeloa simulatzeko erraminta moduan, honela biojardineraren barruan Ingeniaritza Kimikoko ikuspuntutik zer gertatzen den analizatuz.

2. SARRERA

Ura garapen iraunkorraren epizentroan dago eta garapen sozioekonomikorako, energiarako eta elikagaien produkziarako, ekosistema osasuntsu baterako eta gizaki bizidunen biziraupenerako ezinbestekoa da. Ura ere giza eskubideen parte da eta hori dela eta populazio mundiala hasi ahala, honen beharra ere handituz doa. Hau dela eta, ura gizakien garapenerako ezinbesteko faktorea da, saneatze sistemak ahaztu gabe, berez, gaixotasunen murrizketarako eta osasunaren hobekuntzarako, hezkuntzarako eta populazioaren produktibitate ekonomikorako nahitaezko faktoreak dira (ONU-Agua, 2018).

Bestalde, gizakiarenganako uraren eskubide eta saneamenduaz hitz egitea ezinbestekoa da, izan ere, Nazio Batuetako batzar nagusiak 2010-eko uztailean 64/292 erabakiaren arabera aintzatetsi zuen gizaki guztiek erabilera domestiko eta pertsonalerako beharrezko ura izateko eskubidea dutela (50 eta 100 litro inguru pertsonako eta eguneko), eta gainera segurua, onargarria eta eskuragarria izatea ere ezinbestekoa dela. Izatez, uraren kostua ez da etxeko diru-sartzeen %3-a baino handiagoa izan behar eta bestaldetik, iturria etxetik 1.000 metrora baino gutxiagoko distantziara egon behar da eta honen bilketa ezin du 30 minutuko denbora gainditu (ONU-DAES, 2014).

Gaur egungo uraren egoera munduan nahiz eta azken urteetan baino hobetagoa izan latza izaten jarraitzen du, batez ere garatu gabeko edo garatzeko bidean dauden lurraldeetan. Izan ere, Osasunaren Mundu Erakundeak 2015-eko datuen arabera jakinarazi zuen munduko biztanleriaren %71-k soilik erabiltzen zuela ur-horniketa era seguru batean kudeatuta, erabiltzeko moduan edozein momentutan, kutsatu barik eta eskura dagoen leku batean kokatuta (OMS-Agua, 2018). Adibidez Afrikan eta Asian emakume batek 6 kilometro inguru ibiltzen ditu ura jasotzeko eta hori dela eta 5 litro ur baino gutxiago kontsumitzen dute egunean, gainera osasungaitza den ura. Datu hau Europako herrialde gehienetan kontsumitzen den urarekin (200-300 litro pertsonako eta eguneko) konparatuz, itzelezko aldea dagoela ikusten da. Eta zer esanik ez haurdun dauden emakumeen egoeraz, oso garrantzitsua baita 7,5 litro ur inguru egunean edatea (ONU-DAES, 2014).

Hala ere, Afrikako egoera larriena dela esan daiteke, non alde Saharaz-aren hegoaldean milioi pertsonak animaliekin partekatzen duten haien ur iturriak edo inolako neuririk gabeko putzuetatik hartzen duten ura. Gainera, kaltetuenetarikoak umeak dira eta askok arrazoi honetatik gaixotu eta hil egiten dira. Izatez faktore arriskutsuak erasotuz gero urtero bost urtetik beheragoko 361.000 umeren heriotza saihestu ahalko ziren (OMS-Agua, 2018). Hau dela eta Nazio Batuak egoera larri hau orain dela urte askotatik hobetzeko borrokan ibili da eta urteetan zehar hainbat ekimen sortuz joan da, onartezina baita XXI. Mendean lurralde hain garatu eta garatu gabeak egotea. Baina nahiz eta egoera larrienak Afrika eta Asiako lurralde batzuetan aurkitu, badaude garatzeko bidean dauden herrialdeak non uraren urritasuna pairatzen duten, hala nola, El Salvador eta Amerikako zenbait herrialdek.

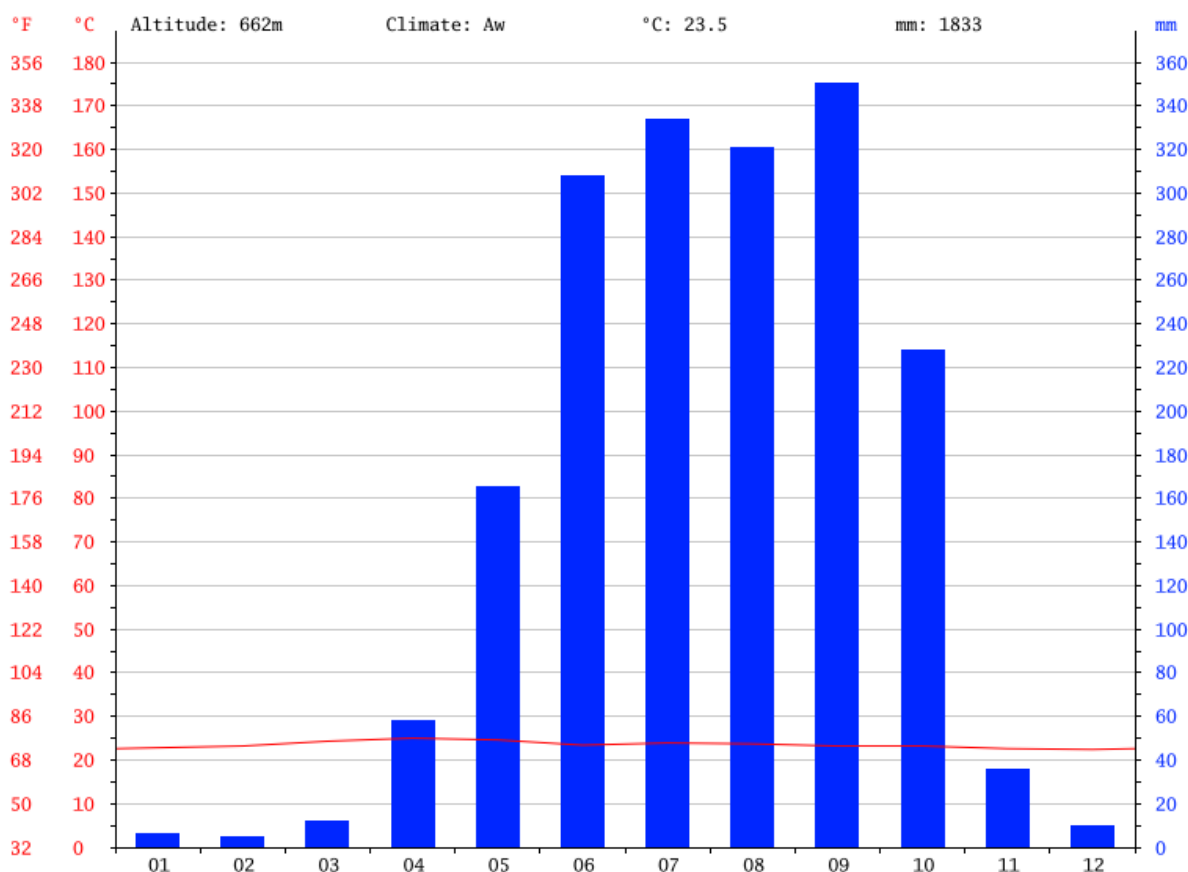
2.1. EL SALVADORREN EGOERA

El Salvador Ozeano Barean kokaturiko Erdialdeko Amerikako herrialdea da. Erdialde Amerikako herrialderik txikiena da, 21.040 km²-ko azalerarekin hain zuzen ere. Honduraseko iparra eta ipar-ekialdea mugatzen ditu, Fonsekako Golkoaren iparra, Ozeano Barearen hegoa eta Guatemalaren mendebaldea eta ipar-mendebaldea. Honela, Karibeko itsasorik ez daukan Erdialdeko Amerikako herrialde bakarra da 1. Irudian ikus daitekeen moduan:



1. Irudia. El Salvadorren kokapen geografikoa.

Bere kokapena dela eta, klimatologia tropikala daukan herrialdea da. Hau dela eta badira urtean zehar ondo bereizten diren bi sasoi: sasoi lehorra eta euritsua. Sasoi lehorrak azarotik apirilera irauten du, non urteko prezipitazioen %20-a baino gutxiago gertatzen diren eta euritsuak aldiz maiatzetik urrira. Hala ere nahiz eta bi sasoi bereizi, urtean zehar temperatura nahiko konstante mantentzen da eta ez da 20 °C-tik jaisten hurrengo 2. Irudian erakusten den bezala:



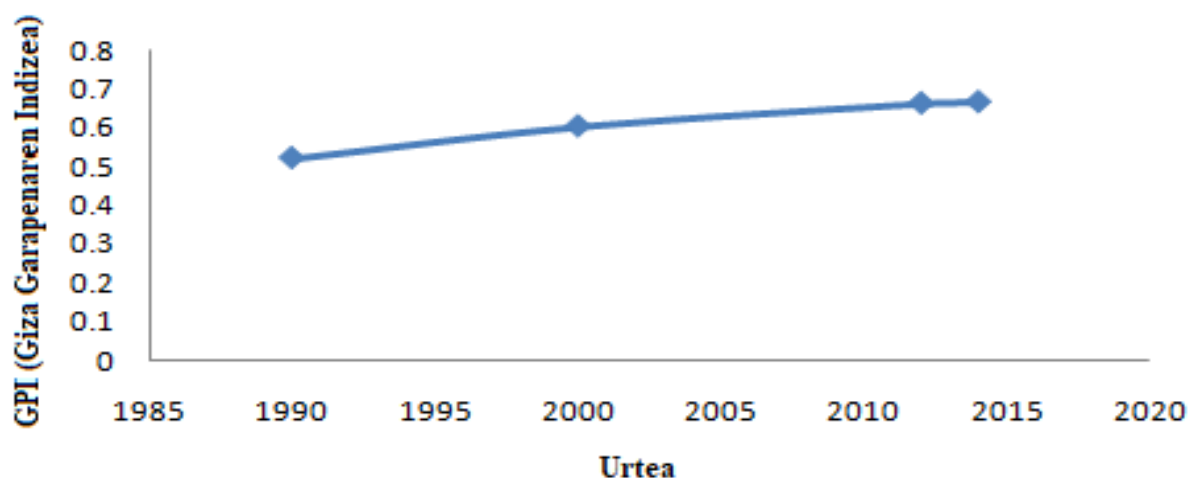
2. Irudia. Urtean zeharreko prezipitazioak eta tenperaturak.

Urteko prezipitazioen batz bestekoa 1.784 mm-takoa da, baina herrialdeko zonalde ezberdinak hartuz gero prezipitazioak kokapen geografikoaren arabera asko aldatzen dira. Hala nola, zonalde menditsuan non Santa Ana eta Izalco sumendiak aurkitzen diren, 2.400 mm-ko urteko prezipitazioak erregistratu daitezke. Bestalde demografiari dagokionez 2013.urteko datuen arabera herrialdeko biztanleria 6.340.000 biztanlera igo egin zen zeinen %34-a landa-eremuetan bizi den. Izan ere 2003 eta 2013 urteen artean biztanleria urtero %0,5-eko gorakadak izan zituen.

Ekonomia aldetik garatzen jarraitzen duen herrialdea da eta hainbat sektore dira garapen hau gehienbat aurrera eramaten ibili direnak: nekazaritza, abeltzaintza, basogintza, arrantza eta meatzaritza. Hala eta guztiz ere egoera latza izaten jarraitzen du, 2010-etik 2016-ra soilik %1,9-ko garapena izan duen herrialde baten aurrean aurkitzen gara eta. Izatez, azken urteotako garapena hain motela izan denez, Erdialdeko Amerikako garapenik baxuena izan duen herrialdearen postuan kokatzen da. Garapen motelegi honek ez du asko lagundu pobreziaren murrizketan eta zer esanik ez landatar pobrezian, non pobreziaren kontzentrazio handiena aurkitzen den. Baina nahiz eta landa eremuetan pobrezia handiagoa izan, azken urteotan hiritar pobrezia baino gehiago murriztu egin da.

Azken urteotako egoera larria dela eta, Nazio Batuak lantzen duen Giza Garapenerako Indizean zeinetan herritarren bizi maila erakusten den, adierazi du El Salvadorreko herritarrek bizi kalitate txarra dutela. Honen azalpena bada azken urteotan El Salvadorrek erakutsi duen garapen eskasa 3. Irudian ikus daitekeen moduan, baina azken urteotako garapena oso eskasa

izan arren urte honetan (2018) %1,8-ko garapena espero da, ia 2010-etik 2016-ra emandako garapenaren berdina (ONU-AA El Salvador, 2015).



3. Irudia. Bizi Garapen Indizearen urteekiko bilakaera.

Uraren egoerarekin bueltatuz, aipatzekoa da El Salvadorren arazoa ez dela ur falta, baizik eta honen erabilera txarra, ur-horniketarako sarreren falta, banaketa sareetan emandako ur galerak, ur-errekurtsoen kontaminazioa, ur-banaketaren desberdintasunak eta enpresa-interesak. Egoera hau dela kausa El Salvadorrek %40,5-eko uraren mendekotasuna dauka, baliabide hidrikoen parte handi bat auzoko herrialdeetatik jasotzen dituela adierazten duena.

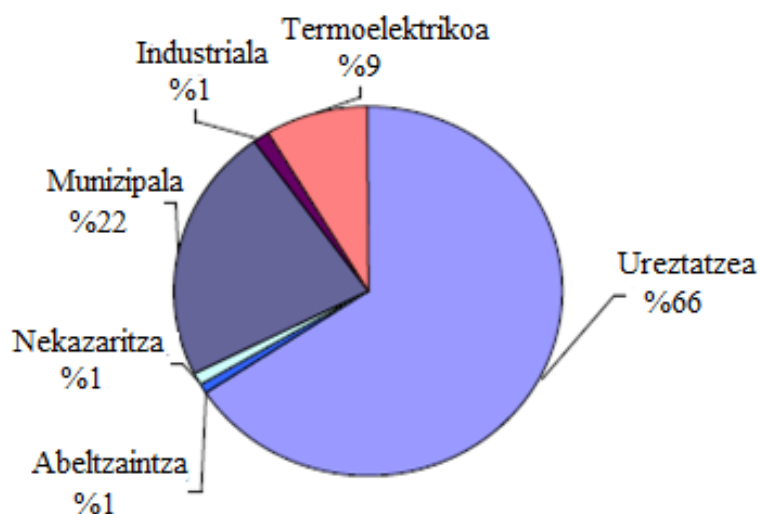
Hurrengo 1. Taulan El Salvadorreko baliabide hidrikoen hainbat datu ageri dira, aipaturiko prezipitazioen eta mendekotasun tasaren datuak besteak beste:

1. Taula. El Salvadorren ur gezaren baliabide hidriko berriztagarrien datu aipagarrienak.

Prezipitazioa	-	1.784	mm/urte
	-	37.535	milioi m ³ /urte
Barneko errekurtsio hidriko berriztagarriak	-	15.630	milioi m ³ /urte
Errekurtsio hidriko berriztagarri totalak	-	26.266	milioi m ³ /urte
Mendekotasun tasa	-	40,5	%
Biztanleko errekurtsio hidriko berriztagarri totalak	2013	4.143	m ³ /urte
Presen ahalmen totala	2013	3.880	milioi m ³

Iturria: ONU-AA El Salvador, 2015.

Erabilera aldetik El Salvadorrek nekazaritza sustatu ahal izateko landen azalera handi bat dauka. Beraz, logikoa denez uraren parterik handiena (%66) sektore honetara zuzenduta dago hurrengo 4. Irudian ikus daitekeen moduan (ONU-AA, El Salvador, 2015):



4. Irudia. Sektorearen arabeko uraren erauzteak.

Baina arazoa ez da soilik ura sektore honetara gehienbat zuzenduta egotea, baizik eta lur hauetan erabiltzen diren nekazar-kimikoak. Honi aurretik aipaturiko ur arazoak gehituz gero, herritarren egoera oso latz batera heltzen da, non biztanleriaren zati handi batek kutsaturik dagoen ura edaten duen. Hain da larria arazoa non urtero giltzurrunetako arazoaren ondorioz jendea hiltzen den.

Ondorioz, herrialde pobrea dela eta uraren egoera kontuan edukita hondakin-urak tratatu ahal izateko merkeak, berriztagarriak, mantenu oso eskasa eta ingurugiroa kaltetzen ez duten alternatibak erabiltzen hasi den herrialdea da. Alternatiba hauen artean biojardinerara aurkitzen da, non etxeetan sortzen diren hondakin-ur grisak hemen tratatu ostean lurren ureztatzean erabili ahal diren. Gainera, honekin luraren kontaminazioa ere saihestu egiten da.

2.2. BIOJARDINERA

Biojardinerak edota hezeguneak hondakin-uren tratamendurako erabiltzen diren ekosistema konplexuak dira, zeinek substratuz, landaretzaz, mikroorganismoaz eta urez osaturik dauden. Unitate hauei buruzko ikasketak 50. hamarkadan egiten hasi ziren eta garatuak izan ziren 1970 eta 1980. urteetan. 1990. urtetik aurrera sistema natural hauen erabilera ireki egin zen eta gaur egun populazio multzo txikien saneamendurako erabiltzen dira (García et al, 2004).

Tratamenduaren bigarren pauso moduan erabiltzen da, behin elementu astun eta koipetsuak aurretik kendu ondoren. Normalean etxeetako ur grisak (gorozkirik eta gernurik gabeko urak) tratatzeko erabiltzen dira, baina dimentsio handiagoko proiektuetan ere erabil daitezke, hala nola komunitateak, industriak etab.

Ur grisak gorozkirik eta gernurik gabeko urak dira, konketa, ureztagailu, dutxa, sukaldeko harraska eta arropen garbiketarik datozen etxeen urak hain zuzen ere. Honen ezaugarriak datozen iturriaren arabera dira, hau da, kutsatzaileen kontzentrazioak eta motak erabiltzailearen bizitza mota eta ohituren arabera izango da gehienbat. Ur beltzekin

konparatuz gero, hauek nutrienteen eta materia organikoaren karga baxua daramate (Ochoa, 2007). Hala ere badaude ur grisetan eragina daukaten hainbat parametro, hala nola parametro fisikoak, kimikoak eta biologikoak eta mikrobiologikoak.

Parametro fisikoekin hasiz garrantzitsuenak temperatura eta esekiturik dauden solidoak dira. Normalean ur grisak 18 eta 38 °C artean egoten dira baina aipatzekoa da temperatura oso altuek arazoak sor ditzaketela, hauek hazkunde mikrobiologikoa faboratu egiten dute eta (Sierra, 2006).

Esekiturik dauden solidoekin jarraituz, hauek batez ere sukaldean eta garbitegian sortzen dira.

Parametro kimiko eta biologikoei dagokionez, ur grisen oxigenoaren eskaera biokimikoa (DBO) eta oxigenoaren eskaera kimikoa (DQO) iturriaren arabera aldatzen dira hurrengo 2. Taulan erakusten den moduan:

2. Taula. Iturriaren arabera DBO eta DQO kontzentrazioen balioak.

Iturria	DQO (mg/l)	DBO (mg/l)
Bainugela	184-633	76-300
Garbitokia	725-1.815	48-472
Sukaldea	26-1.380	5-1.460

Iturria: Sierra, 2006.

Bestaldetik ur grisetan aurkitzen den nitrogenoaren kontzentrazioa (0,6-7,4 mg/l) etxeetako uretan aurkitzen dena baino baxuagoa da (20-80 mg/l). Izan ere etxeetako uren nitrogenoaren iturriak nagusia gertu da eta aurretik aipaturiko moduan ur grisak gerturik eta gorotzik gabeko urak dira (Sierra, 2006).

Fosforoari dagokionez iturriak nagusia detergenteak dira eta fosforo kontzentrazio altuak dituzten detergenteak erabiltzen dituzten zonaldeen etxeen uretan 6-23 mg/l-rainoko fosforo kontzentrazioak aurkitu dira (Sierra, 2006).

Azkenik ur grisetan aurkitzen den pH-a 6,5-8,7 bitartekoa izan ohi da (Schneider, 2009).

Parametroekin bukatuz, parametro mikrobiologikoak aurki daitezke. Izan ere ur grisek adierazle fekalen kantitate adierazgarriak izan ditzakete, mikroorganismo patogenoen presentziaren adierazlea. Ur mota hauetan egotea normala da, izan ere eskuak garbitzerakoan, arropa garbitzerakoan etab-etan erabilitako uretan ageri dira.

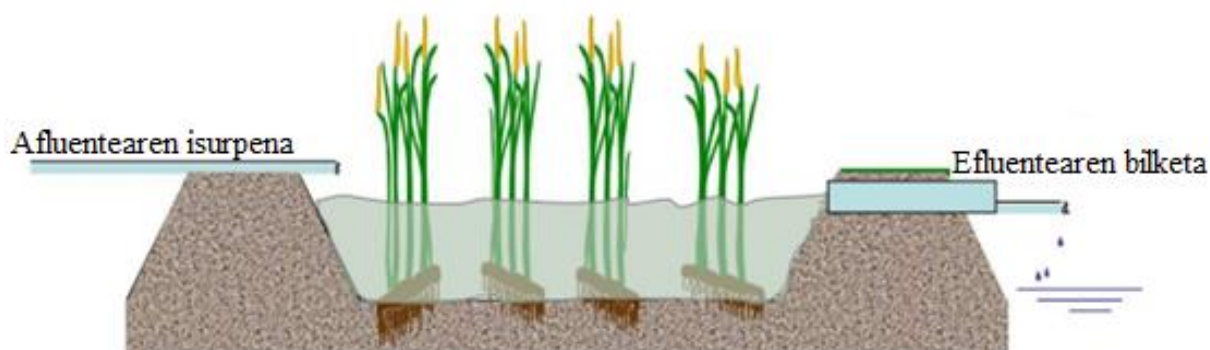
Organismo fekalen kontzentrazioa iturriaren arabera da (Schneider, 2009):

- Ur beltzak : 10^6 - 10^8
- Sukaldeko ur grisak: 10^7
- Garbitokiko urak: 10^1 - 10^4
- Bainugelako urak (dutxa, konketa) : 0 - 10^3

2.2.1. Biojardinera motak

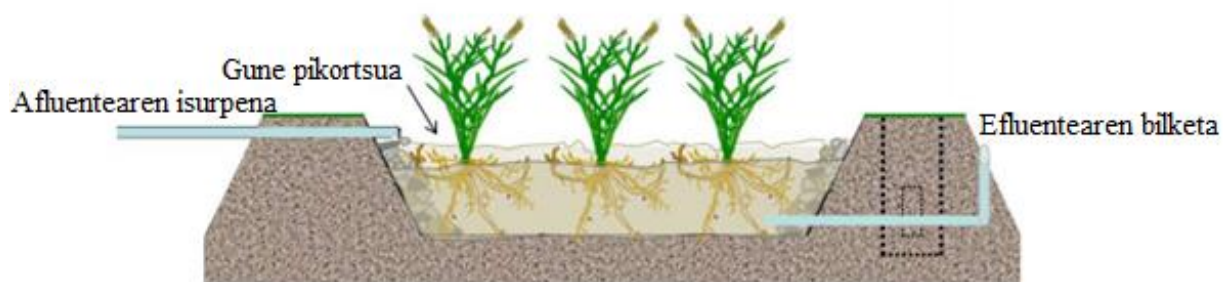
Sistema hauek uraren zirkulazioaren arabera bi motetan sailkatzen dira: gainazaleko fluxudunak eta subgainazaleko fluxudunak. Gainazaleko fluxua daukaten biojardineretan ura goiko aldean kokatuta dago atmosferarekin kontaktu zuzenean, eta gehienbat landareen hosto eta zurtoinetatik jario, landaretza uretan murgildurik dago eta. Normalean biojardinera mota hauek uraren sakonera baxua erakusten dute, 0,3 eta 0,4 m bitartean eta ohikoa da aurretik jada araztaile batean tratatua izan den uraren kalitatea hobetzeko erabiltzea. Bestaldetik, subgainazaleko fluxua daukaten biojardineretan, ura lur azpitik garraiatzen da gune pikortsu batean zehar eta sustrai eta errizomekin kontaktuan. Uraren sakonera gainazaleko fluxudunetan baino handiagoa da, 0,3 eta 0,9 m bitartean. Gune pikortsuan, sustraietan eta errizomei atxikituta hazten den biofilm-ak funtsezko zeregina dauka uren deskontaminazio prozesuetan (Garcia eta Corzo, 2008).

