

Gradu Amaierako Lana

Elikagaen Zientzia eta Teknologiako Gradua

# **KLIMA ALDAKETAREN ERAGINA NEKAZAL KULTIBOETAN: ORDEZKO ESPEZIEEN LANDAKETA**



EGILEA: Itxaso Unanua Ollo

ZUZENDARIA: Usue Pérez Lopez

ZUZENDARIKIDEA: Jon Miranda

Ikasturtea: 2019/2020



## **Aurkibidea**

Laburpena.....	v
Laburdurak.....	v
1. Sarrera.....	1
2. Helburuak.....	2
3. Garapena.....	2
3.1. Txia espeziea .....	2
3.1.1. Informazio orokorra.....	2
3.1.2. Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak.....	3
3.1.2.1. Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	3
3.1.2.2. Txiak eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak.....	4
3.1.3. Tenperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak	5
3.1.3.1. Tenperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	5
3.1.3.2. Txiak tenperatura altuetara egokitze garatutako mekanismoak.....	5
3.1.4. Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke txia? .....	6
3.2. Amaranto espeziea.....	6
3.2.1. Informazio orokorra.....	6
3.2.2. Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak.....	7
3.2.2.1. Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	7
3.2.2.2. Amarantoak eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak .....	8
3.2.3. Tenperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak	9
3.2.3.1. Tenperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	9
3.2.3.2. Amarantoak tenperatura altuetara egokitze garatutako mekanismoak .....	9
3.2.4. Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke amarantoa? .	9
3.3. Kinoa espeziea .....	10
3.3.1. Informazio orokorra.....	10
3.3.2. Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak.....	10
3.3.2.1. Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	10
3.3.2.2. Kinoa eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak .....	11

3.3.3.	Tenperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak .....	11
3.3.3.1.	Tenperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	11
3.3.3.2.	Kinoak tenperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoak .....	12
3.3.4.	Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke kinoa? .....	13
3.4.	Artobeltz espeziea .....	13
3.4.1.	Informazio orokorra.....	13
3.4.2.	Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak.....	14
3.4.2.1.	Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	14
3.4.2.2.	Artobeltzak eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak.....	15
3.4.3.	Tenperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak .....	16
3.4.3.1.	Tenperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	16
3.4.3.2.	Artobeltzak tenperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoak.....	17
3.4.4.	Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke artobeltza? ..	17
3.5.	Teff espeziea .....	17
3.5.1.	Informazio orokorra.....	17
3.5.2.	Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak.....	18
3.5.2.1.	Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	18
3.5.2.2.	Teffak eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak .....	18
3.5.3.	Tenperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak ..	19
3.5.3.1.	Tenperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan .....	19
3.5.3.2.	Teffak tenperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoak .....	20
3.5.4.	Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke teffa? .....	20
4.	Ondorioak .....	20
5.	BIBLIOGRAFIA .....	21

## **Laburpena**

Aldaketa klimatikoa mundu mailako arazo oso larria da. Hainbat aldaketa suposatzen ari ditu, hala nola, ur-gezaren eskuragarritasunaren murrizpena eta batzuetan besteko munduko tenperaturaren igoera. Honek, arazo larriak sortzen ari ditu hainbat sektoreetan eta nekazaritzan are gehiago, faktore hauek ekoizpenaren galera eragiten dutelako. Honen aurrean, nekazaritzan orain arte gehien landatutako zereal espezieen ordez muturreko baldintzetara hobeto egokitzen diren sasi-zerealak bilatzea ezinbestekoa da. Muturreko egoera berri hauetara ongi egokitutako landare espezieak badaude, baina oraindik ez daude mundu mailan zabalduta. Txia, amarantoa, kinoa, artobeltza eta teffa baldintza klimatiko gogorretara ondo moldatzen diren landare espezieak dira. Bost espezie hauek, bai tenperatura altuetara eta baita ur-eskasi egoeratarako egokitzeko, mekanismo desberdinak garatzen dituzte, hala nola, estomen itxiera eta landarearen hazkuntza tasa aldatzea landare bakoitzaren kasuan desberdinak izanik. Hau gutxi balitz, balio nutritiboa oso altua daukate ere eta hauen ekoizpena nabarmenki hazten ari da azken urteotan. Hala ere, ikerketa gehiago behar dira etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezko kultibo izan daitezkeela ziurtatzeko.

**Hitz gakoak:** klima aldaketa, ordezko espezieak, tenperatura altuak, ur eskasia, egokitzapenerako mekanismoak.

## **Laburdurak**

ABA, Azido absizikoa; KAT, Katalasa; OEE, Oxigeno espezie erreaktiboak; SOD, Superoxido dismutasa.

## 1. Sarrera

Nekazaritza-jarduerak gero eta presio handiagoa du produktibitatea handitzeko eta hobetzeko klima-aldaketako egoeran eta munduko biztanleria gero eta handiagoa den egoeran. Kalkuluen arabera, 2050. urterako, bai gizakien elikadurari bai animaliei dagokienez, zerealen eskaria %70 handituko da (1).

Klima-aldaketari dagokionez, lehortea eta tenperatura altuak dira, neurri handi batean, landareen hazkundeari eta mundu osoko laboreen ekoizpenari eragiten dieten ingurumen-estreseko faktore garrantzitsuenak. Hussain eta kolaboratzaileen arabera (2), 1.000 milioi hektareako lurzorua asko kaltetu egin da uraren eta lurzorua gazitasunaren ondorioz. Jakinarazi da lehorteeak, 1964 eta 2007 urteen artean, laboreen ekoizpena %10 murriztu zutela (3) eta, 2006 eta 2016 urteen artean, %14 (4). Etorkizunerako aurreikuspenen arabera, lehorteeak eta bero-boladek gora egingo dute mundu osoan (5).

Jakina da lehorteeak eta tenperatura altuek landareen produktibitatea eta kalitatea kaltetzen dutela, eta, beraz, beharrezkoa da lehortea eta tenperatura altuak ondo jasaten dituzten espezieak landatzea.

Azken 20 urteotan, landareen hainbat prozesu biokimiko, fisiologiko eta molekular aldatuz, lehortearen eta tenperatura altuen aurrean tolerantetarako diren gari, arto eta arroz landareak ekoizteko ikerketa asko egin dira (6). Hala ere, landare tolerantetarako garatzea eta lortzea zaila da, ez baitira mekanismoak erabat ulertzen.

Proposatutako beste estrategia bat lehortearikiko eta tenperatura altuekiko jada tolerantetarako diren laboreak ikertzea da, haien prozesu fisiologikoak aztertuz, tolerantzia-gaitasun handiaren atzean dauden mekanismoak aurkitzeko (2). Horretarako, kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) labore eredu gisa proposatzen da, honek lehortearikiko eta beroarekiko tolerantzia-gaitasun handiak baititu (7). Gainera, mundu osoan zehar gero eta gehiago kontsumitzen denez eta balio nutrizional handia duenez, etorkizuneko ingurumen-baldintza zailei aurre egiteko elikagai-iturri egokia da (8). Hala ere, beste espezie batzuek ere garrantzia hartzen ari dira, hala nola artobeltza, teffa, txia eta amarantoa. Dituzten mekanismoak direla eta, landare espezie hauek nekazaritzan abantaila ezin hobea suposatzen dute. Hala ere, ikusiko den bezala, oraindik ikerketak falta dira espezie hauek gaur eguneko kultiboen ordezkari izan daitezkeela ziurtatzeko.

Hortaz, lan honek aipatutako bost espezieen analisia izango du helburu, zehazki lehorte-egoeran eta tenperatura altuan nola jokatzen duten aztertuz.

## 2. Helburuak

- Espezie bakoitzaren ezaugarri orokorrak ezagutzea
- Espezie bakoitzean lehortekak nola eragiten duen aztertzea
- Espezie bakoitzak lehortera moldatzeko dituen mekanismoak analizatzea
- Espezie bakoitzean tenperatura altuak nola eragiten duen aztertzea
- Espezie bakoitzak tenperatura altuetara moldatzeko dituen mekanismoak analizatzea

## 3. Garapena

Aurreko atalean deskribatutako helburuak aurrera eramateko errebisio bibliografiko sakon bat burutu zen espezie bakoitzerako. Artikuluen bilaketa egiteko Web of Science eta SciELO plataformak erabili ziren. Bertan espeziearen izena jarri eta lehorterako “*drought*” eta “*water stress*” hitz-gakoak erabili ziren eta tenperatura altuetarako “*elevated temperature*”, “*high temperature*” eta “*heat stress*” hitz gakoak erabili ziren. Bilaketa azkeneko bost urteotako artikuluetara mugatu zen. 1. taulan agertzen dira plataforma desberdinetan lortutako artikuluen kopurua (Agertutakoak) eta lana egiteko baliagarriak izan diren artikuluen kopurua (Erabilitakoak). Baliagarriak ziren ala ez erabakitzeke irizpidea honakoa izan da: agertutako guztien Abstract irakurri zen eta bertan espeziearen fisiologia, hazkuntza, ekoizpen edota kalitatearen inguruko emaitzak ematen baziren baliagarria bezala definitzen zen.