Subgainazaleko fluxudun biojardinerak gainazaleko fluxudunekin konparatuz, badaude hainbat ezberdintasun nagusi: tratamendurako ahalmen handiagoa (karga organiko handiagoa onartzen dute) eta pertsonak ura ukitzeko eta intsektuak agertzeko arriskua txikiagoa da. (Garcia eta Corzo, 2008). Ondoren 5. Irudian gainazaleko fluxua duen biojardinera baten eskema ikus daiteke:



5. Irudia. Gainazaleko fluxua daukan biojardinera.

Subgainazaleko fluxua erakusten duten biojardinerekin jarraituz, bi mota bereizten dira: fluxu horizontala daukatenak eta fluxu bertikala daukatenak. Fluxu horizontaldunak izen hori hartzen dute ur grisak sarreran elikatzen direlako eta gune pikortsu, sustrai eta errizometan zehar horizontalki jariatzen direlako biojardineraren irteera arte. Uraren sakontasuna 0,3 eta 0,9 m bitartekoa da eta gainazaletik 0,05 eta 0,1 m beherago aurkitzen da (Garcia eta Corzo, 2008). Ur grisak zonalde pikortsuan zehar doazen bitartean, hainbat gune ezberdinekin topatuko dira: aerobikoak, anaerobikoak eta anoxikoak (Vymazal eta Kröpfelová, 2008). Biojardinera mota hauek hainbat elementu garrantzitsuz osaturik daude: sarrerako urarentzako egitura, hondo eta aldean inpermeabilizazioa, gune pikortsua, gune hezeetan ohikoak diren landaretza eta uraren irteerako estruktura mugikorak, era honetan uraren nibela kontrolatu ahal izateko. Aipaturiko inpermeabilizazioa garrantzi handikoa da, izan ere lur azpiko uraren kontaminazioa saihesteko sistema bat da (Garcia eta Corzo, 2008) ondorengo 6. Irudian ikus daitekeen moduan:



6. Irudia. Fluxu horizontaleko subgainazaleko biojardiner.

6. Irudian ezberdindu daitekeen moduan, sarreran eta irteeran handiagoak diren harriak kokatzen dira eta hauek normalean legarrez (batzuetan arez osaturik daude) osaturik dagoen oinarriko gunetik ezberdintzen dira. Gune pikortsu honetan garrantzizko hainbat prozesu gertatzen dira, hala nola esekiduran dauden materiaren sedimentazioa eta erretentzioa, materia organikoaren degradazioa, nutrienteen eraldaketa eta asimilazioa eta mikroorganismo patogenoen desaktibazioa. Gune hau garbia, homogenea, gogorra, iraunkorra eta forma denbora luzez mantentzeko gai izan behar da. Gainera landaretzaren eta biofilm-aren garapen on bat onartu behar du (Garcia eta Corzo, 2008).

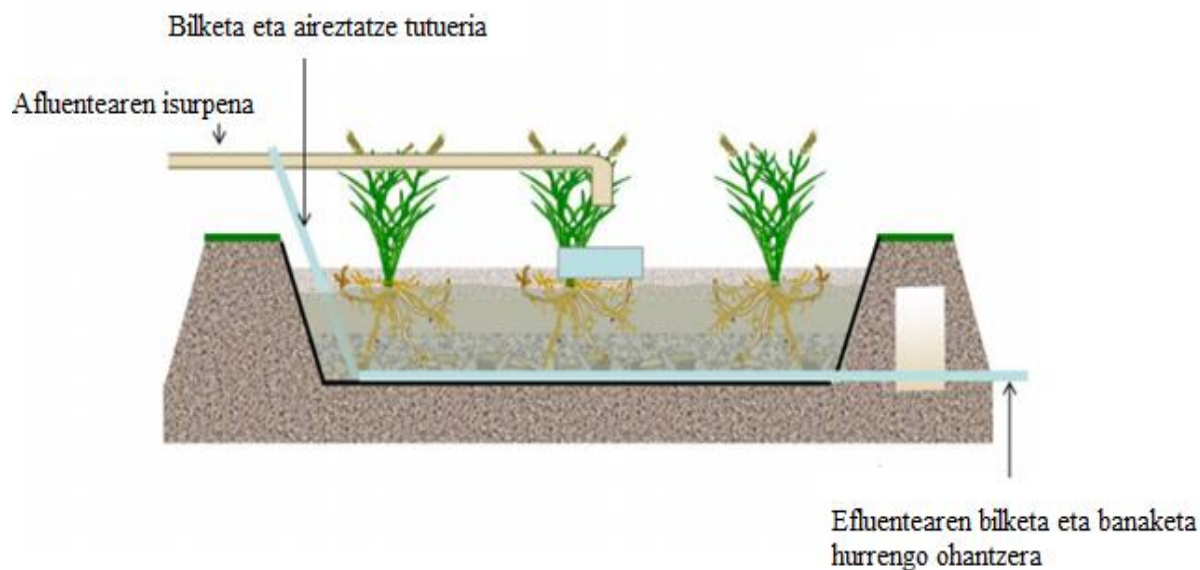
Azkenik gune pikortsuari dagokionez, badaude kontuan hartu behar diren bi aspektu, porositatea eta konduktibitate hidraulikoa. Oso garrantzitsuak dira, izan ere propietate hauen arabera izango da bertatik jarion uraren emaria eta hauen balioak erabilitako materialaren arabera aldatzen dira ondoko 3. Taulan adierazten den moduan:

3. Taula. Gune pikortsuetan erabilitako material ezberdinen ezaugarriak.

Gune mota	Tamaina efektiboa d10 (mm)	Porositatea (ps)	Konduktibitate hidraulikoa (m/d)
Hare erdia	1	0,30	492,00
Hare larria	2	0,32	984,00
Hare harritsua	8	0,35	4.920,00
Tarteko legarra	32	0,40	9.840,00
Legar lodia	128	0,45	98.400,00

Iturria: Manual de depuración de aguas residuales urbanas.

Lehenago aipatu den moduan fluxu horizontaldun biojardineraz aparte badaude ere fluxu bertikala daukatenak. Kasu hauetan uraren jarioa bertikala da eta gune porotsuaren altuera 0,5 eta 0,8 m bitartekoa. Fluxu horizontaldunekin konparatuz, hauek tratamendurako ahalmen handiagoa daukate, izan ere karga organikoa tratatzeko behar duten azalera txikiagoa da, baina badaukate arazo bat eta bada lohiz betetzeari sentikorak direla. Osaturik dagoen elementuak fluxu horizontaldun biojardineraren berdinak dira baina mota hauetan batzuetan aireztatzekeo tutueriak jartzen zaie (ohantzea aireztatzen dute, era honetan nitrifikazio eta degradazio aerobikoko prozesuak hobetuz eta faboratuz) (Garcia eta Corzo, 2008), ondorengo 7. Irudian ikus daitekeen moduan:



7. Irudia. Fluxu bertikala duen subgainazaleko biojardinerara.

7. Irudian ohartu daitekeen moduan, gainazalaren gainetik doazen tutueriak erabiltzen dira, oso garrantzitsua da eta uraren distribuzio eta bilketa uniforme bat lortzea sistema osoan zehar. Uraren bilketa egiteko ohandzearen hondoan zehar tutueria bat kokatzen da (Garcia eta Corzo, 2008).

Azkenik gune pikortsuari dagokionez hemen ere garbia, gogorra, iraunkorra eta bere forma denbora luzez mantentzeko kapaza izan behar da. Baina hemen gune pikortsua heterogeneoa da, 7. Irudian behatu daitekeen moduan, hiru geruza ezberdintzen direlako eta bakoitzak granulometria ezberdina aurkezten duelako, ohandzearen hondoan handiagotu egiten dena. Goiko geruza hondar lodikoa da, erdikoak legarrezkoa eta hondokoa legar lodikoa (Garcia eta Corzo, 2008). Beraz, hau esanda, 3. Taulan material mota bakoitzerako agertzen diren porositatea eta konduktibitate hidraulikoa ere kontuan edukitzea komenigarria da.

Normalean subgainazaleko fluxua daukaten biojardinerak erabiltzen dira eta nahiz eta gehienbat abantailak izan badauzkate garrantzi handikoak ez diren desabantailak ere (Mira, 2008). Lehenengoan artean aipatzekoak dira:

- Mantentzea erreza eta minimoa da.
- Lorturiko eraginkortasuna beste tratamenduetan lortzen dena baino altuagoa izan daiteke.
- Emariaren eta sarrerako kargaren aldaketak jasan ditzake.
- Konstrukzio, energia eta esplotazio kostuak oso baxuak dira.
- Ez dira usainik agertzen eta intsektuekin arazorik ere ez.
- Paisaian ondo integratzen dira.
- Honen garapena garbiki naturala da eta ez dauka inolako mugarik.

Aldiz aipaturiko moduan teknologia honek ere baditu zenbait desabantaila, besteak beste:

- Lur eremu handien beharra dauka.
- Martxan jartzeak 3 eta 6 hilabeteen artean irauten du.

- Sistema operazioan behin sartzen dela ez dauka kontrolerako posibilitaterik.
- Eraginkortasun maximoa aurkezteko landaretzaren hiru estazio beharrezkoak dira.

Abantailak eta desabantailak konparatuz gero antzematen da nola abantailak pisu handiagoa daukaten. Hori dela eta aukera oso ona dela esan daiteke batez ere errekurtsorik ez daukaten herrialdeetan.

2.2.2. Biojardineraren diseinua

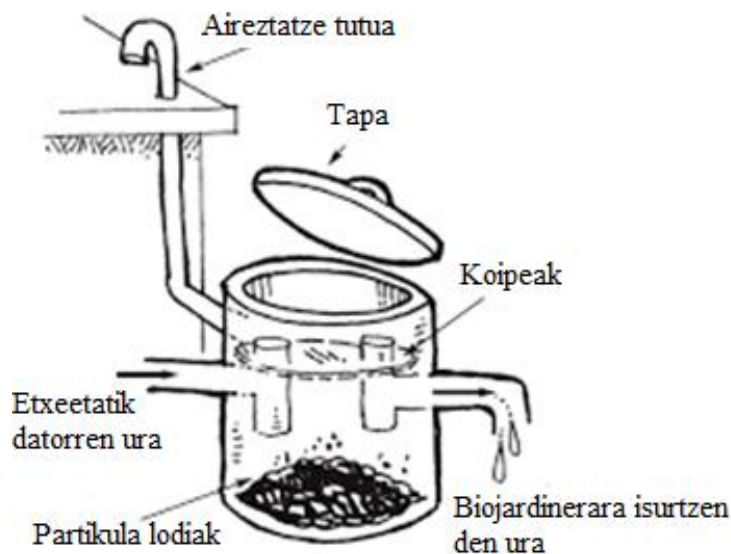
Biojardineraren baten diseinua hiru tratamendu ezberdinetan sailka daiteke: tratamendu primarioa edota pretratamendua, tratamendu biologikoa (biojardinerara) eta isurpena edo ustiapena (Rosales, 2006).

Biojardineraren baten diseinua burutu aurretik ezinbestekoa da kontuan edukitzea etxeetatik datozen ur grisek sedimentuak dauzkatala, xaboia adibidez. Hau biojardineran jarraian sartuz gero erabilitako legarra batez ere material honetaz oso azkar beteko litzateke, beraz arrazoi honegatik garrantzi handikoa da ur grisaren emaria biojardinerara sartu aurretik pretratamendu bat aplikatzea.

Esandako moduan lehenengoz tratamendu primarioa gauzatzen da. Etapa honetan solidoen kantitate handiena banatzen da, bai flotatzen daudenak zein astunenak. Hauen banaketa dekantazioaren bidez burutu daiteke, hauek azpiko aldean geldituz. Bestaldetik koipeen eta detergenteen banaketa ere burutzen da baina hauek deposituaren goiko aldean gelditzen dira.

Normalean bigarren depositu bat seriean jartzen da, lehenengoaren ezaugarri berdinak daukanak. Hau lehenengo deposituan banatu ez diren solidoak eta koipeak banatzeko erabiltzen da honela biojardinerara sartzen den ur grisaren garbiagoa egongo da eta lorturiko eraginkortasuna hobetuko da.

Oso garrantzitsua da aireztapen hodi bat kokatzea, izan ere bertan eratzen diren usain txarreko gasak kanporatu behar dira. Pertsonak molestatzen ez duten altuera bateraino igo behar dira eta soilik lehenengo tankean ezartzen da, honela bigarren tankean eratzen diren gasak lehenengo tankera pasako dira urik ez daukan gunea aprobetxatuz. Hurrengo 8. Irudian tratamendu primarioan erabiltzen den tanke bat argi ikus daiteke:



8. Irudia. Tratamendu primarioan erabiltzen diren tankeak.

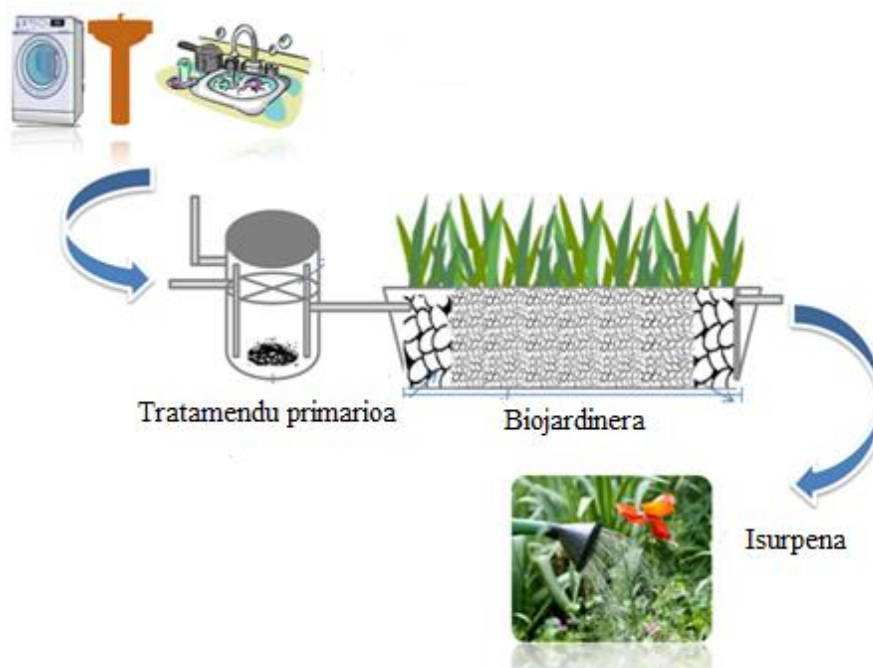
Behin tratamendu primarioa pasa ondoren tratamendu biologikoa (biojardinerara) gertatzen da. Hau etaparik garrantzitsuena da, hemen ur grisaren garbiketa gertatzen da, hala nola ur grisak dauzkan nutrienteak, materia organikoa etab. Biojardinerara harriz edo legarrez beteta dago, filtrazio moduan funtzionatzen dutenak, honela uretan disolbaturik gelditu diren partikulak harrapatuz.

Landareek ur grisek dauzkaten nutrientez elikatzen dira eta bestaldetik mikroorganismoak daude. Hauek tratamendu biologikoa egiten dutenak dira eta burutzen dituzten prozedurarik garrantzitsuenak ondokoak dira: materia organikoaren degradazioa, nutrienteen ezabapena eta desinfekzioa. Beraz, hiru gertaera hauek batuz eta dimentsionaketa on bat eginez, eraginkorra den sistema bat aurkitzen da.

Normalean erabiltzen den biojardinerara mota fluxu horizontalekoa da, lehenago azaldu den moduan.

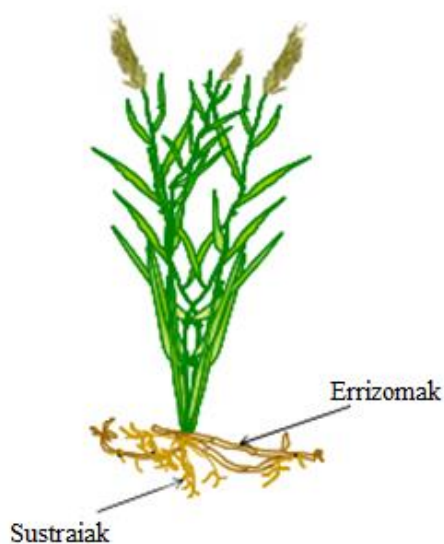
Azkenik tratamenduekin bukatzeko isurpena edo ustiapena gauzatzen da. Ur grisa jada biojardineratik pasatu denez, materia organiko gehiena galdu du, honen kontzentrazioa biojardineraren eraginkortasunaren araberkoa izanik. Hau da, biojardinerak ondo funtzionatzen badu, ur argia eta arerik gabekoa lortzen da ondoren landareen ureztatzerako gehienbat berrerabili daitekeena.

Behin hiru tratamenduak azaldu ondoren hurrengo 9. Irudian prozesu osoaren eskema lagungarria beha daiteke:



9. Irudia. Sistema osoaren eskema.

Biojardineraren diseinua burutzerakoan ezinbestekoa da landaretzaren selekzio on bat egitea, hau biojardinerak erakutsiko duen errendimenduaren pilare garrantzitsuenetariko bat izango baita. Izatez, mundu mailan gehienbat erabiltzen diren landareak makrofitoak dira, hala nola lezka (*Phragmites*) eta zintabelarrak (*Typha*). Baina Europa mailan orokorrean lezka landarea erabiltzen da, metro karratuko hiru ale kokatuz hain zuzen ere (Garcia eta Corzo, 2008). Hurrengo 10. Irudian aipaturiko *Phragmites* landare mota baten eskema ageri da:



10. Irudia. Lezkaren irudi eskematikoa (*Phragmites australis*).

Landare hauen sustraiak eta errizomak biofilm-aren hedapenerako ezinbestekoak dira, izan ere biofilm-a landareen lur azpiko gunetan eta gune pikortsuetan hazi egiten dira. Sustraien inguruan mikroinguru aerobikoak eratzen dira non oxigenoa erabiliz prozesu mikrobianoak

gertatzen diren. Landareak jada garatuta daudenean gune pikortsura heltzen den argiaren intentsitatea murriztu egiten dute, modu honetan arazketa prozesuan eragiten duten tenperatura-gradiente altuak saihestuz eta era berean klima hotzetan landareak hozketatik babestuz. Bestaldetik landareek nutrienteen eliminazioan parte hartzen dute, izatez nitrogenoaren %10-a eta fosforoaren %20-a ezabatzen dute hauek asimilatuz (Garcia eta Corzo, 2008).

Sisteman erabiliko den landare espeziaren hautaketa garrantzi handikoa da eta eskualdeak dauzkan ezaugarrien arabera egin behar da. Hona hemen kontuan edukitzea komeni den hainbat gomendio (Garcia eta Corzo, 2008):

- Espezieek kolonizatzaile aktiboak izan behar dira.
- Azalerako biomasa garrantzitsu bat lortzen duten espezieak izan behar dira, era honetan nutrienteen asimilazio maximoa lortuz.
- Lur azpiko biomasak azalera espezifiko handia eduki behar du biofilmaren hazkuntza sustatuz.
- Oxigeno garraio eraginkorra duen sistema eduki behar dute, oxigenoa lur azpiko guneetara eramanez eta degradazio aerobikoa eta nitrifikazioa sustatu.
- Inguruneko baldintzetan ondo hazten diren espezieak izan behar dira.
- Produktibitate handia duten espezieak izan behar dira.
- Ur grisek daramaten kutsatzaileak toleratzen dituzten espezieak izan behar dira.
- Lekuko florako espezieak izan behar dira.

3. MODELOAREN GARAPENA

Aurretik azaldu den moduan biojardineraren tratamendua prozesuko etaparik garrantzitsuen da, izan ere bertan ur grisek daramaten materia organikoa eliminatzen da (araztu) behin honela isurketarako prestatuz. Hau dela eta lan honetan biojardineraren ohantzean gertatzen diren prozesu biokimikoak planteatu egin dira instalazioaren portaera simulatzen duen modelo matematikoa garatuz. Hau burutzeko balantzeak eraiki egin dira, bai sustratuaren kasurako eta mikroorganismoen kasurako. Era honetan behin balantzeak proposatuz gero Scilab erabili egin da simulazio erreminta moduan kontzentrazio aldaketak egoera ezberdinetan irudikatuz.

Biojardinerara bat ur grisen arazketarako sistema bat denez eta normalean erabiltzen den parametro garrantzitsuenetarikoa bat DBO_5 parametroa denez, hemendik aurrera biojardinerara sartzen den sustratuaren kontzentrazioa DBO_5 kontzentrazioa dela kontsideratu da.