1. Taula. Plataforma desberdinetan topatutako eta erabilitako artikuluen kopurua.

Landare espeziea	Agertutakoak	Erabilitakoak
Txia	70	8
Amarantoa	22	13
Kinoa	228	9
Artobeltza	30	9
Teff	33	10

### 3.1. Txia espeziea

#### 3.1.1. Informazio orokorra

Txia (*Salvia hispanica* L.) Lamiaceae familiako udako landare belarkara da (9). Landare honek Mexiko eta Guatemalan du jatorria. Kolonurreko Erdialdeko Amerikako oinarrizko laboreak izan zen. Gaur egun Mexiko, Bolivian, Ekuador eta Guatemalan ekoizten da batez ere (10).

Landare honek propietate nutrizional oso interesgarriak ditu (11,12). Haziaren %12-26 proteina da eta bertan aurkitzen diren aminoazidoak heldu baten dieta osatzeko oso

egokiak dira. Bestalde, zuntzari dagokionez, haziaren %5-6a zuntzez osatuta dago, zuntz dietetiko gisa erabil daitekeena (12). Hazi hauetan ere konposatu antioxidatzaile natural ugari aurkitzen dira, tokoferolak, fitoesterolak, karotenoideak eta konposatu fenolikoak, esate baterako (12). Lipidoei dagokionez, aipatzekoa da  $\alpha$ -linoleikoan aberatsa den landarea dela (11). Gainera, honetan aurkitzen diren gantz azido asegabeen erratioa, hau da,  $\omega$ -6: $\omega$ -3 gantz azidoen proportzioa, 1 baino baxuagoa da. Dieta orekatu batean,  $\omega$ -6 eta  $\omega$ -3-ren arteko proportzioa 1:1-3:1 tartean mantendu behar da. Horregatik, txia baliogarria izan daiteke tarte horietatik kanpo ematen diren desorekak arintzeko (12).

Landarearen hazkuntzarako baldintza optimoak 400 eta 2.500 m-en arteko altitudetan egotea, urtean zeharreko batez besteko tenperatura 20-30 °C-koa izatea eta urtean batz besteko eurite-tasa 500 eta 1.000 mm artekoa izatea dira (11).

Hala eta guztiz ere, txia espeziea inguruneko ez-ohizko baldintzetara egokitzeko gai den hazia dela deskribatu da (11). Horregatik, segidan, lehortekak eta tenperatura altuek txian eragin ahal dituzten aldaketak laburbiltzen dira eta landareak hauen aurrean garatzeko gai den mekanismoak ere.

### **3.1.2. Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.1.2.1. Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Ikerketa askotan, ur eskasiaren aurrean, txiak hainbat aldaketa pairatzen dituela deskribatu da. Aldaketa hauek bai landarearen hazkuntzan, bai fotosintesi-tasan eta baita haziek daukaten profil nutritiboan ematen dira (13,14).

Gainera, ur eskasiaren eragina landarea dagoen etaparen arabera izango da. Esate baterako, ur eskasia hazkuntza begetatiboan ematen bada, heltzea azkartu dezake eta landarean ondorio kaltegarriak ez sortu. Bestalde, loraketan ematen bada, polen-aleen garapenean eragina izan dezake ernalketa oztopatuz (13).

Hasteko, landarearen hazkuntza tasaren kasuan, ur eskasiak landarearen hostoen azaleran eta landarearen pisu lehorrean eragina duela ikusi da. Hau da, landareak gero eta ur gutxiago jaso, gero eta txikiagoak izango dira honek ematen dituen hostoak eta landare osoaren amaierako pisu lehorra (14). Baina, hau ez da txia landare guztietan berdinean ematen, erantzuna genotipoaren arabera dela ikusi baita.

Bigarrenik, fotosintesi-tasari dagokionean, Italian egindako ikerkuntza batean fotosintesi-tasa ur erregimenaren eta genotipoaren arabera dela deskribatu dute. Ikerketa horretan, bi txia genotipo desberdinei hiru ur erregimen aplikatu zitzaizkien: lurrak onartzen zuen %100koa, lurrak onartzen zuen %50 eta urrik gabekoa. Bertan, urrik jaso ez



zuen landarearen eta %100 ur jaso zuen landarearen artean fotosintesi-tasan %25eko desberdintasuna zegoela ikusi zen, lehenengoan txikiagoa izanik. Gainera, bi genotipoen artean desberdintasun nabaria ikusi zen, batak besteak baino fotosintesi-tasa altuagoa zuela ikusi zuten (14).

Bestalde, Txilen egindako beste ikerketa batean, fotosintesi-tasaren murrizpena landareak ur eskasia jasaten duen momentuan igarotzen ari den etapa fenologikoaren arabera dela ondorioztatu dute. Ur eskasia loraketan ematen denean, fotosintesi-tasa altuagoa da ur eskasia haziaren heltzean ematen denean baino (13).

Hirugarrenik, ur eskasi egoera batek txia landarearen hostoetan ur-potentziala murrizten duela ikusi da hainbat ikerketetan (14). Hala eta guztiz ere, landarean presio potentziala zelularen hanpaduraren menpekoak diren prozesuak egiteko behar deneko baloreetan mantentzen da (14).