Modeloa eraikitzeko hainbat egoera planteatu egin dira, egoera sinpleenetik hasiz egoera konplexu batera ailegatuz. Egoera sinpleena egoera egonkorraren modelizazioa izan da, behin hau aktibitatea erakusten duela ikusita egoera ez-egonkorra planteatuz. Ondoren egoera egonkorrean hainbat kontsiderazio ezberdin egin dira, helburutzat errealitatera gehien hurbiltzen den modeloa eraikiz, baina beti ere parametro ezberdinek instalazioan sortzen duten eragina aztertuz eta ulertuz.

3.1. EGOERA EGONKORRA

Biojardineratik sartzen eta irteten den bolumena antzekoa denez ohantze finkoko errektore bat balitz moduan kontsideratu daiteke, hurrengo 11. Irudian aurkezten den moduan:



11. Irudia. Ohantze finkoko errektore baten eskema.

Hau da planteatu den modelorik sinpleena eta balantze guztietan bezala (edozein egoeratan) ondorengo terminoak kontsideratu egin dira:

$$Metatu = Sartu - Irten + Sortu \quad (1)$$

Egoera geldikorra denez ez da metaketarik kontsideratzen, beraz sustratuaren masa balantzearekin hasiz:

$$0 = QS - Q(S + dS) - r_s dV \quad (2)$$

$$0 = QS - QS - QdS - r_s dV \quad (3)$$

$$dV = Adz \quad (4)$$

$$0 = -QdS - r_s Adz \quad (5)$$

$$QdS = -r_s Adz \quad (6)$$

$$\frac{dS}{dz} = -\frac{A}{Q} r_s \quad (7)$$

Kontuan hartuz A zeharkako azalera dela (altuera, H , eta sakoneraren, W , arteko biderkadura) eta Q biojardineratik jarion emari bolumetrikoa, (7) ekuazioa emariaren eta sekzioaren arteko zatiketa adierazten duen abiadura linealaren menpe jar daiteke. Abiadura lineala konstante dela kontsideratu da momentuz likidoaren dentsitatea konstante dela suposatu delako, era honetan sustratuaren erreakzio abiadurak hurrengo forma hartuz (Clark eta Blanch, 1997):

$$-r_s = V \frac{dS}{dz} \quad (8)$$

Sustratuaren erreakzio abiadura negatiboa da ondoren azaldu den mikroorganismoen eraginaren ondorioz desagertuz joango delako, horrela biojardineraren ur grisen arazketa burutuz.

Prozedura berdina jarraituz mikroorganismoen masa balantzea planteatu da:

$$0 = QX - Q(X + dX) + r_x dV \quad (9)$$

$$0 = QX - QX - QdX + r_x dV \quad (10)$$

$$0 = -QdX + r_x dV \quad (11)$$

$$QdX = r_x dV \quad (12)$$

(4) ekuazioa aplikatuz,

$$\frac{dX}{dz} = \frac{A}{Q} r_x \quad (13)$$

Sustratuaren kasuan egindako kontsiderazio berdina aplikatuz gero abiaduraren menpe ere jarri da mikroorganismoen erreakzio abiadura (Clark eta Blanch, 1997):

$$r_x = V \frac{dX}{dz} \quad (14)$$

Kasu honetan aldiz erreakzio abiadura positiboa da mikroorganismoek izango baitira sustratuz elikatzen direnak, hau da, materia organikoz.

Baina sustratuaren eta mikroorganismo kontzentrazioen aldaketa biojardineraren luzerarekin nola aldatzen den ikusteko erreakzio abiadurei modelo zinetiko bat aplikatu behar zaie. Kasu honetan Monod-en modeloa aplikatzea erabaki da, modelo zinetiko honek sustratuaren eta mikroorganismoen arteko elkarrekintzak deskribatzen dituelako (Clark eta Blanch, 1997). Behin Monod-en zinetika aplikatuz (15), (7) eta (13) ekuazioek hurrengo itxura hartzen dute:

$$\mu = \mu_m \frac{S}{K_s + S} \quad (15)$$

$$\frac{dS}{dz} = -\frac{A}{Q} \mu X \quad (16)$$

$$\frac{dX}{dz} = \frac{A}{Q} (\mu - K_d) X \quad (17)$$

Behin Monod-en zinetika ezarri ondoren eta sustratuaren eta mikroorganismoen kontzentrazioen aldaketak biojardineraren luzerarekiko konparatuz gero aipatzekoa da mikroorganismoek daukaten heriotza fasea, K_d parametroarekin zehazten dena hain zuzen ere. Heriotza fasea garrantzitsua da, helduko delako momentu bat non sustratuaren kontzentrazioa agortzen joango den eta hortaz mikroorganismoen populazioa txikitzen joango den (Clark eta Blanch, 1997).

Bestaldetik errendimendua aipatzea ere ezinbestekoa da. Errendimenduak biomasaren hazkuntza erabilitako sustratuarekiko adierazten du (Clark eta Blanch, 1997), eta era honetan adierazten da:

$$Y_{xs} = \frac{dX}{dS} \quad (18)$$

Errendimenduaren parametroa soilik sustratuaren balantzean erabili da, izan ere biojardineraren helburua bada sustratua, hau da, materia organikoa eliminatzea eta hau biomasaren (mikroorganismoen) laguntzaz gehienbat lortu egiten da. Logikoa denez mikroorganismoek ez dute sustratu guztia metabolizatzen pertsonekin gertatzen den moduan. Ondorioz (18) ekuazioan ageri den parametroa (16) ekuazioan ezarriz:

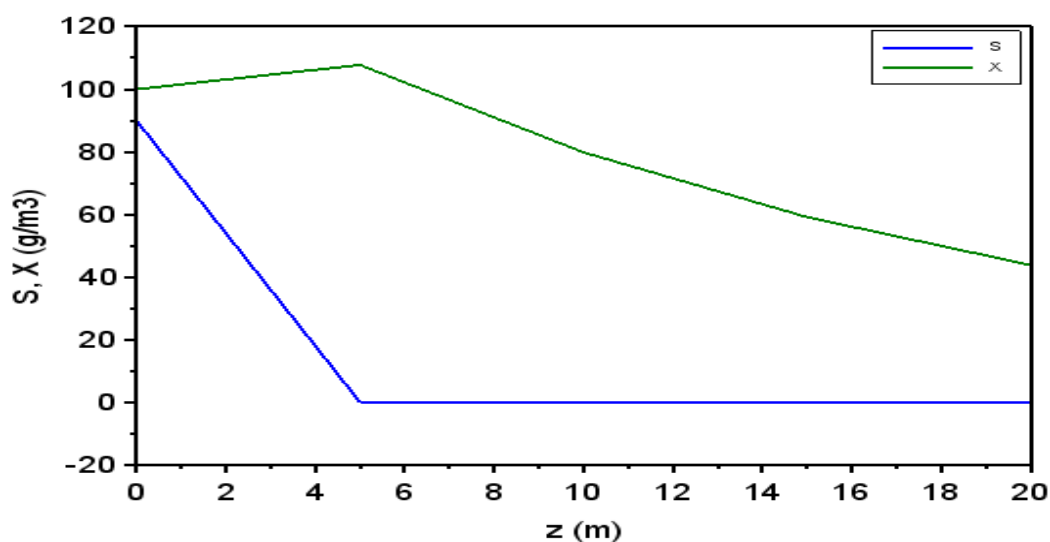
$$\frac{dS}{dz} = -\frac{1}{Y_{xs}} \frac{A}{Q} \mu X \quad (19)$$

Hortaz Scilab programan sustratuaren eta mikroorganismoen kontzentrazioen eboluzioa luzerarekiko moldatu egin dira, aldez aurretik aldagai batzuk finkatuz. Parametroen balioak aukeratzeko ez da erreferentzi bibliografikorik kontuan eduki, honen helburura sistemak aktibitatea erakusten duen edo ez ikustea baita. Finkaturiko parametroak 4. Taulan ageri dira:

4. Taula. Egoera egonkorrean erabilitako datuak.

Q (m^3/h)	0,1
A (m^2)	6
μ_m (h^{-1})	1/24
K_s (g/m^3)	50
Y_{xs} (%)	50
K_d (h^{-1})	0,001
S_{in} (g/m^3)	90
X_{in} (g/m^3)	0
S_0 (g/m^3)	90
X_0 (g/m^3)	100

Behin parametroak finkatuta, (17) eta (19) ekuazioak Scilab programan ezarri egin dira ondorengo 12. Irudia emaitzatzat erakutsiz:



12. Irudia. Sustratu eta mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa luzerarekiko egoera egonkorrean.

12. Irudian ikus daiteke nola sustratuaren eta mikroorganismoen hasierako kontzentrazioak biojardineran hasiera batean dagoen ur grisaren kontzentrazioekin bat egiten dutela. Aipatzekoa da nahiz eta biojardinerara elikatzen den ur grisak mikroorganismorik ez eduki, biojardinerara jada ur grisez beteta dagoela kontsideratu egin dela, era honetan mikroorganismoen kontzentrazio baxua aurkeztuz.

Aurretik aipatu den moduan argi ikusten da nola sustratuaren kontzentrazioa mikroorganismoen kontzentrazioa hasten denean jaitsi egiten dela, sustratuaren kontzentrazioa agortu eta egonkortzen den arte. Gainera biojardineraren luzera ikusita lehenengo 5 metrotan jada ur grisa sustraturik gabe gelditu egiten da eta hortaz ez da beharrezkoa izango biojardinerara luzeago baten eraikuntza. Hala ere, gunea hori erreserba moduan geldituko da, behin hasierako gunea agortzen doan bitartean hau aktibitatea erakusteko kapaza izango delako, honela ur grisaren arazketarekin jarraituz.

Nahiz eta modelo honek aktibitatea erakutsi eta beraz atal honen helburua lortu ez da biojardinerara erreal batera hurbiltzen. Ondorioz pausuak ematen jarraitu dira modelo konplexuago bat pixkanaka eraikiz. Nolanahi ere egoera hau egoera egonkorreko modelotzat har daiteke ondoren egin diren aurrerapenetan.

3.2. EGOERA EZ-EGONKORRA

Egoera geldikorreko materia balantzea arrakastarekin burutu ondoren non sustratu eta mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa luzerarekiko erakusten den pauso bat aurrera eman da eta egoera ez-geldikorreko materia balantzeak proposatu egin dira, izan ere logikoa baita kontzentrazioak denborarekiko aldatzea, luzerarekiko aldatu egiten diren moduan.

Kontuan edukita Scilab programa erabiltzeko asmoa, nodoen metodoa erabiltzea erabaki da, hau da, biojardineran tamaina bereko nodo kopuru batean zatitu egin da, ondoren nodo bakoitzari dagokion sustratu eta mikroorganismoen materia balantzeak zehaztuz bi kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko zehaztuz.

Baina lehenengoz materia balantze globalak egoera ez egonkorrean non akumulazioa ez den nulua izango zehaztu behar dira. Sustratuaren balantzearekin hasiz non (1) ekuazioa kontuan hartuz akumulazioa, sarrera, irteera eta desagertzea aktibitate mikrobianoagatik erakusten diren:

$$\frac{dS}{dt}\Delta V = QS_{in} - QS - r_s\Delta V \quad (20)$$

(15) ekuazioa ezarriz:

$$\frac{dS}{dt}\Delta V = QS_{in} - QS - \frac{\mu_m S}{K_s + S} X\Delta V \quad (21)$$

(18) ekuazioaren bitartez errendimendua ezarriz:

$$\frac{dS}{dt}\Delta V = QS_{in} - QS - \frac{1}{Y_{xs}} \frac{\mu_m S}{K_s + S} X\Delta V \quad (23)$$

Azkenik bolumenaren aldaketa sekzioaren, momentuz konstante mantentzen dela kontsideratuz, eta luzeraren aldaketaren berdina dela kontuan hartuz:

$$\frac{dS}{dt}A\Delta z = QS_{in} - QS - \frac{1}{Y_{xs}} \frac{\mu_m S}{K_s + S} XA\Delta z \quad (24)$$

Behin sustratuaren materia balantzea finkaturik dagoela mikroorganismoen materia balantzea ere finkatu behar da:

$$\frac{dX}{dt}\Delta V = QX_{in} - QX + r_x\Delta V \quad (25)$$

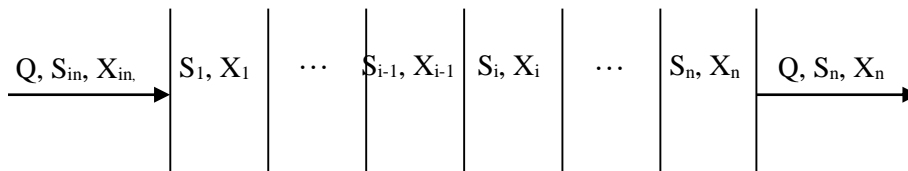
Hala ere mikroorganismoak harrietan eta landareetan gehienbat itsatsita edota metatuta daudenez biojardineraren mikroorganismoen garraioa arbuia egin da, sartze eta irtete terminoak hain zuzen ere. Era honetan (25) ekuazioak ondorengo itxura hartzen du:

$$\frac{dX}{dt} = r_x \quad (26)$$

(15) ekuazioa eta heriotza fasea ezarriz gero:

$$\frac{dX}{dt} = \left(\frac{\mu_m S}{K_s + S} - K_d \right) X \quad (27)$$

Aurretik esandako moduan, simulatzeko erabili den metodoa biojardineraren banaketa nodo ezberdinetan izan da, hurrengo 13. Irudian azaltzen den moduan:



13. Irudia. Nodoetan banaturiko biojardineraren eskema.

Beraz n nodoetan banandu ondoren (20), jakinda $\Delta z L/n$ dela eta gune pikortsuan aurkitzen den porositatea, ϵ , kontuan hartuz, nodo bakoitzean (24) formulako balantzea aplikatu behar da, zeinetan $i-1$ nodotik irteten den korronea sartzen den. Hona hemen i nodoari aplikaturiko sustratuaren balantzea:

$$\frac{dS}{dt} A \Delta z \epsilon = Q S_{i-1} + Q S_i - \frac{1}{Y_{xs}} \frac{\mu_m S_i}{K_s + S_i} X_i A \Delta z \epsilon \quad (28)$$

Mikroorganismoen balantzea ere i nodoari aplikatuz gero non sartze eta irtetze terminoak arbuizaten diren:

$$\frac{dX}{dt} = \left(\frac{\mu_m S_i}{K_s + S_i} - K_d \right) X_i \quad (29)$$

Behin nodo bakoitzari dagokion sustratu eta mikroorganismoen balantzea ezarrita, sistemaren portaera simulatu ahal izateko aurretik parametro batzuk finkatu behar izan dira. Baina aurretik aipatzekoa da hemendik aurrera hazkuntza maximoaren abiadura espezifikoa tenperaturaren (T) eta 20°C-ko erreakzio abiaduraren (r_{20}) menpe jarri dela ondorengo (30) ekuazioan adierazten den moduan:

$$\mu_m = r_{20} (\sigma^{T-20}) \quad (30)$$

Bestaldetik denbora espaziala ere kontuan hartu da hemendik aurrera, porositatearen (ϵ), bolumenaren eta emariaren menpekota dena:

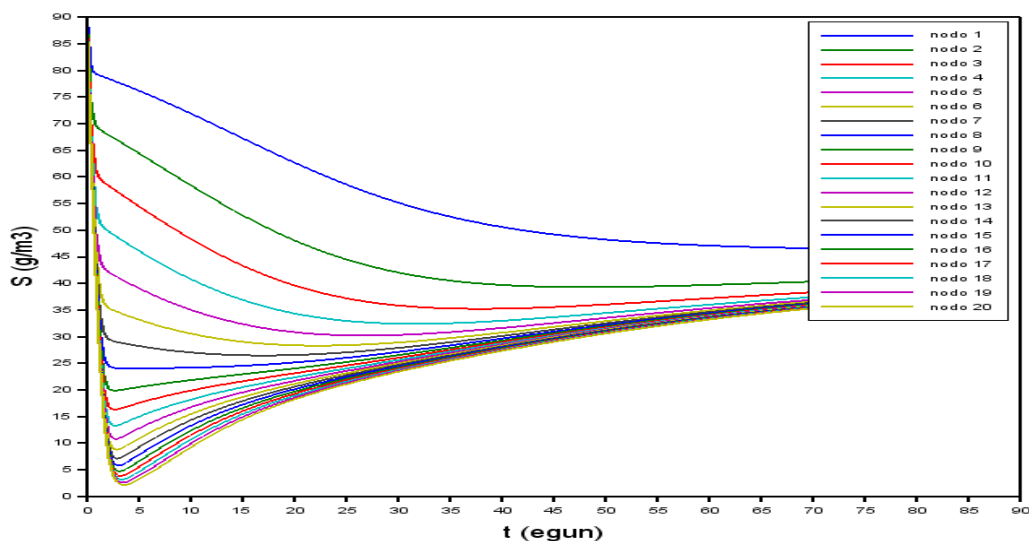
$$\tau = \frac{WHL\epsilon}{Q} \quad (31)$$

Esan bezala parametroei balioak eman behar zaie. Dimentsioen aukeraketarako denbora espaziala, τ , kontuan eduki da eta beste parametroak aukeratzeko orduan parametro estandarrek erabili dira 5. Taulan ikus daitekeen bezala. Hala ere simulazio hau sistemak nola erantzuten duen ikusteko besterik ez da, era honetan aurretik planteaturiko (28) eta (29) ekuazioen balantzeetan aldaketaren bat egin behar den aztertzeko. Hona hemen erabilitako datuak:

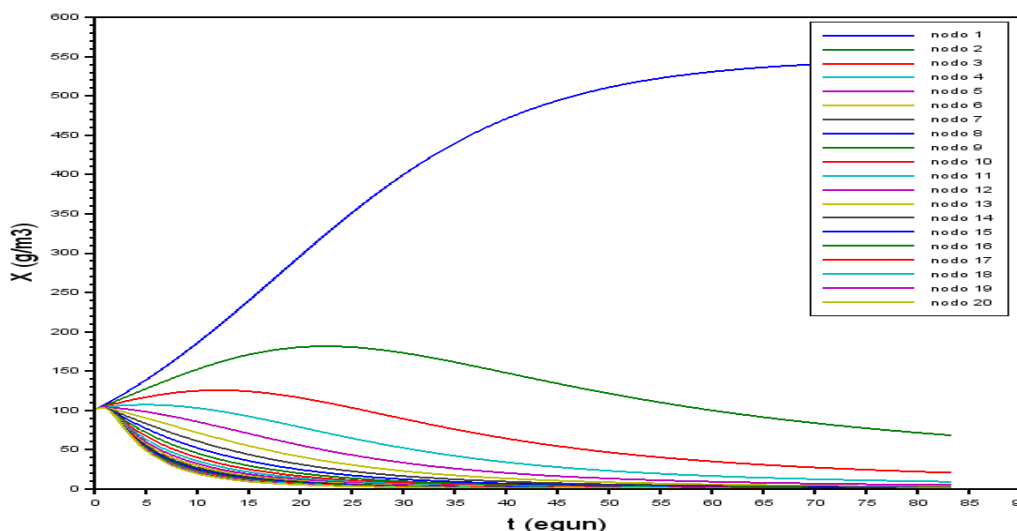
5. Taula. Egoera ez-egonkorrean egindako lehenengo simulazioan erabilitako datuak.

W (m)	2
H (m)	1
L (m)	4
T (°C)	25
r₂₀ (h⁻¹)	0,41124
σ	1,04
Q (m³/h)	0,04
μ_m (h⁻¹)	0,5/24
K_s (g/m³)	50
K_d (h⁻¹)	0,01
S₀ (g/m³)	90
X₀ (g/m³)	100
ε (%)	40
Y_{xs} (%)	50
S_{in} (g/m³)	90
X_{in} (g/m³)	0

Behin datuak ezarrita ondorengo 14 eta 15. Irudietan ageri diren emaitzak lortu egin dira:



14. Irudia. Nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



15. Irudia. Nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

14 eta 15. Irudietan ageri diren profilak ohartuz, ikus daiteke nola naiz eta sistemak aktibitatea erakutsi, 4. egunetik aurrera sistema desaktibatu egiten dela eta sustratuaren kontzentrazioak gora egiten duela. Honen ondorioz mikroorganismoaren kontzentrazioek beherantz egiten dute eta nodo gehienen mikroorganismo kontzentrazioak desagertu egiten dira instalazioaren arazketa deuseztatuz.

Nahiz eta aktibazioa igo r_{20} parametroarekin sistemak erantzun berdina ematen jarraitzen du, instalazioa mikroorganismo barik geldituz. Gainera ezarritako dimentsioekin denbora espazial egokia lortzen da (3,33 egun) eta nahiz eta bolumena zerbait igo berriro ere kontzentrazioen eboluzio berdina lortzen da. Hortaz hau konpontzeko mikroorganismoen balantzean parametro berri bat sartu egin da. Parametro berri hau nodo batetik hurrengorako mikroorganismo garraioaren frakzioa adierazten du, izan ere nahiz eta hasiera batean mikroorganismoak metatuta daudela esan, legarraren inguruan sortzen den biofilm-aren ondorioz mikroorganismoen frakzio bat askatu egiten da nodo batetik bestera pasaraziz. Beraz, kasu honetan ere gune pikortsuan aurkitzen den porositatea, ϵ , kontuan hartuz, (29) ekuazioan ageri den mikroorganismoen balantzea i nodo bakoitzerako era honetan geratzen da, non f_h parametroa nodo batetik bestera garraiatzen den mikroorganismoen frakzioa adierazten duen:

$$\frac{dX}{dt} A \Delta z \epsilon = Q X_{i-1} f_h - Q X_i f_h + \left(\frac{\mu_m S_i}{K_s + S_i} - K_d \right) X_i A \Delta z \epsilon \quad (32)$$

Puntu honetatik aurrera non jada bi masa balantzeak finkatuta dauden eta simulazioan erantzun egokia erakusten dutela ikusita parametro egokien bilaketa egin da, modu honetan parametro bakoitzak sisteman daukan eragina aztertuz. Hau egitea ezinbestekoa izan da sistema honekin bat egiten duten datu bibliografikoak ez edukitzeagatik.

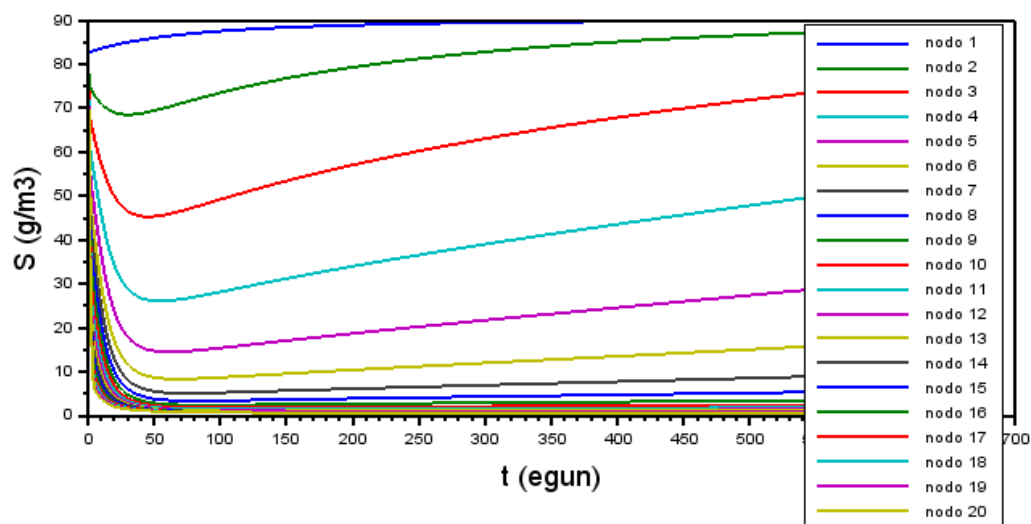
Ondorioz, bilaketa parametrikoa egin ostean eta sistemak erakusten duen sustratuaren eta mikroorganismoen portaeraren arabera hurrengo 6. Taulan ageri diren datuak egokiak direla erabaki da:

6. Taula. Egokiak kontsideratu diren parametroak.

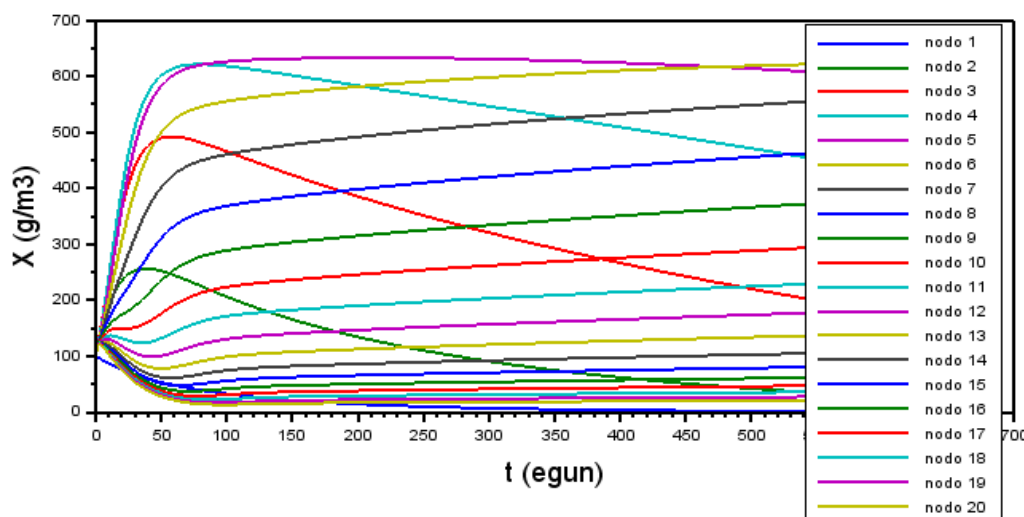
W (m)	1
H (m)	0,6
L (m)	4,5
T (°C)	30
r₂₀ (h⁻¹)	0,28/24
σ	1,04
Q (m³/h)	0,25/24
μ_m (h⁻¹)	0,4145/24
K_s (g/m³)	120
f_h	0,03
K_d (h⁻¹)	0,045/24
S₀ (g/m³)	90
X₀ (g/m³)	100
ε (%)	40
Y_{xs} (%)	50
S_{in} (g/m³)	90
X_{in} (g/m³)	0

Aipatzekoa da erabili diren biojardineraren dimentsioak, emaria eta tenperatura El Salvadorreko ADES Gobernuz Kanpoko Erakundeak erraztu dituela, honela bertan martxan dabilen biojardineraren analisia burutuz.

Beraz, nodo bakoitzari ezarritako (28) eta (32) ekuazioak 6. Taulan ageri diren datuekin Scilab-en simulatuz gero ondoko emaitzak lortzen dira:



16. Irudia. Nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



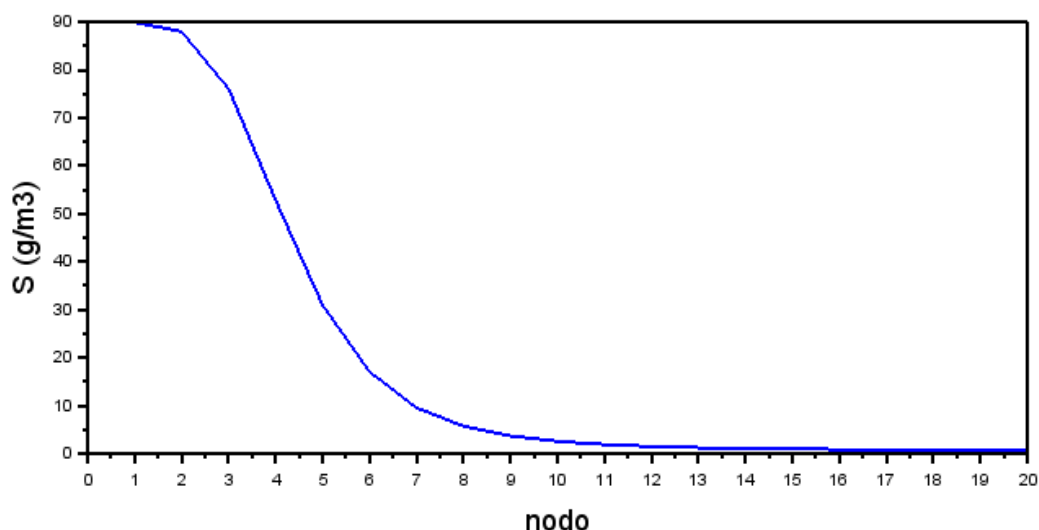
17. Irudia. Nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

16. Irudian ikus daitezkeen bezala, sistema oso aktiboa da, izan ere sustratuaren grafikoak aktibitatea erakusten du egun oso gutxitan, hilabete bat baino gutxiagotan. Lehenengo nodoek kontzentrazio altuena erakusten dute, uraren arazketa gehienbat instalazioaren lehenengo zatian burutuko dela adierazten duena. Gainera nahiko egonkortzea lortu egiten du 100 egunetan gutxi gora behera eta azkenengo nodoek aurkezten duten kontzentrazioa ez da 0 g/m^3 -ko balioraino heltzen, logikoa dena, erabateko eraginkortasuna lortzea ez baitu errealitatearekin bat egiten. Guztiz ez egonkortzea eta aktibazio pixka bat erakustea logikoa da, sistema biologiko bat delako non sustratu eta mikroorganismoen garraioa eta akumulazioa dagoen. Bestaldetik 17. Irudiko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioak begiratzuz ikus daiteke nola lehenengo nodoek ere kontzentrazio maximoak erakusten dituztela (lehenengo bi nodoak kontuan hartu barik) azkenengo nodoek kontzentrazio oso baxuak erakusten dituzten bitartean, era honetan biojardineraren zati bat erreserba moduan geratuz.

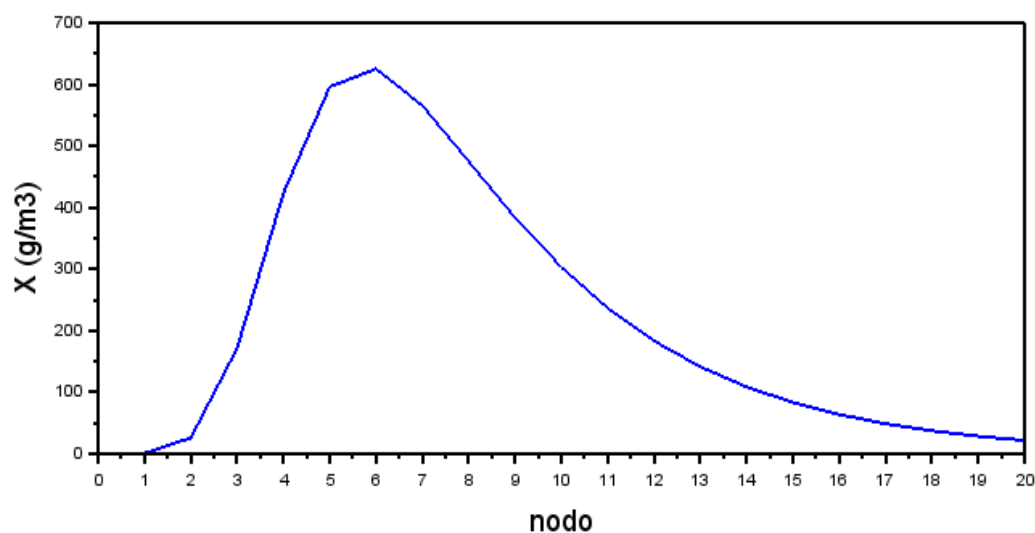
Bestalde, erabilitako emariarekin, biojardineraren bolumenarekin eta porositatearekin sistemak 4,32 eguneko denbora espaziala dauka, 3-5 eguneko tartean sartzen dena eta ontzat ematen dena. Edonola ere uraren arazketaren analisi on bat burutu ahal izateko instalazioak DBO_5 kontzentrazioa murrizteko duen ahalmena neurtzea garrantzitsua da. Honi eraginkortasuna deritzo eta ondorengo adierazpenarekin kalkulatu da:

$$\eta = \frac{S_{in} - S_n}{S_{in}} \quad (33)$$

Nahiz eta eraginkortasuna 16. Iruditik ateratzea posible izan, kontzentrazioen eboluzioa nodoekiko simulatu dira ondorengo 18 eta 19. Irudietan. Gainera irudi hauek eraginkortasuna era simple batean aztertzeke ahalmena emateaz gain, kontzentrazio profilak nodoekiko aztertzea ahalbidetzen dute, horrela profil hauek aurkezten duten forma aztertuz gero parametroen aukeraketan laguntzen duten irudi gehigarriak azalduz. Hona hemen 18 eta 19. Irudiak:



18. Irudia. Sustratu kontzentrazioaren eboluzioa nodoekiko.



19. Irudia. Mikroorganismo kontzentrazioaren eboluzioa nodoekiko.

18. Irudian ageri den kontzentrazioaren eboluzioa ohartuz, sustratuaren irteerako kontzentrazioa 1 g/m^3 dela ateratzen da, zeinari (33) ekuazioa aplikatuz gero non biojardinerara sartzen den sustratuaren kontzentrazioa 90 g/m^3 -koa den, eraginkortasuna %98 ingurukoa dela ondorioztatzen da. Gainera profila aztertuz 16. Irudian ondorioztatu dena ikusten da, hau da, sustratuaren kontzentrazio handienak lehenengo nodoetan aurkitzen dira eta 13. nodotik aurrera biojardinerara soberan dagoela esan daiteke, jada ura garbi baitago.

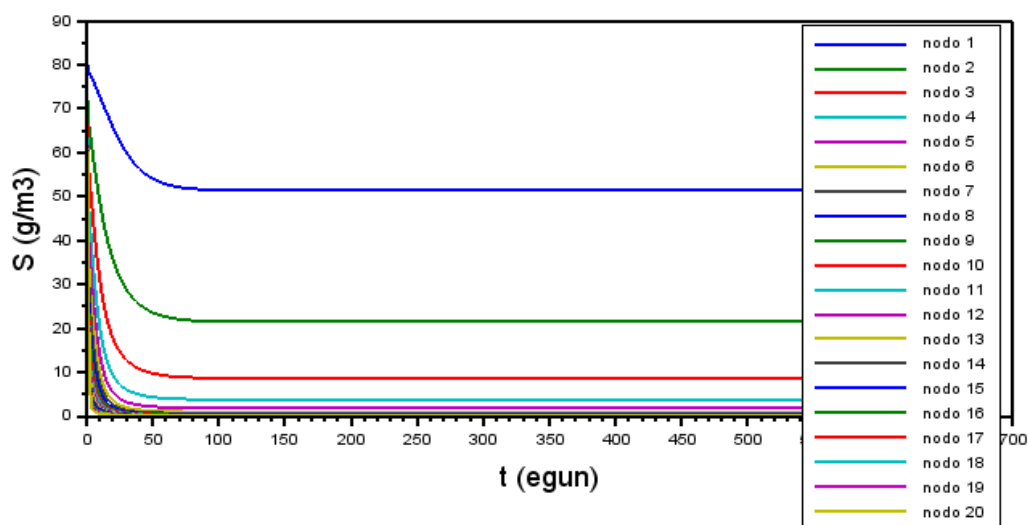
Bestaldetik mikroorganismoen profila 19. Irudian begiratu aurretik 17. Irudian ondorioztatutakoa ere ikusten da. Mikroorganismoek aktibatze denbora pixka bat behar dute eta biojardineraren lehenengo erdialdean kontzentrazio maximoa lortzen da, 5. nodoan hain zuzen ere, ondoren honen kontzentrazioa asko jaitsiz. Nahiz eta bi profilak ikusi ondoren ia biojardineraren erdialdea soberan dagoela iruditu ez da horrela, berez biojardineraren bigarren zatia erreserba moduan gelditzen da, denbora pasa ahala eta lehenengo zatia agortuz doan heinean gune hau eskuragarri geldituz. Ondorioz kontzentrazio maximoa eskuinerantz desplazatzen joango da.

Aipaturiko moduan, bilaketa parametrikoa burutu behar izan da puntu honetara ailegatu arte, izan ere parametro bakoitza aldatzerakoan sisteman eragin bat erakusten du eta. Hortaz, parametro bakoitzak zer nolako eragina daukan sisteman ikusi ahal izateko 6. Taulan ageri diren parametroak finko mantendu dira aldi bakoitzean bat aldatuz, era honetan parametro bakoitzaren efektua aztertuz.

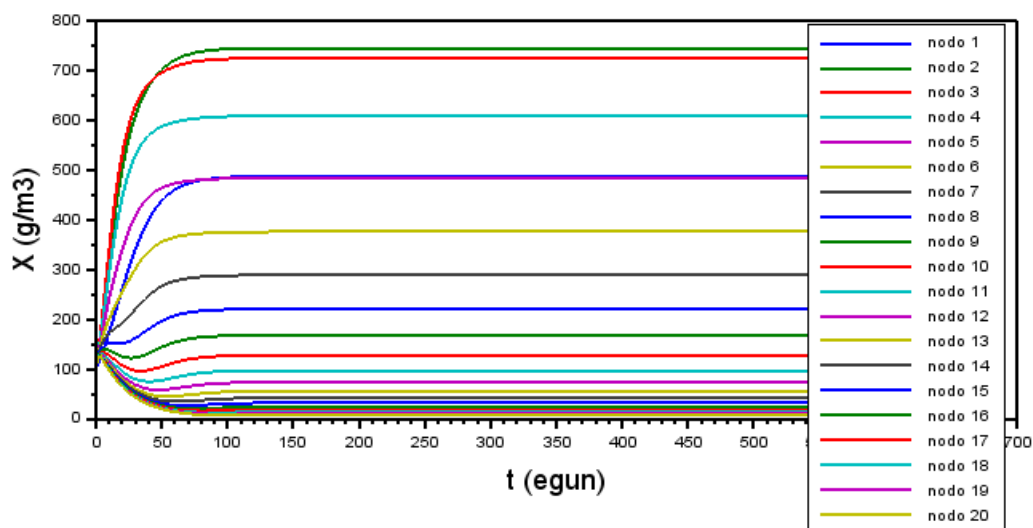
3.2.1. Parametroen aldaketek biojardineran sortzen duten eraginaren analisia

Hasteko, tenperaturaren eragina aztertu da 20, 21, 22 eta 23. Irudietan:

- $T = 40\text{ }^{\circ}\text{C}$

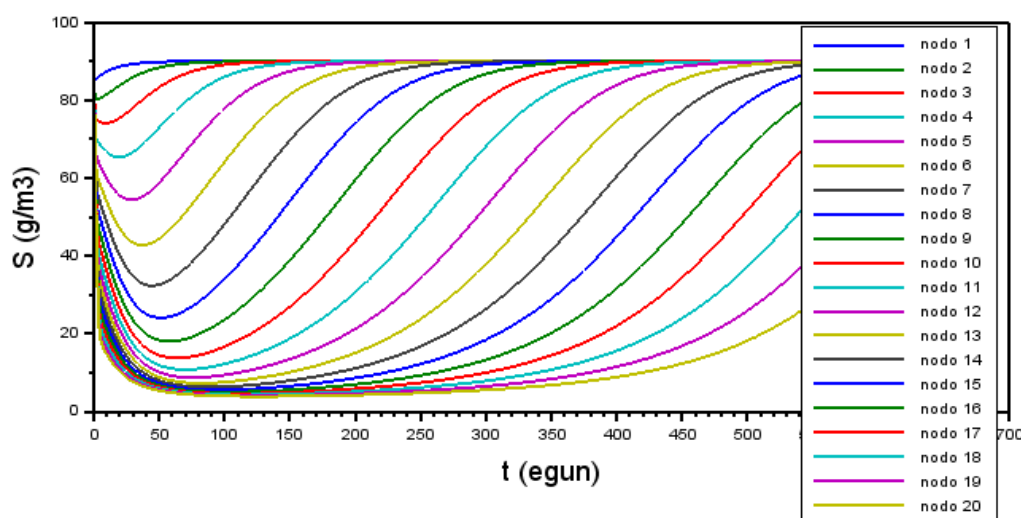


20. Irudia. 40 °C-ko nodo bakoitzeko substratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

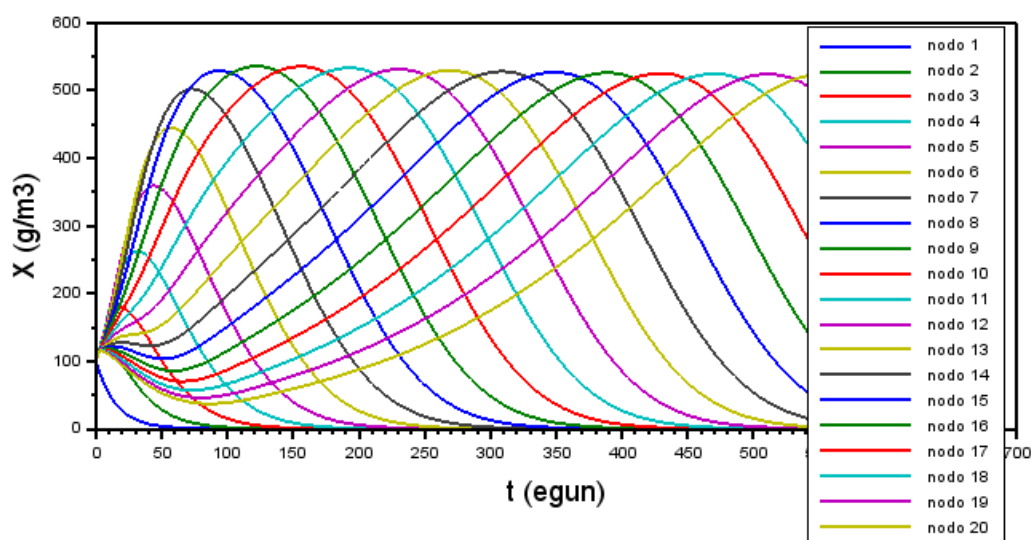


21. Irudia. 40 °C-ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

- $T = 20\text{ }^{\circ}\text{C}$



22. Irudia. 20 °C-ko nodo bakoitzeko substratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



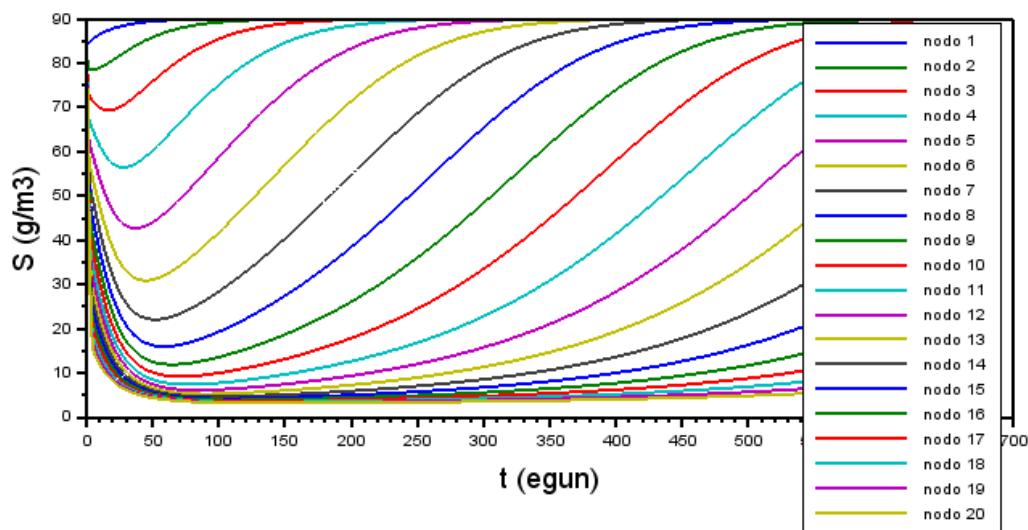
23. Irudia. 20 °C-ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

20 eta 21. Irudietan antzeman daiteke nola tenperatura igoz gero aktibitatea igo egiten dela. Izan ere substratuaren aktibitatea oso azkarra da eta egoera egonkorra 3 hilabetetan baino denbora gutxiagoan lortzen da. Hau dela eta lortzen den mikroorganismo kantitatea ere handiagoa da. Beraz, sistema eraginkor bat lortu egiten dela ondorioztatzen da. Gainera (30) formulari adierazi den moduan hazkuntza maximoko abiadura espezifikoaren tenperaturaren menpe dago, aurretik esandakoa arrazoituz.

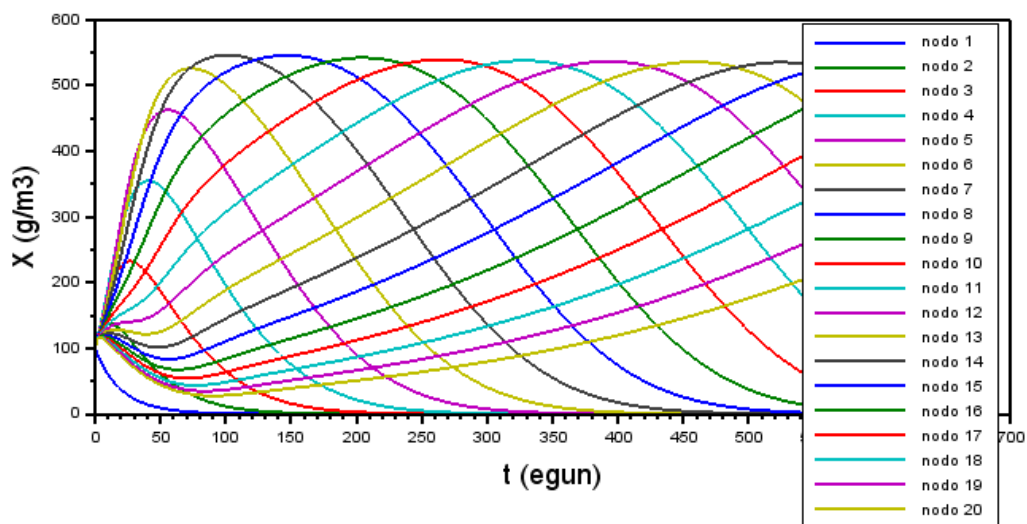
22 eta 23. Irudiak begiratu kontrako gertatzen dela ikus daiteke. Hau da, tenperatura igotzean aktibitate handiagoa lortzen da, baina kasu honetan jaitsi egiten da. Izan ere hainbeste 50. egunean hainbeste desaktibatzen da non substratua ez den egonkortzen, era berean substratuaren desaktibazio horrek mikroorganismoaren beherapena eraginez.

Behin tenperaturaren eragina aztertu ondoren saturazio konstantearen eragina aztertu da ondorengo 24, 25, 26 eta 27. Irudietan:

- $K_s = 180 \text{ g/m}^3$

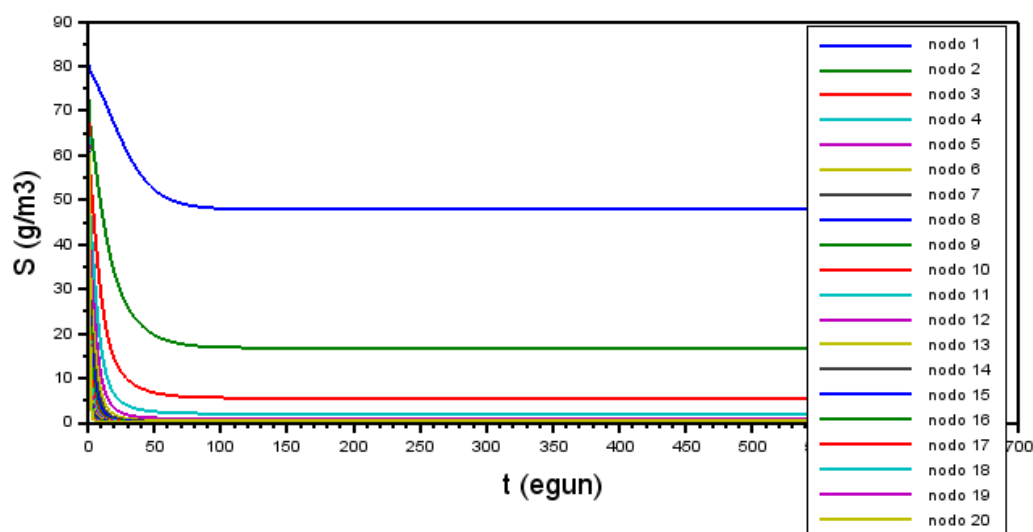


24. Irudia. $K_s = 180 \text{ g/m}^3$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

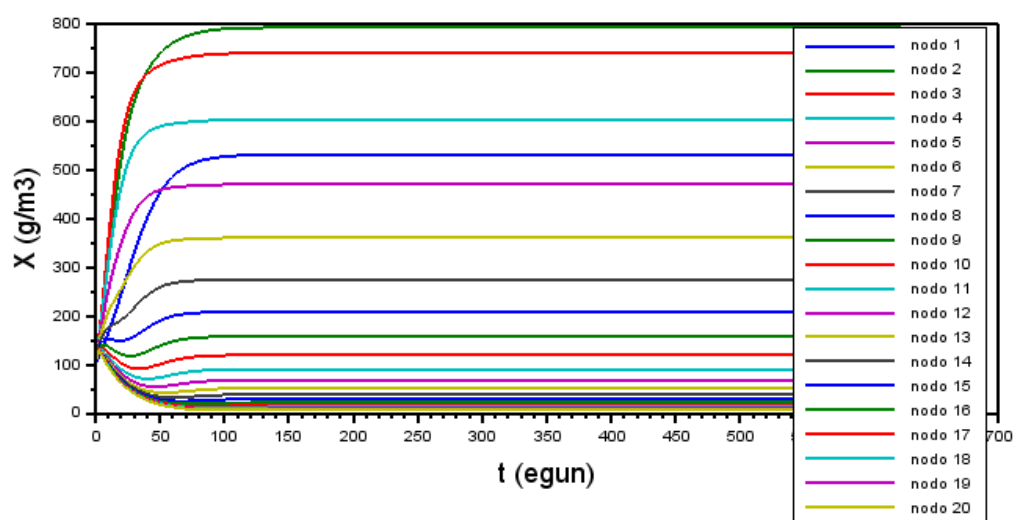


25. Irudia. $K_s = 180 \text{ g/m}^3$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

- $K_s = 60 \text{ g/m}^3$



26. Irudia. $K_s = 60 \text{ g/m}^3$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



27. Irudia. $K_s = 60 \text{ g/m}^3$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

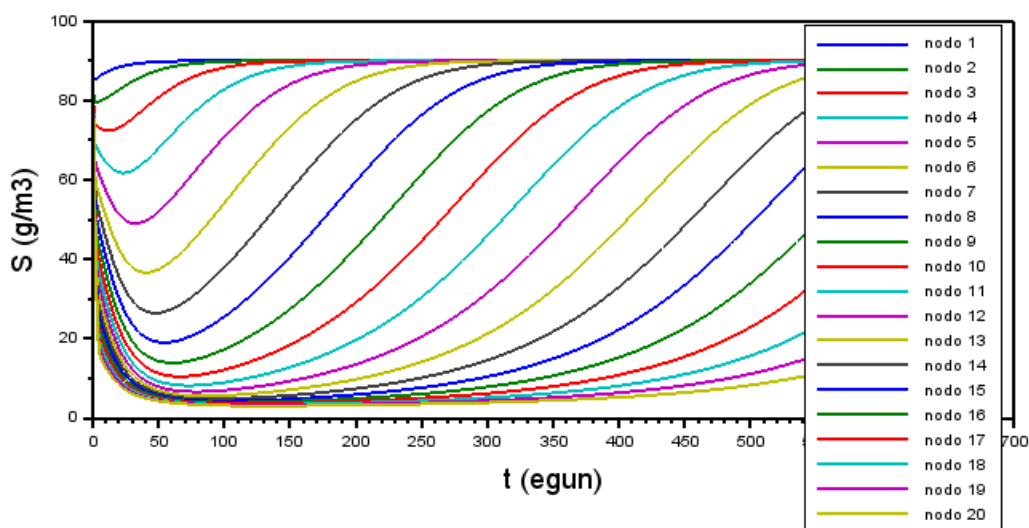
26 eta 27. Irudietan ikus daiteke nola saturazio konstantea txikituz gero aktibitatea igo egiten dela. Logikoa da, izan ere Monod-en (15) ekuazioari erreparatuz gero ohar daiteke nola saturazio konstanteak aktibazioaren kontrakoa egiten duela eta hori dela eta hau jaistean aktibazioa igo egiten da.

Aldiz 24 eta 25. Irudietan ikus daiteke saturazio konstanteak temperaturaren eta beraz hazkuntza maximoko abiadura espezifikoren kontrako efektua eragiten duela. Argi ikusten da nola sistema aktiboagoa bihurtu ordez aktibitatea galtzen duela, 50. egunean hain zuzen ere horrela mikroorganismoen beherakada eraginez.

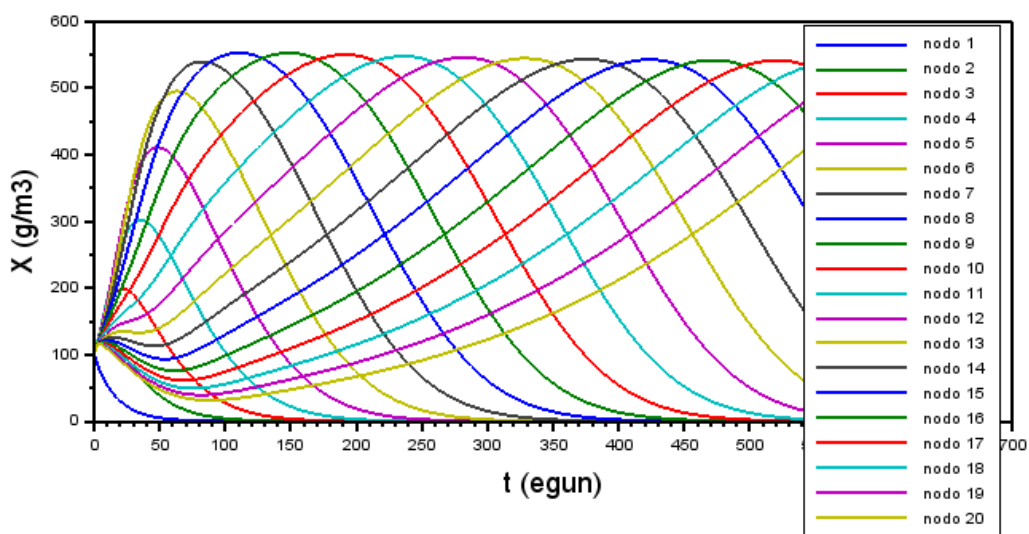
Aztertu den ondorengo parametroa $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ko erreakzio abiadura izan da. Era honetan temperatura eta parametro honetako azterketa egin ondoren hazkuntza maximoko abiadura

espezifikoa aztertuta gelditzen da, parametro hau beste bi parametroen menpekoa baita. 20 °C-ko erreakzio abiaduraren eragina ondorengo 28, 29, 30 eta 31. Irudietan ikus daiteke:

- $r_{20} = 0,2 \text{ h}^{-1}$

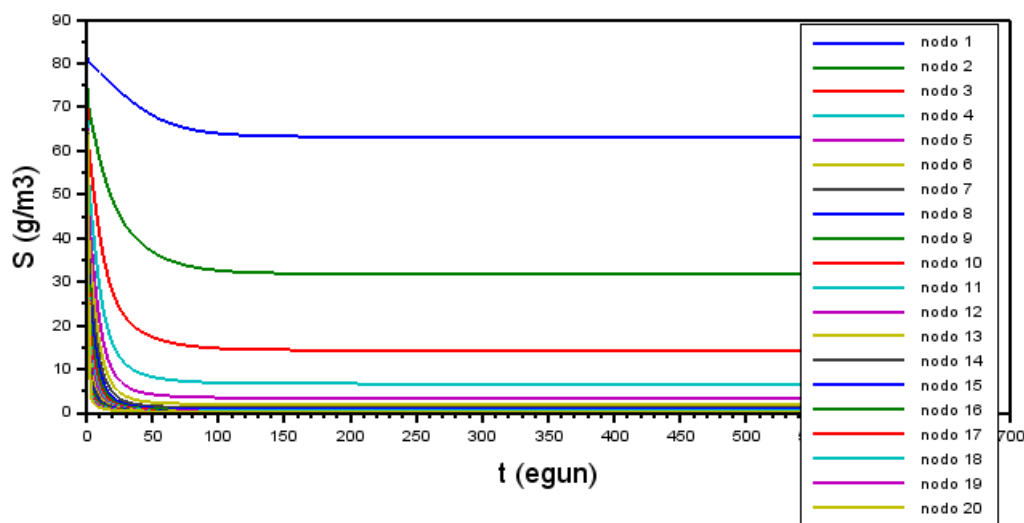


28. Irudia. $r_{20} = 0,20 \text{ h}^{-1}$ -ko nodo bakoitzeko substratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

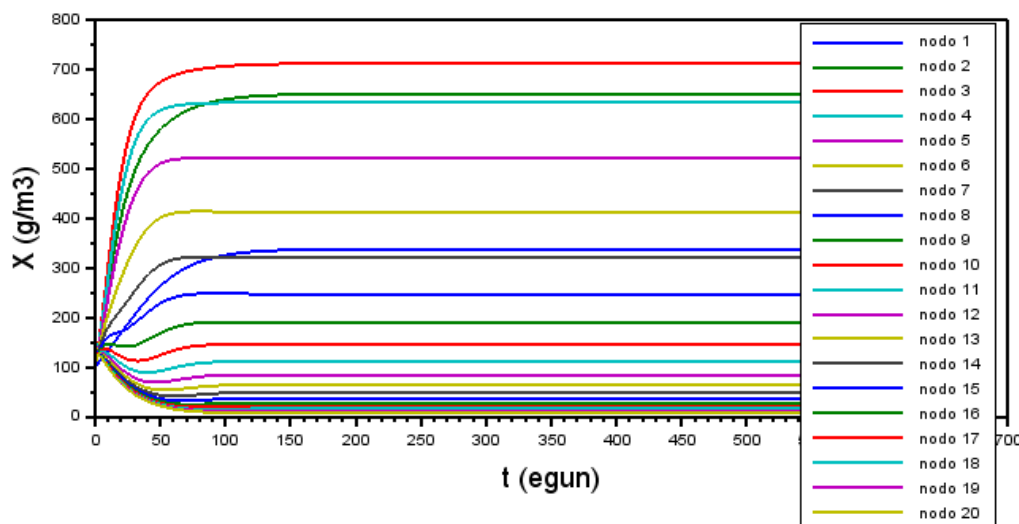


29. Irudia. $r_{20} = 0,20 \text{ h}^{-1}$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

- $r_{20} = 0,36 \text{ h}^{-1}$



30. Irudia. $r_{20} = 0,36 \text{ h}^{-1}$ -ko nodo bakoitzeko substratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



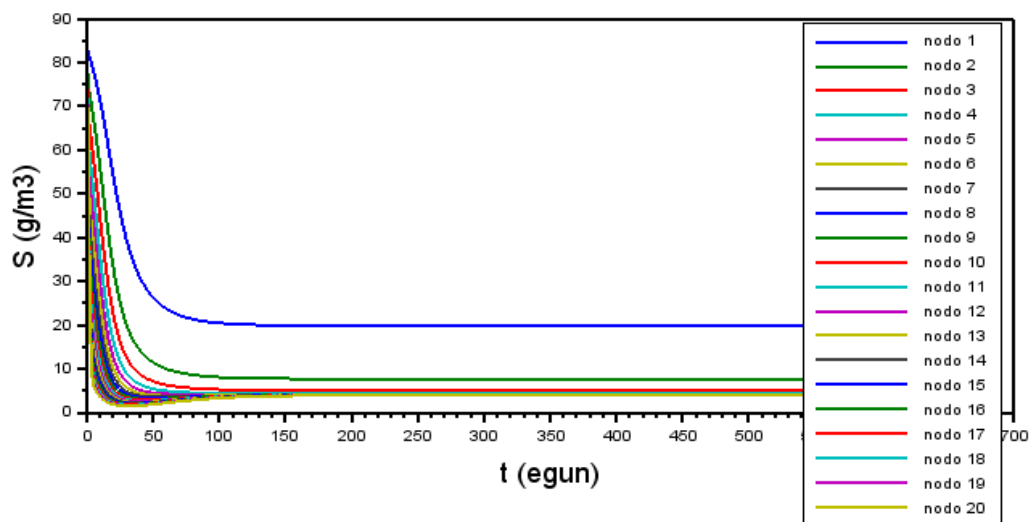
31. Irudia. $r_{20} = 0,36 \text{ h}^{-1}$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

Aipaturiko moduan 20 °C-ko erreakzio abiadura tenperaturarekin batera hazkuntza maximoko abiadura espezifikoan eragiten du. Beraz logikoa da erreakzio abiadura jaisterakoan 28 eta 29. Irudietan ikusten den bezala, aktibazioa jaitea. Izan ere 28. Irudian ikus daiteke nola substratuaren kontzentrazioek hasiera batean ondo aktibatzen direla baina ondoren aktibazioa galdu egiten dutela 50. egunean berriro ere era honetan 29. Irudiko mikroorganismo kontzentrazioen beherapena eraginez.

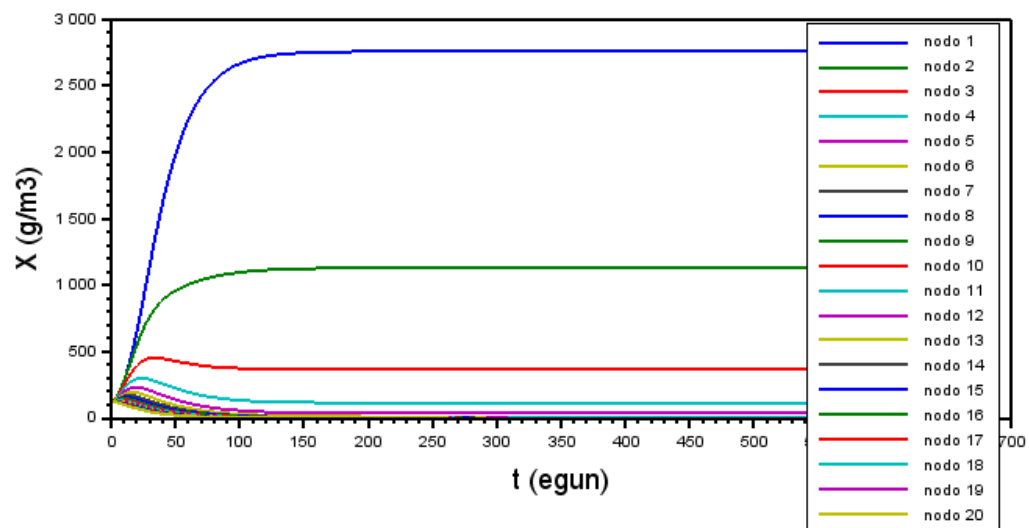
Bestaldetik 30. Irudian ikusten da nola substratu kontzentrazioek hasierako erantzun oso azkarra dutela eta berehala egonkoritu egiten direla eraginkortasun handia lortuz.

Behin hazkuntza maximoko abiadura espezifikoa eta saturazio konstanteen eraginak aztertuta, nodo batetik bestera pasatzen diren mikroorganismo kantitatearen eta hiltze faseko parametroaren eraginak aztertu dira. Hiltze faseko parametroarekin jarraituz, eragina ondorengo 32, 33,34 eta 35. Irudietan ikus daitekeen moduan:

- $f = 0,003$

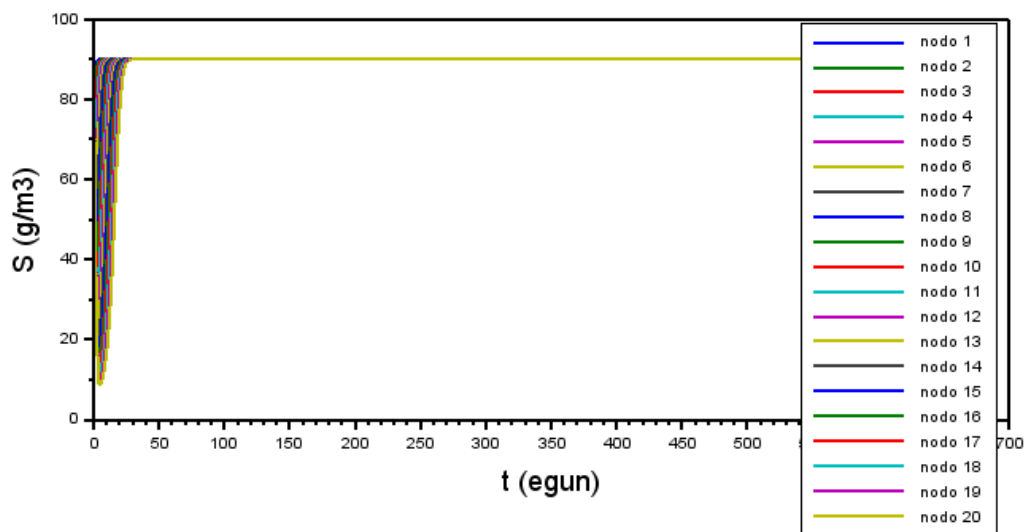


32. Irudia. $f = 0,003$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

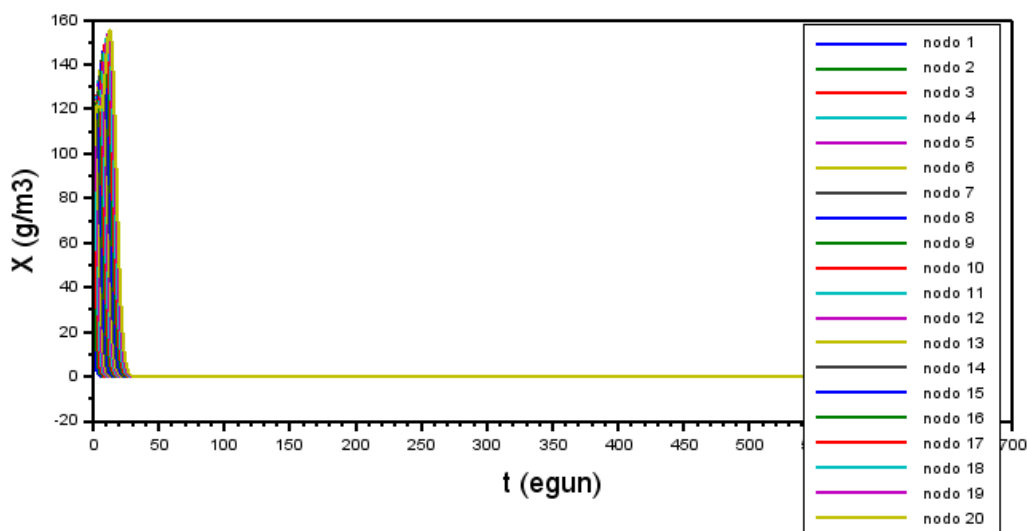


33. Irudia. $f = 0,003$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

- $f = 0,30$



34. Irudia. $f = 0,30$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



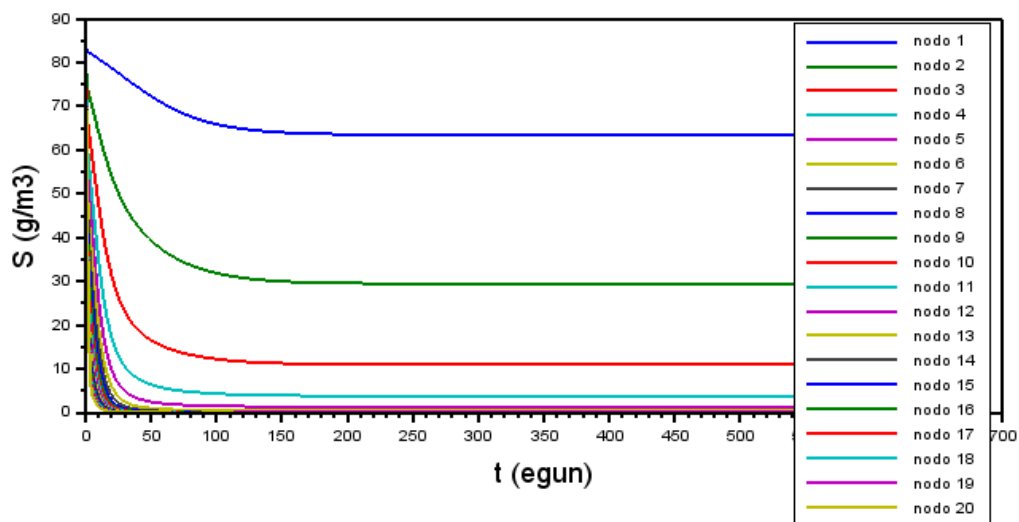
35. Irudia. $f = 0,30$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

Nodo batetik bestera pasatzen diren mikroorganismoen frakzioa aztertuz gero, 32 eta 33. Irudietan ikus daiteke nola frakzioa jaitsiz denbora gutxira sistema mikroorganismoen aktibitate barik gelditzen dela. Hori dela eta sustratuaren kontzentrazioa puntu horretan gora egiten du.

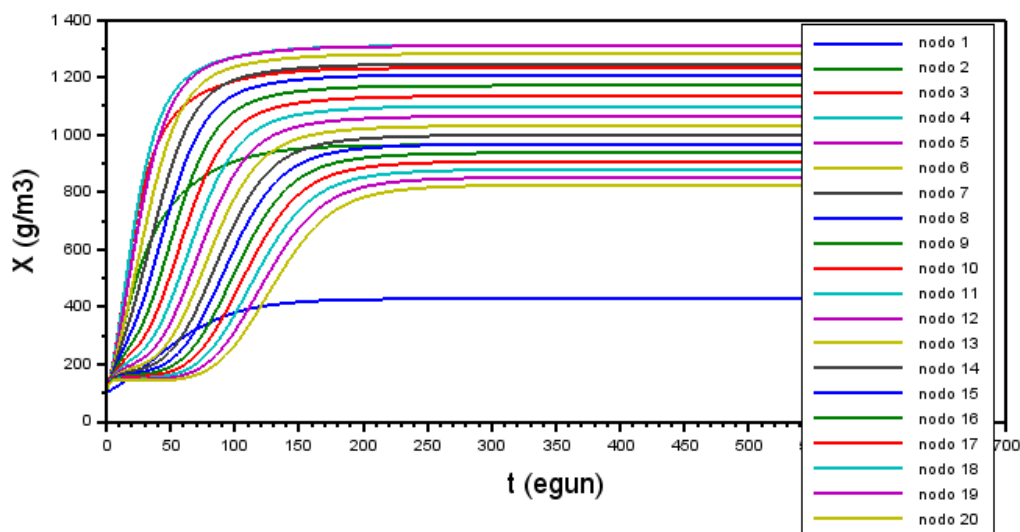
Bestalde frakzioa igotzean 34 eta 35. Irudietan ikusten den bezala hasiera batean sistemak erantzun oso azkarra erakusten du baina mikroorganismoen garraio hain altuarekin instalazioa desaktibatu egiten da sustratuaren igoera eta mikroorganismoen ondorengo jaitsiera eraginez.

Parametroen analisiarekin bukatzeko, azkenik 36, 37, 38 eta 39. Irudietan heriotza fase parametroaren eragina aztertu egin da:

- $K_d = 0,0045/24 \text{ h}^{-1}$

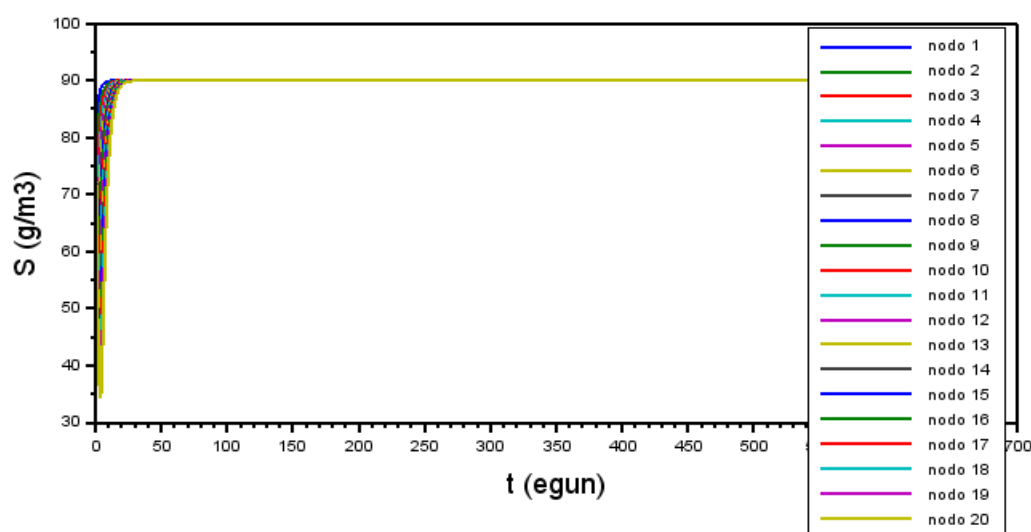


36. Irudia. $K_d = 0,0045/24 \text{ h}^{-1}$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

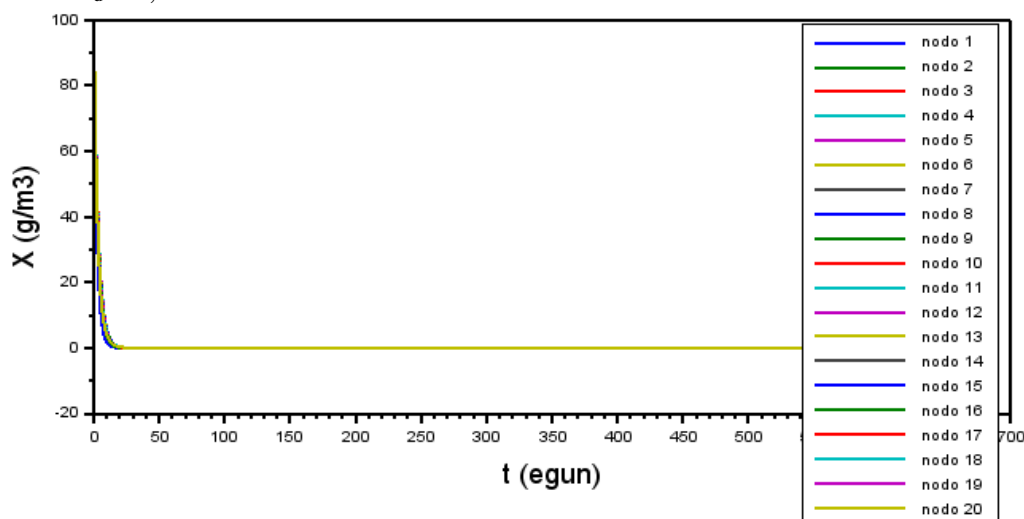


37. Irudia. $K_d = 0,0045/24 \text{ h}^{-1}$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

- $K_d = 0,45 \text{ h}^{-1}$



38. Irudia. $K_d = 0,45/24 \text{ h}^{-1}$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



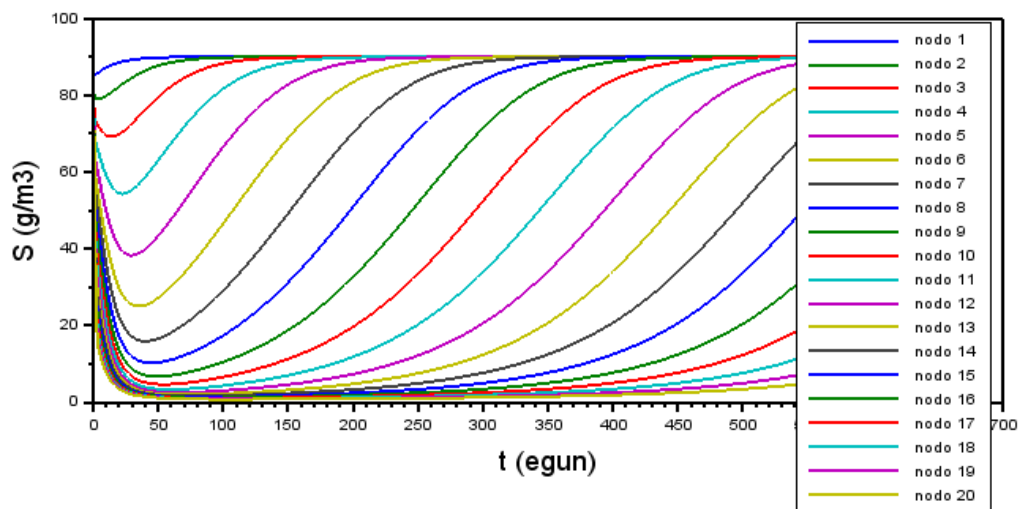
39. Irudia. $K_d = 0,45/24 \text{ h}^{-1}$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

Heriotza fasearen parametroa aztertuz 38 eta 39. Irudietan argi ikus daiteke nola balioa igoz gero mikroorganismoen hazkuntza anulatuta gelditu egiten den, eta era honetan nahiz eta sustratuak aktibitatea erakutsi berriro ere goranzko bidea hartzen du mikroorganismoen efektuaren ondorioz.

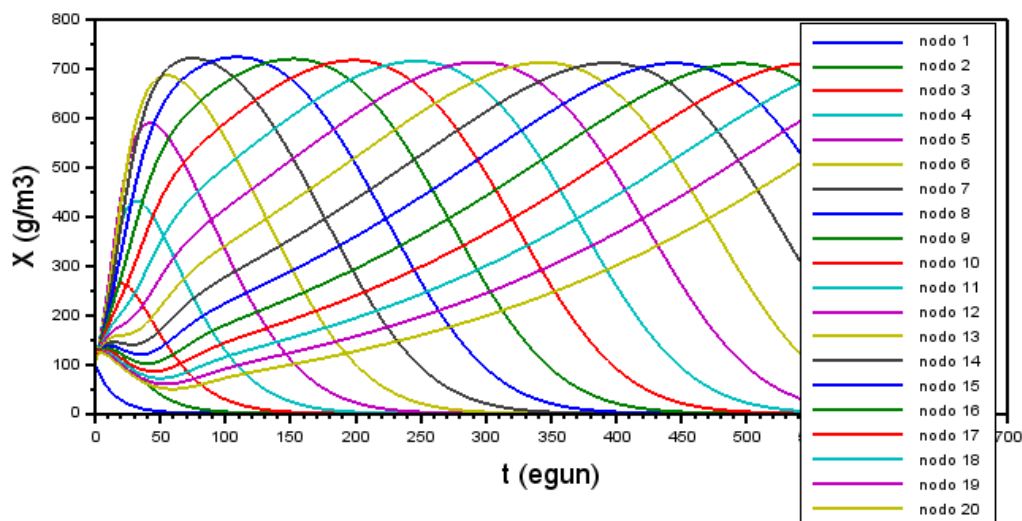
Bestalde txikitzerakoan 36 eta 37. Irudietan ikusten da nola mikroorganismoen nodoen distribuzioa hobea den baina lortzen diren kontzentrazioak askoz altuagoak direla.

Behin parametro hauen analisia burutu ondoren, iturriaren arabera aldatzen diren parametroen analisia ere burutu da, emariaren eta sarrerako DBO_5 (sustratu) kontzentrazioen analisia hain zuzen ere. Emariarekin hasiz 40, 41, 42 eta 43. Irudietan ageri diren emaitzak lortu dira:

- $Q = 0,35/24 \text{ m}^3/\text{h}$

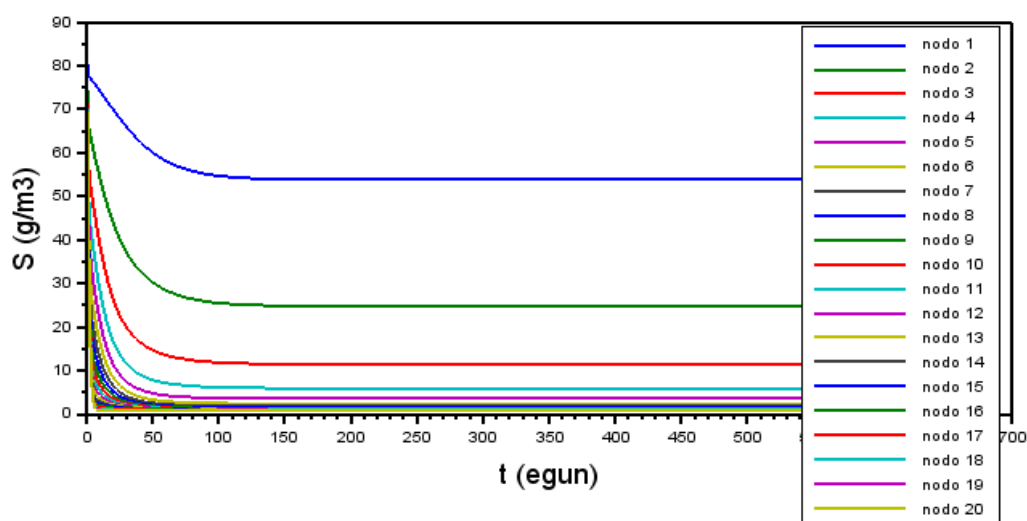


40. Irudia. $Q = 0,35/24 \text{ m}^3/\text{h}$ -ko nodo bakoitzeko substratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

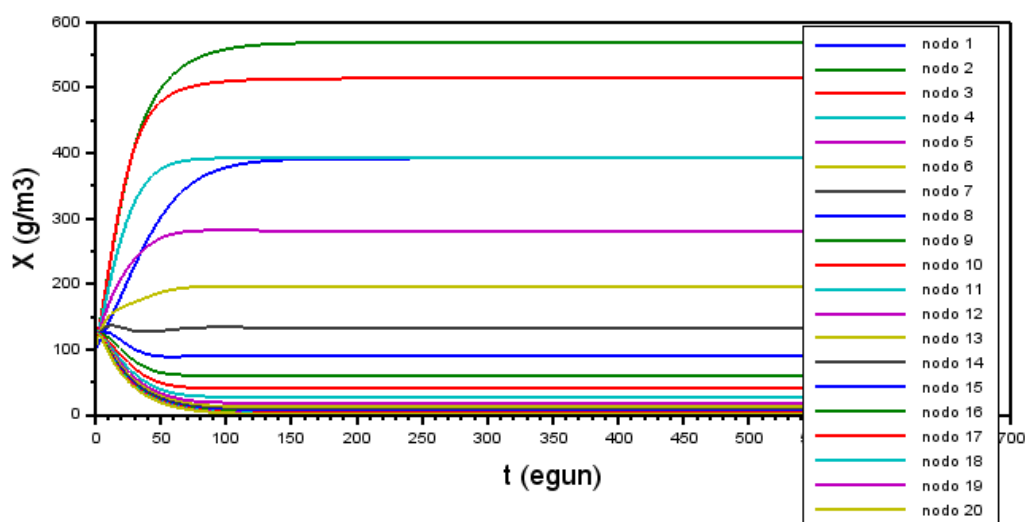


41. Irudia. $Q = 0,35/24 \text{ m}^3/\text{h}$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

- $Q = 0,15 \text{ m}^3/\text{h}$



42. Irudia. $Q = 0,15/24 \text{ m}^3/\text{h}$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



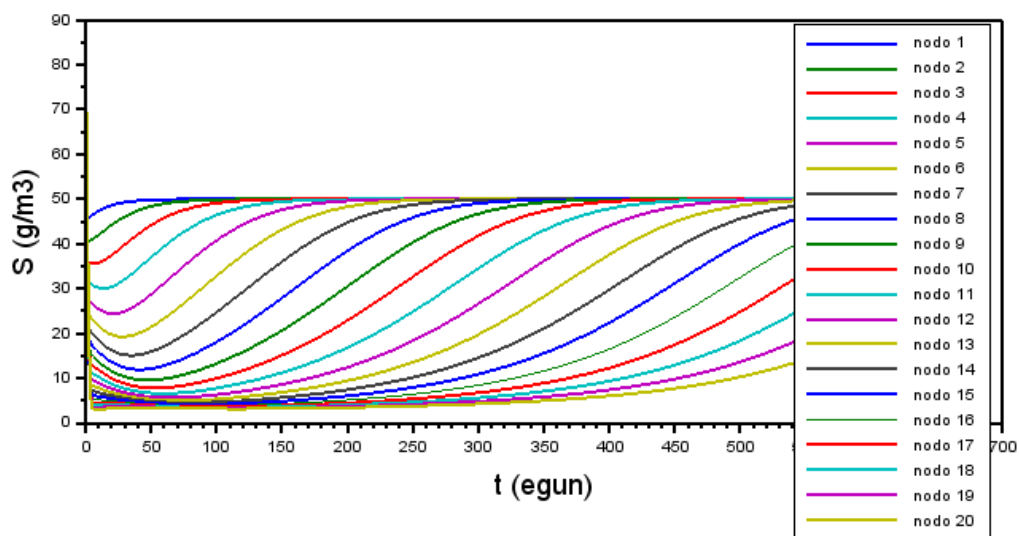
43. Irudia. $Q = 0,15/24 \text{ m}^3/\text{h}$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

Emariaren aldaketa burutzerakoan gehienbat urak biojardineraren barnealdetik jarioko den denbora espazialean eragiten du. Emaria igoz gero denbora espaziala baxuagoa izango da eta txikiagotuz gero handiagoa. 40 eta 41. Irudietan ohartzen da nola emaria igotzerako orduan instalazioak duen aktibitatearekin ezin duela uraren arazketa aurrera eman eta 40. egunean desaktibatatu egiten da mikroorganismoen jaitsiera eraginez.

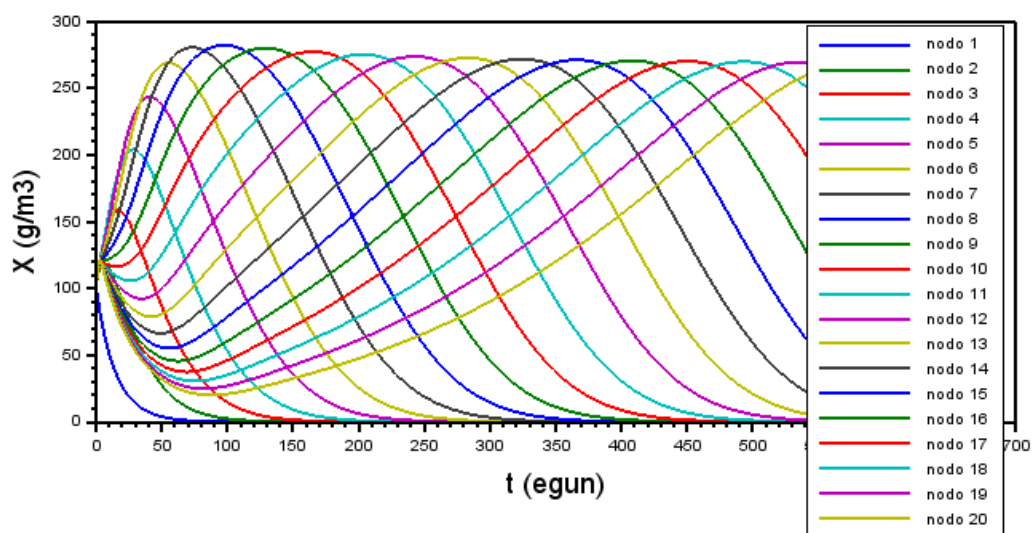
42 eta 43. Irudiak begiratu aldiz ikusten da nola emaria jaitsiz sistema oso aktibo bat erakusten duela eta ondorioz lortzen den eraginkortasuna handiago dela.

Azkenik biojardinerara sartzen den sustratuaren kontzentrazioa analisatuz, ondorengo 44, 45, 46 eta 47. Irudiak lortu egin dira:

- $S_{in} = 50 \text{ g/m}^3$

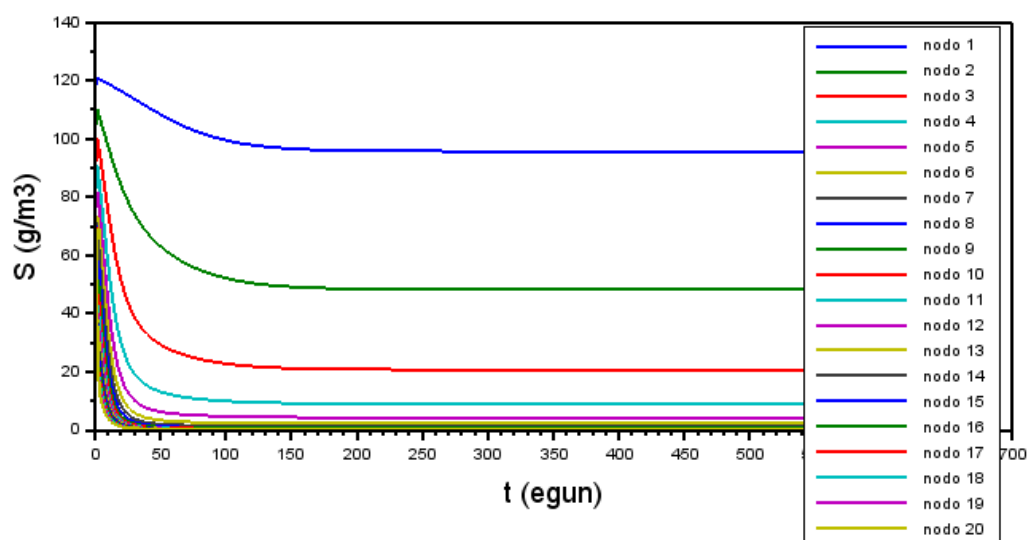


44. Irudia. $S_{in} = 50 \text{ g/m}^3$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

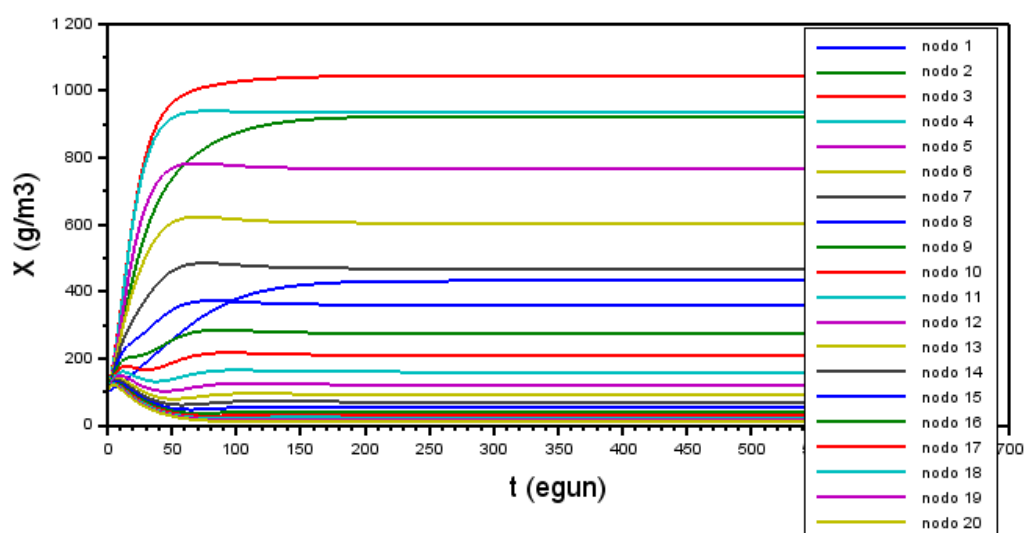


45. Irudia. $S_{in} = 50 \text{ g/m}^3$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

- $S_{in} = 130 \text{ g/m}^3$



46. Irudia. $S_{in} = 130 \text{ g/m}^3$ -ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



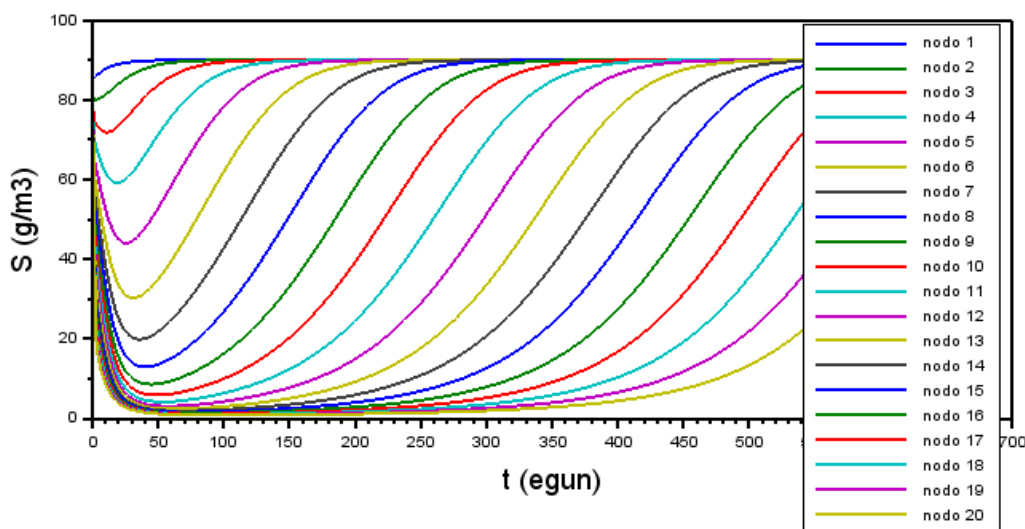
47. Irudia. $S_{in} = 130 \text{ g/m}^3$ -ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

Azkenik biojardinerara sartzen den sustratu kontzentrazioa analizatuz gero 44. Irudian ikus daiteke nola kontzentrazioa jaitsiz gero lehenengo nodoei asko kostatzen zaiela aktibatzen eta nahiz eta azkenengo nodoek aktibazio gehiago erakutsi, azkenean desaktibatu egiten da eta lortzen den eraginkortasuna ez da bat ere ona. Honela 45. Irudia erreparatuz ikus daiteke nola azkenengo nodoek aktibitate gehiago erakusten duten baina sustratuaren desaktibazioak mikroorganismo kontzentrazioen igoera eragiten du.

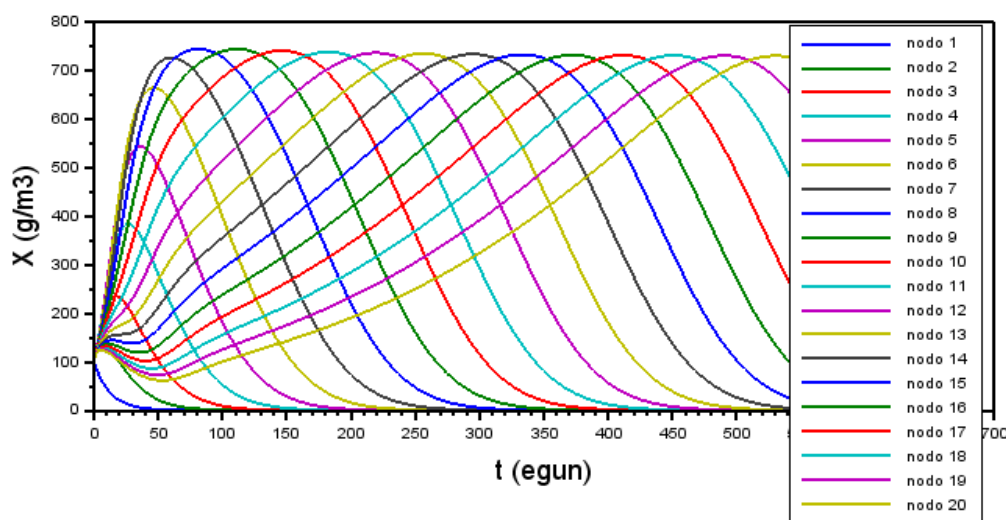
Bestalde sarrerako sustratuaren kontzentrazioa igoz gero sistemak aktibitate oso ona erakusten du 46 eta 47. Irudietan ikus daitekeen moduan. Hau dela eta 50. egunetik aurrera egonkortu egiten da eta lortzen den eraginkortasuna oso altua da.

3.2.2. Sedimentazioaren ondoriozko lokatzaren metaketa ohandzearen hondoan

Behin parametro bakoitzak biojrdineran nola eragiten duen simulatu eta aztertuz gero, aipatzekoa da modeloan erabilitako altuera (0,6 m) ez dela guztiz egokia. Izan ere sarreran aipaturiko moduan biojardineraren goiko aldean landareak daude eta sustraiek biojardineraren zati bat okupatzen dute. Hori dela eta 0,6 m horietatik goiko 0,2 m-ak landareak okupatzen dutela kontsideratu da, era honetan aurretik zehaztutako 5.Taulako datuetan aldaketa berri hau eginez ondoren ikusten diren 48 eta 49. Irudiak lortzen dira:



48. Irudia. H = 0,4 m-ko nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



49. Irudia. H = 0,4 m-ko nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

48 eta 49. Irudietako kontzentrazio profilak 16 eta 17. Irudietako kontzentrazio profilekin konparatuz gero ikus daiteke nola altuera txikituz gero sustratuaren kontzentrazioek aktibitate gehiago erakusten dutela, izan ere ltuaren murrizketa honek denbora espazialaren, τ , murrizketa eragiten du. Era berean ur grisen emaria darion sekzioa murriztu egiten da lortzen den eraginkortasuna murriztuz.

Gainera ur grisa darion 0,4 m-ko gune horretan kontuan hartu behar da legarraren inguruan sortzen den biofilm-aren ondorioz mikroorganismoen frakzio osoa ez dela hurrengo nodora

garraiatzen, izan ere grabitatearen ondorioz frakzio zati bat biojardineraren hondoan sedimentatuko da, honela lokatz kontzentratuko gunea sortuz. Era honetan grabitateagatik ohandzearen hondora sedimentatzen den mikroorganismoen kantitatearen ondorioz bertatik darion ur grisaren fluxua gero eta txikiagoa bilakatuko da. Altueraren erredukzio handiago honen ondorioz denbora espaziala are gehiago jaitsi egingo da eta biojardinerak lortuko duen eraginkortasuna ere are gehiago murriztuko da.

Beraz planteamendu berri hau orain arte erabilitako modeloan sartzeko, hau da, loditzen joango den geruza sartzeko, mikroorganismo eta sustratu kontzentrazioen balantzeak (28) eta (32) ekuazioetan ageri direnak moldatu behar dira, era honetan emaria darion sekzioaren erredukzioa denborarekiko kontuan izateko. Baina sekzioaren murrizketa eragingo duen parametroa altuera da, H , izan ere lokatz geruzak ez du zabaleraren, W , erredukzioa eragingo.

Egoera berria planteatuz gero, h_i nodo bakoitzeko lokatz geruzaren altuera dela kontsideratuz, y_i uraren emarirako erabilgarri gelditzen den altuera $y_i=H-h_i$ adierazita geratzen da. Hortaz lehenengoz nodo bakoitzerako sustratu kontzentrazioaren balantzea moldatuz, non $i-1$ nodoko emaria jasotzen duen eta sarrera, irteera, desagertze eta metatze terminoak kontuan hartzen dituen:

$$W\Delta z\epsilon \frac{d(y_i S_i)}{dt} = QS_{i-1} - QS_i - \frac{1}{Y_{xs}} \frac{\mu_m S_i}{K_s + S_i} X_i y_i W\Delta z\epsilon \quad (34)$$

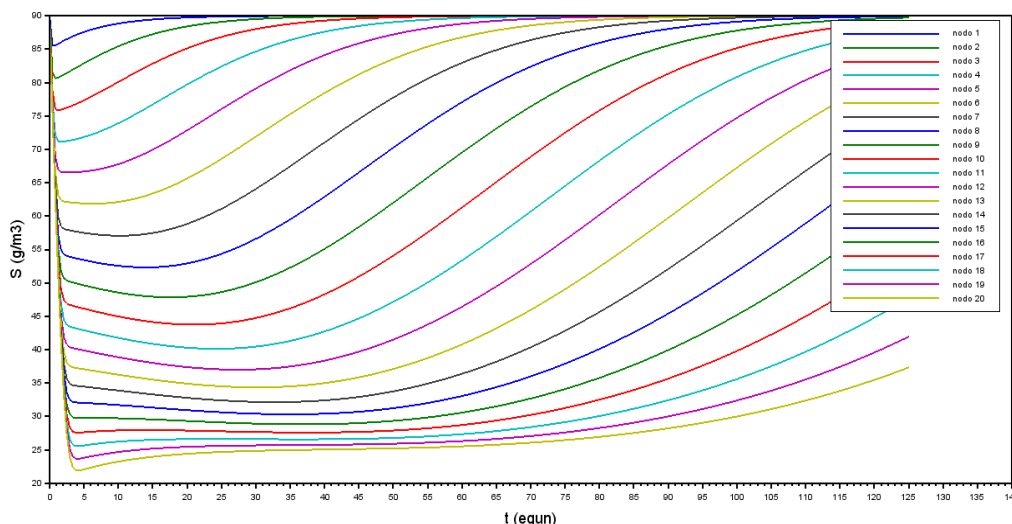
Bestalde mikroorganismo kontzentrazioaren balantzea moldatuz:

$$W\Delta z\epsilon \frac{d(y_i X_i)}{dt} = QX_{i-1}f_h - QX_i f_v + \left(\frac{\mu_m S_i}{K_s + S_i} - K_d\right) X_i y_i W\Delta z\epsilon \quad (35)$$

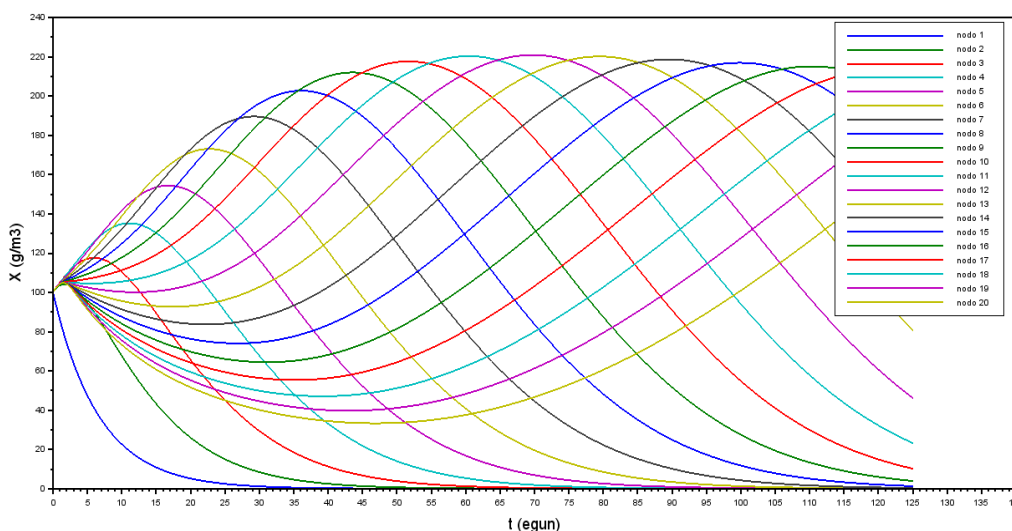
Azkenik lokatz geruzako mikroorganismo kontzentrazioaren balantzea i nodo bakoitzerako planteatzea geratzen da, non mikroorganismo kontzentrazioa konstante mantentzen den (X_∞), honela sartze eta akumulatze terminoak soilik kontsideratuz:

$$W\Delta z\epsilon X_\infty \frac{dh_i}{dt} = QX_i f_v \quad (36)$$

Era honetan (34), (35) eta (36) ekuazioak simulatuz gero ondorengo 42 eta 43. Irudietan ageri diren emaitzak lortzen dira:



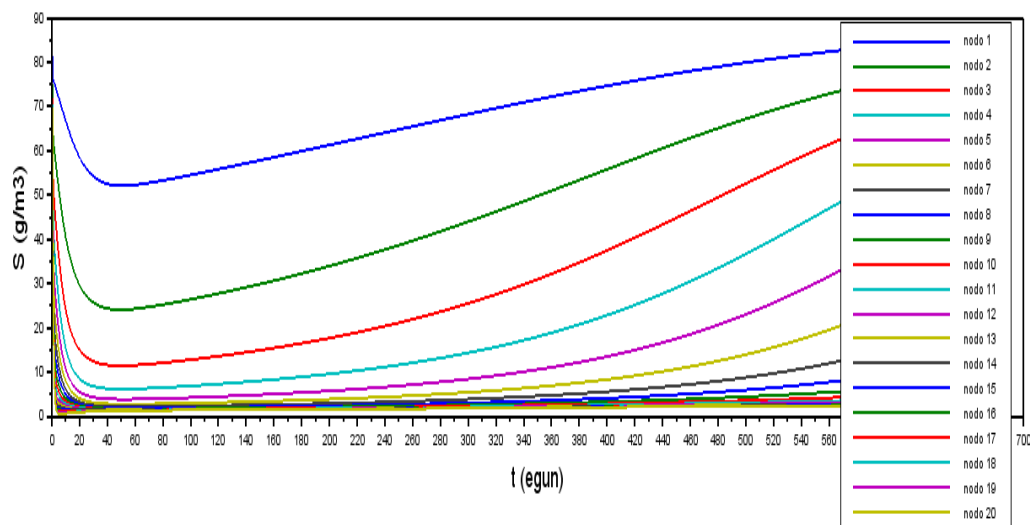
50. Irudia. Akumulatzen doan lokatz geruza kontuan hartzen duen nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.



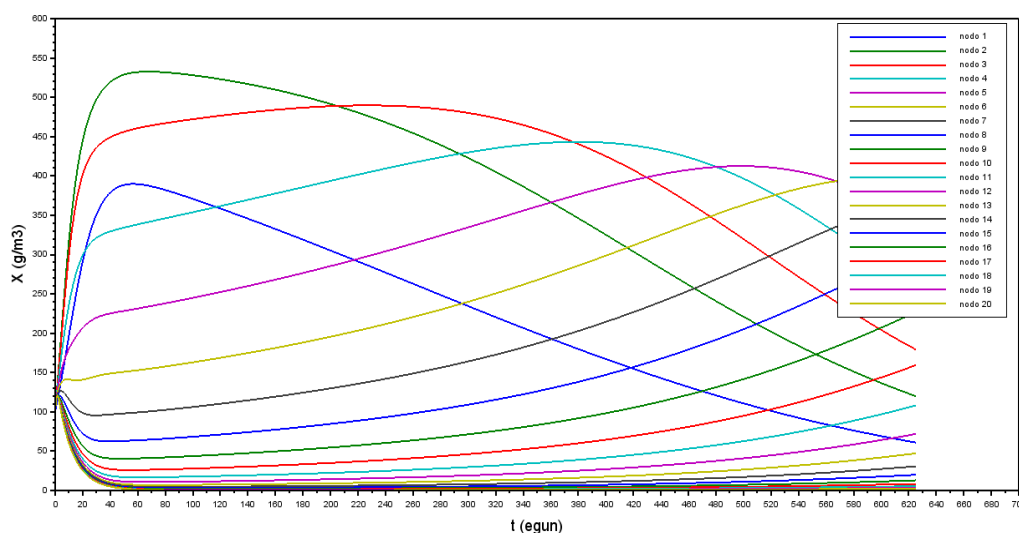
51. Irudia. Akumulatzen doan lokatz geruza kontuan hartzen duen nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

50 eta 51. Irudietan ikus daiteke nola lortzen diren emaitzak ez direla egokiak. Izan ere sustratuaren kontzentrazioak aztertuz gero ikusten da nola hasiera batean azkenengo nodoek aktibitate on bat erakusten dutela baina denborarekin desaktibatatu egiten dira mikroorganismoen populazioa ere desagerraraziz. Honela lortzen den eraginkortasuna oso txarra da eta ondorioz biojardinerak ur grisaren arazketarako duen kapazitatea oso baxua da.

Egoera honetan parametroen berbilaketa burutu egin da, kasu honetan sustratuaren desaktibazioa gertatzen denez r_{20} -aren balioa handiagotuz, honen balioa $0,56/24 \text{ h}^{-1}$ -ean bilakatu. Gainera $20 \text{ }^\circ\text{C}$ -ko erreakzio abiaduraren igoyeraren beharrak adierazten du sistemak bolumen bioaktibo handiago baten beharra duela, izan ere altueraren murrizketak denbora espazialaren murrizketa eragin du. Era honetan biojardineraren dimentsioetan aldaketa hauek eginez: $W=1,2 \text{ m}$ eta $H=0,47 \text{ m}$ (altuera hau ez da biojardineraren altuera osoa, izan ere landareen sustraiak okupatzen duten altuera gehitu beharko zen), ondorengo 52 eta 53. Irudietan ageri diren emaitzak lortu dira:

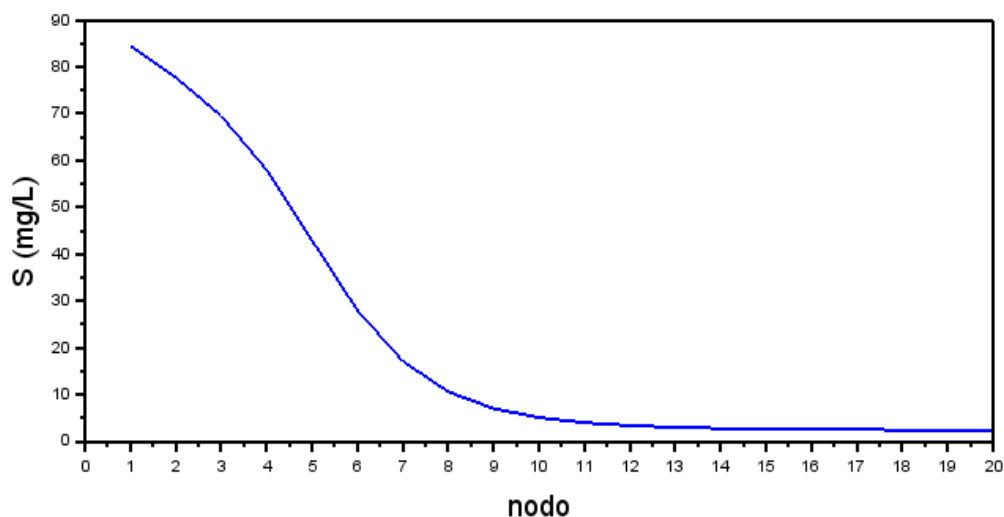


52. Irudia. Parametroak egokitu ondorengo nodo bakoitzeko sustratu kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

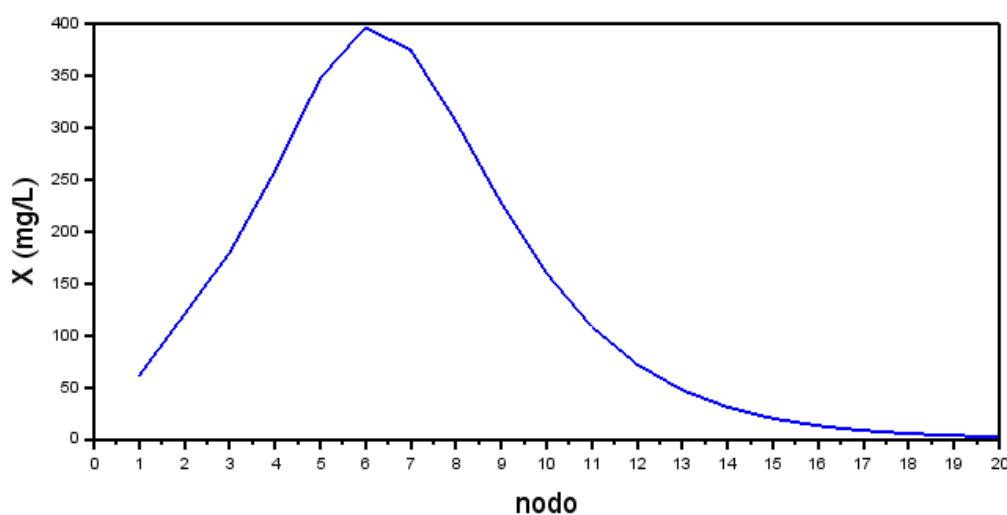


53. Irudia. Parametroak egokitu ondorengo nodo bakoitzeko mikroorganismo kontzentrazioen eboluzioa denborarekiko.

Ondorioz 52 eta 53. Irudiak aztertuz gero non sustratuaren aktibazioa igo egin den eta biojardineraren dimentsioak egokitu diren, lortzen diren sustratu eta mikroorganismo kontzentrazioen profilak egokiak direla esan daiteke. Biojardinerak aktibazio egokia dauka, nahiko azkarra eta denborarekin nahiko egonkortzen da. Nahiz eta guztiz ez egonkortu eta hortaz egoera geldikorra guztiz ez lortu, normala da, izan ere sistema biologiko bat da non sustratu eta mikroorganismoen garraioa eta akumulazioa dagoen. Gainera lortzen den sustratuaren eraginkortasuna oso altua da hurrengo 54. Irudian argi ikus daitekeen moduan. Bestalde mikroorganismo kontzentrazioaren eboluzioa nodoekiko ere irudikatu da 55. Irudian:



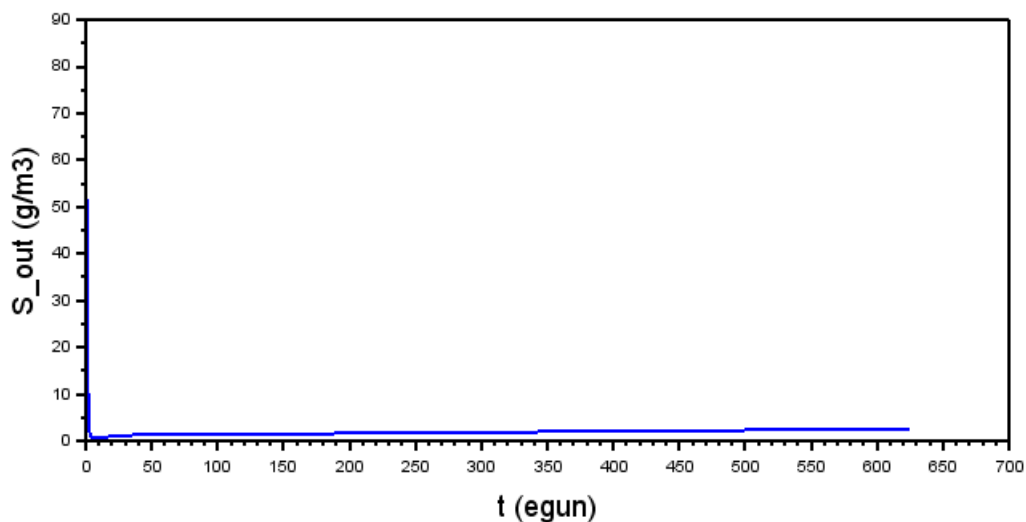
54. Irudia. Sustratu kontzentrazioaren eboluzioa nodoekiko.



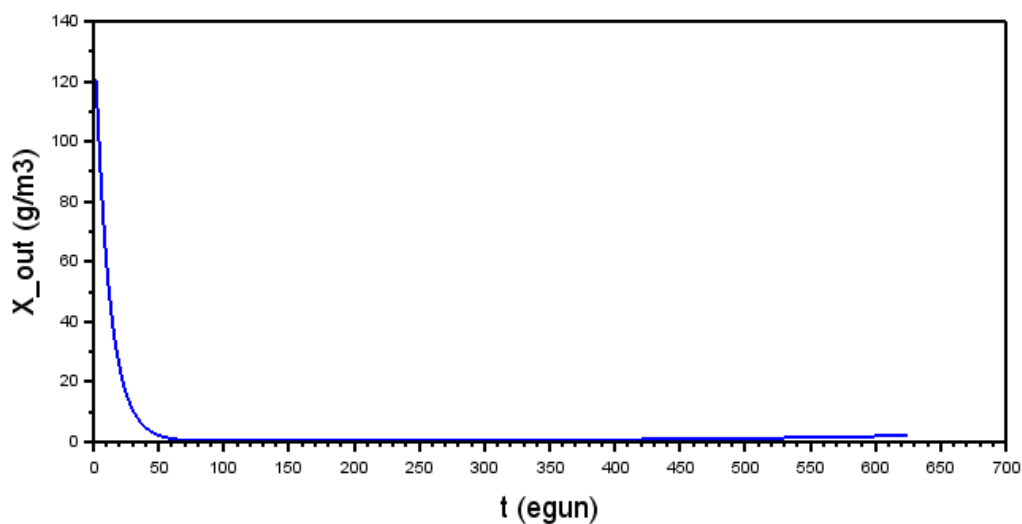
55. Irudia. Mikroorganismo kontzentrazioaren eboluzioa nodoekiko.

54. Irudian ikus daiteke nola lehenengo nodotik aurrera sistemak aktibazio oso egokia erakusten duela eta substratuaren kontzentrazioa nahiko azkar jaitsi egiten dela 10. nodora heltzen den arte eta hori dela eta momentu horretako substratuaren eliminazioa burutzeko, hau da uraren depurazioa burutzeko, biojardineraren erdiarekin nahikoa izango litzateke baina kontuan hartu behar da etorkizunerako interesgarria dela sistemak erreserbako gunea edukitzea, era honetan sarreratik gertuago dagoen gunea agortu ostean zonalde hau erabiltzeko. Bestalde 55. Irudiko mikroorganismoek kontzentrazio maximoa lortzen dute 6. nodoan, baina maximo hau eskumara desplazatzen joango da hasierako gunea agortuz doan heinean.

Ondoren sistema argiago ikusteko kanpoko biojardineraren azken nodoko kontzentrazioen garapena denborarekiko simulatu dira ondorengo 56 eta 57. Irudietan ikus daitezkeen bezala:



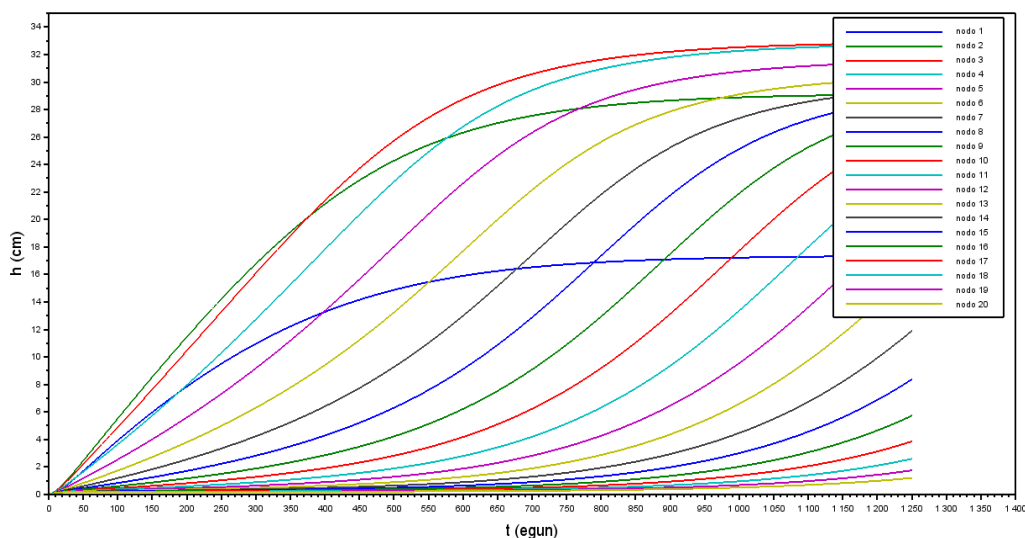
56. Irudia. Irteerako sustratu kontzentrazioaren eboluzioa denborarekiko.



57. Irudia. Irteerako mikroorganismo kontzentrazioaren eboluzioa denborarekiko.

56. Irudian argi ikus daiteke nola biojardineraren aktiibitatea oso azkar hasten dela, irteerako korronteak kontzentrazio oso baxuak aurkezten baitditu hasiera batean izan ezik, izan ere hasiera batean biojardineraren ur zikinaz beterik dagoela kontsideratu da, 90 g/m^3 -ko DBO_5 (sustratu) kontzentrazioarekin hain zuzen ere. Irteerako korrontearen mikroorganismoen kontzentrazioa 49. Irudian aztertuz ikus daiteke nola aktibazioa pixka bat motelagoa dela. Hau gertatzea normala da, hasiera batean kontsideratu egin delako biojardineraren denbora batez ur grisez beterik egon dela eta aipaturiko moduan ur grisaren kontzentrazio hori sarrerako emariaren berdina dela, era honetan biofilm-aren sorrera faboratuz. Hau da, mikroorganismoek 20 egun inguru behar dute biofilm-a eratzeko eta grabiatearen ondorioz biojardineraren beheko aldera erortzeko.

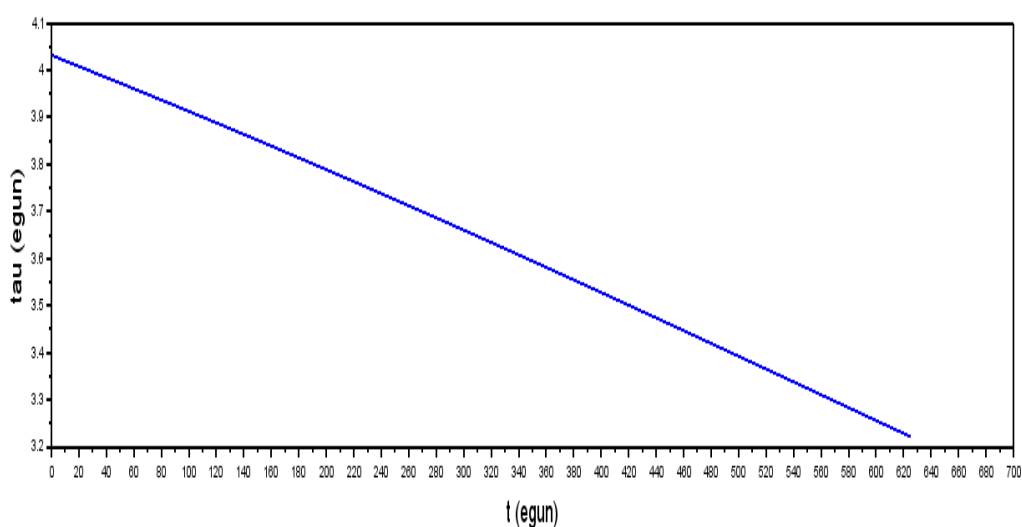
Egindako planteamenduari dagokionez non biojardineraren hondoa lokatz geruza akumulatu egiten den, suposatu egin da mikroorganismoen %1-a sedimentatu egiten duela. Era honetan 58. Irudian ikus daiteke nola aldatzen den geruzaren lodiera denborarekiko:



58. Irudia. Lokatz geruzaren altueraren eboluzioa denborarekiko.

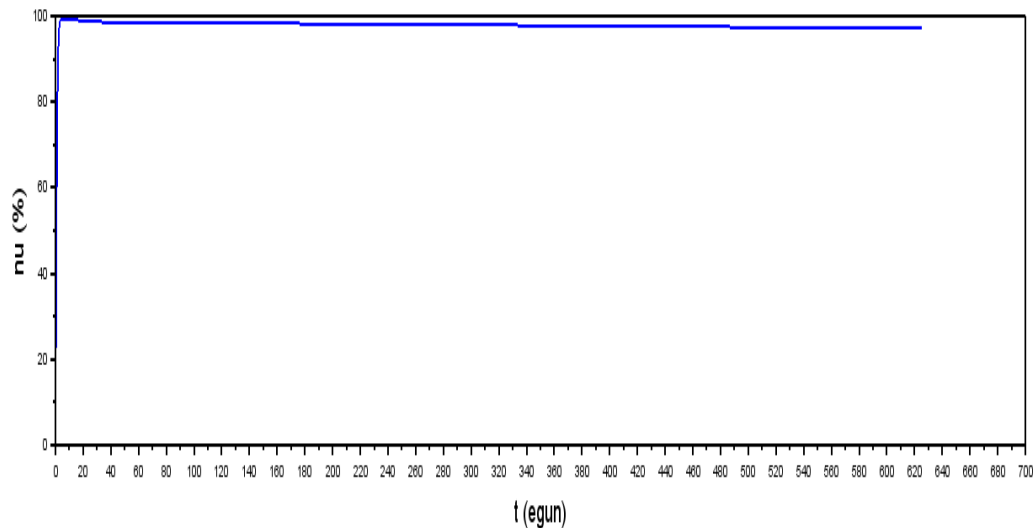
58. Irudian ikus daiteke nola orokorrean nodo guztien altuera handitzeko joera hartzen dutela. 1.nodoak 14 cm-ko altuera maximoa hartzen du, baina altuera gehiena hartzen dutenak 2, 3, eta 4.nodoak dira. Hala ere ez dute altuera maximoa lortzen eta hortaz ez dute oztopatzen ur grisaren garraioa eta arazketa. Gainera ere ikus daiteke nola azkenengo nodoek gero eta altuera handiagoa lortzen dutela denbora pasa ahala. Hau aurretik komentatu den bezala mikroorganismoen kontzentrazio maximoa denborarekin biojardineraren amaierako gunera desplazatuz doaz, biojardineraren lehenengo nodoen kontzentrazioa egonkortzen den bitartean, era honetan erreserbatutako gunea funtzionaraziz. Hala ere denborarekin oso probablea da geruzaren lodierak altuera maximoa hartzea eta ondorioz biojardinerara arazketa gaitasunik gabe geldituz. Ondorioz oso probablea da momenturen batean biojardinerara kolapsatzea eta garbitu behar izatea.

Azkenik modeloaren garapenari bukaera emateko denbora espazialaren eta eraginkortasunaren eboluzioa denborarekiko simulatu egin dira emaitza moduan 59 eta 60. Irudiak lortuz:



59. Irudia. Denbora espazialaren eboluzioa denborarekiko.

Denbora espazialarekin hasiz 60. Irudian ikus daitekeen moduan oso argi ikus daiteke parametro honen murrizketa denborarekiko. Aurretik aipaturikoarekin zerikusia dauka, lokatzaren akumulazioaren ondorioz biojardineraren sekzioa murriztuz joango da eta hortaz denbora espaziala ere. Izan ere egun bateko murrizketara hel daitekeela ikusten da.



60. Irudia. Eraginkortasunaren eboluzioa denborarekiko.

Hala ere nahiz eta denbora espaziala murriztu 60. Irudian ikusten da nola eraginkortasunean daukan eragina oso txikia dela denborarekin honen balioa oso gutxi txikituz. Gainera biojardineran lortzen den eraginkortasuna oso ona dela ikusten da. Baina nahiz eta eraginkortasuna oso gutxi murriztu ikusten da nola modelo lokatz geruzaren formazioaren ondorioz eraginkortasunaren murrizketa iragartzeko gai dela.

4. ONDORIOAK

Garatutako modeloak biojardineraren batek izango duen portaera aurreikusteko gaitasuna duela ikusi da, era honetan mikroorganismoen populazioaren heriotza eta lokatz geruzaren handitzeak sortu ahal dituen buxadurak alde aurretik ikusiz biojardineraren dimentsio eta emari egokiak aurkitzeko gauza izanik. Gainera sorturiko modelo erraminta eraginkor bat dela frogatu egin da, izan ere parametroetan egindako edozein aldaketan aurrean hauek instalazioan zer nolako eragina sortzen duten erakusteko gai da eta.

Parametroen eragina sisteman gehienbat bilaketa parametrikoa egin denean ikusi da. Lehenengoz argi ikusi dira Monod-en ekuazioak barneratzen dituen parametroen eragina, hau da, hazkuntza maximoko abiadura espezifikoak igotzean (tenperatura eta 20 °C-ko erreakzio abiaduraren menpe dagoena) sistemaren aktibazioa igo egiten dela ikusi da, honela substratuaren eta mikroorganismoen aktibazioa eta eraginkortasuna igoz. Saturazio konstantea handituz aldiz kontrakoa gertatzen dela ohartu da sistemaren desaktibazioa gauzatuz. Baina modelo honek iturriaren ezaugarrietan, emaria eta substratu kontzentrazioa, egiten diren aldaketan aurrean ere erantzuten duela aztertu da. Izan ere emaria txikitzerakoan denbora espaziala handitu egiten da sistemaren aktibazioa igoz eta eraginkortasun handiagoa lortuz, eta era berean substratuaren kontzentrazioa igoz sistemak aktibazio hobetua erakusten du eraginkortasuna hobetuz. Azkenik nodo batetik bestera pasatzen den mikroorganismoen frakzioa ikastea argi ikusi da nola ezinbesteko faktorea dela sistemaren bizitza ziurtatzeko eta honen populazioa ez galtzeko, baina sistemara ondo egokitzen den frakzioa ezinbestekoa dela, honela populazioa ez galtzeko baina bez eragina hain azkarra ez izateko.

Bestalde aipatzekoa da oharrearen hondoan sortzen den lokatz geruzaren garrantzia. Honen eraginez biojardineratik doan uraren emariaren kolapsoa gertatu ahal izan zen, horrela sistemaren arazketa guztiz oztopatuz. Hala ere ikusi egin da epe oso luzean gertatuko litzatekeela, bitartean emariaren erredukzioaren ondorioz denbora espazialaren eta eraginkortasunaren murrizketa eraginez. Hortaz, nahiz eta epe luzean gauza izan, interesgarria izango litzateke noiz oztopatuko zen jakitea, honela biojardineran noiz garbitu beharko zen aurreikusiz.

Bukatzeko, nahiz eta aurreikustutako azken modeloak aurrerapen asko barneraturik izan, badira hurrengo lan batean egin daitezkeen aurrerapenak:

- **Landareen aktibazioa barneratzen duen modelizazioa:** landareek uraren eta nutrienteen xurgatzean eragiten dute, beraz interesgarria izango litzateke eragin hau modeloan integratzea.
- **Uraren lurrunketa:** hau modelizatzea ere erakargarria izango litzateke, izan ere honek substratu eta mikroorganismo kontzentrazioetan eragina izango luke, gainera denbora
- **Tranparen integrazioa:** azkenik koipe tranparen modelo biojardineraren modeloan integratzea komenigarria izango litzateke, honela instalazio osoaren portaera simulatzen duen modelo osatuz.

5. NOMENKLATURA

Δz	Nodo baten luzera, m
ϵ	Legarraren porositatea, %
f_h	Nodo batetik bestera garraiatzen den mikroorganismoen frakzioa
f_v	Sedimentatzen den nodo frakzioa
h_i	i nodoan aurkitzen den lokatz geruzaren altuera, m
H	Biojardineraren altuera, m
K_d	Heriotza faseko parametroa, h^{-1}
K_s	Saturazio konstantea, g/m^3
L	Biojardineraren luzera, m
n	Biojardineraren banatzen den nodo kantitatea
η	Biojardineraren eraginkortasuna, %
σ	Temperaturaren aktibitate koefizientea
Q	Ur grisaren emaria, m^3/h
r_{20}	20°C-ko erreakzio abiadura, h^{-1}
S_i	i nodoan aurkitzen den substratu kontzentrazioa, g/m^3
S_{in}	Ur grisaren emariarekin sartzen den substratu kontzentrazioa (DBO_5), g/m^3
S_0	Hasieran biojardinerak daukan substratu kontzentrazioa, g/m^3
T	Ingurumenaren tenperatura, °C
τ	Denbora espaziala, h
μ	Zelulen hazkuntza-tasa espezifikoak, h^{-1}
μ_m	Hazkuntza maximoko abiadura espezifikoak, h^{-1}
W	Biojardineraren zabalera, m
X_i	i nodoan aurkitzen den mikroorganismoen kontzentrazioa, g/m^3
X_{in}	Ur grisaren emariarekin sartzen den mikroorganismoen kontzentrazioa, g/m^3

- X_0 Hasieran biojardinerak daukan mikroorganismoen kontzentrazioa, g/m^3
- X_∞ Lokatzen aurkitzen den mikroorganismoen kontzentrazioa, g/m^3
- y_i i nodoan ur grisen emarirako erabilgarri aurkitzen den altuera, m
- Y_{xs} Errendimendu tasa, %

6. BIBLIOGRAFIA

Alianza por el Agua. (2008). Manual de depuración de aguas residuales urbanas (Monográficos Agua en Centroamérica).

Clark, D.S., and Blanch, H.W. (1997). Biochemical Engineering, Second Edition (CRC Press).

Departamento de Asuntos Económicos y Sociales de Naciones Unidas (ONU-DAES): El derecho humano al agua y al saneamiento. URL http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/human_right_to_water.shtml (2018/03/15 bisitatua)

García, J., y Corzo, A. (2008). Depuración con Humedales Construidos: Guía Práctica de Diseño, Construcción de Sistemas de Humedales de Flujo Subsuperficial.

García, J., Morató, J., Bayona, J. (2004). Nuevos criterios para el diseño y operación de humedales construidos: una alternativa de bajo coste para el tratamiento de aguas residuales.

Morales Mira, G. (2008). Tendencias de la investigación en ingeniería ambiental (Medellin; Universidad de Medellin).

Ochoa, M. (2007). Estudio preliminar de caracterización y cuantificación de las aguas grises en una residencia de Bogotá. Tesis. Ing. Amb, Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes.

Organización de las Naciones Unidas: Agua. URL <http://www.un.org/es/sections/issues-depth/water/index.html> (2018/03/20 bisitatua)

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: El Salvador. URL http://www.fao.org/nr/water/aquastat/countries_regions/SLV/indexesp.stm (2018/03/13 bisitatua)

Organización Mundial de la Salud: Agua. URL <http://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water> (2018/03/25 bisitatua)

Resolución aprobada por la Asamblea General el 28 de julio de 2010: 64/292. El derecho humano al agua y saneamiento. URL http://www.un.org/ga/search/view_doc.asp?symbol=A/RES/64/292&Lang=S (2018/03/15 bisitatua)

Rosales, E. (2006). Creando Jardines para limpiar nuestra agua: Manual para la construcción de Biojardineras (ISSUE: Iniciativa Integrada para un Ambiente Urbano Sostenible).

Schneider, L. (2009). Washington State Department of Health: Greywater reuse in Washington state. URL <https://www.doh.wa.gov/portals/1/Documents/Pubs/337-108.pdf> (2018/05/15 bisitatua)

Sierra, J. (2006). Tratamiento y Reutilización de aguas grises en proyectos de vivienda de interés social a partir de humedales artificiales. Tesis. Ing. Civil. Bogotá, Colombia, Universidad de los Andes.

Vymazal, J., and Kröpfelová, L. (2008). *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow* (Springer Science & Business Media).