Amaitzeko, ur eskasiak haziak daukaten olio kantitatean ere eragina duela ikusi da. Lehorteak, haziak daukaten olio emendatu dezake. Honekin batera, omega 3 motatako olio kantitateak ere gora egiten duela ikusi da (15).

### **3.1.2.2. Txia eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak**

Eremu lehorretan bizi ahal izateko, txiak, hainbat egokitzapen egin ditzake hala nola, anatomikoak, morfologikoak eta fisiologikoak. Hauek ur galera ekiditen dute eta honen xurgapena hobetzen dute (13).

Ur estres egoera baten aurrean, txiak garatzen duen lehenengo erantzuna estomen itxiera da. Hau azido abzisikoak (ABA) kontrolatzen du eta txian eman daitekeen deshidratazioa ekiditeko baliagarria da (13). Estomen itxiera eta gero, landareak ur-potentzian eta ur eduki erlatiboan aldaketak pairatzen ditu (13,14).

Ur-potentzialaren murrizpena landareek ura atxikitzeko gai diren solutuen kontzentrazioa emendatzen dutelako ematen da, txia landareek doiketa osmotikoko mekanismoak inplementatzen baitituzte ura atxikita mantentzea laguntzen dutenak (13,14). Mekanismo honek landarean hanpaduraren menpekoak diren prozesuak burutzeko behar duen presio potentzial nahiko duela bermatzen du (14).

Amaitzeko, aipatu beharra dago ere, landareak lehorte baten aurrean garatutako mekanismoen artean, hostoetako estomatan aurkitzen diren zuntzetan sortzen dituzten tapoi muzilaginosuak deskribatu direla. Tapoi hauek oreka hidrikoa mantentzeko baliagarriak dira eta horrela, uraren defizitarekiko tolerantzian ere (15).

### **3.1.3. Temperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.1.3.1. Temperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Txia muturreko temperaturak jasateko gai da. Izatez, haziek 3,3 °C-tik 39,8 °C-rainoko temperaturak jasateko gai dira. Hala eta guztiz ere, temperatura aldaketek hazien erretzea kontrolatzen duten prozesuetan, mintzen iragazkortasuna eta entzima zitosolikoen eta mintzei lotutakoen jardueran eragina izan dezakete (9).

Esate baterako, haziaren erretzeari dagokionez, temperatura igotzen doan ahala, prozesua azkartzen joaten da, beti ere, muturreko temperaturara iristen ez bada. Bestalde, temperaturaren murrizpen graduala ematen bada hazia erretzen ari den bitartean, erretzea motelduko da eta landarearen hazkuntzan eragina izan dezake. Horregatik, garrantzitsua da erretzea temperatura egokietan ematea. Ikerketa batean, erretze tasarik altuena 30 °C-tan ematen dela ikusi dute. Hau temperatura altuek prozesu metabolikoen abiadura azkartzen dutelako da, eta horrela, inbibizio fasea laburtu egiten da (9).

Temperaturak ere txiak daukan b-klorofila eta karotenoideen kontzentrazioan eragina daukala ikusi dute ikerketa batean. Bertan, temperaturek gora egin ahala, b-klorofila edukia igotzen dela ikusi dute. Baina, karotenoideen kasuan kontrakoa gertatzen dela. Hau da, temperaturak igotzean, karotenoideen edukiak behera egiten du. Hiru temperatura desberdin erabili zituzten ikerketa egiteko 20 °C, 25 °C eta 30 °C. b-klorofila kontzentrazio altuenak 30 °C-tan lortu zituzten eta karotenoideen kasuan 20 °C-tan (9).

Baina, temperaturak ez du soilik klorofilan eta karotenoideetan eragina. Honek gora egitean, landarean aurkitzen diren prolina eta aminoazido totalen edukiak gora egiten duela ere ikusi dute autore berdinek (9).

Amaitzeko, temperaturak ere landarearen tamainan eragina duela ikusi da. Temperatura landarearen ageriko partearen tamaina baldintzatzen du. Horrela, ikerketa batean hiru temperatura desberdinetan landarearen ageriko partearen tamaina neurtu da eta honen tamainarik txikiena 35 °C-tan neurtu da. Balorerik altuenak 25 °C-tan eta 25 °C eta 30 °C tartekatu diren baldintzetan lortu dira (16).

#### **3.1.3.2. Txia temperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoak**

Txia temperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoen inguruko ikerketarik ez dago. Etorkizuneko baldintza klimatikotan temperatura altuen eragin negatiboa ezagututa, honen inguruan ikerketa faltak direla argi demostratzen du errebisio bibliografiko honek.

#### **3.1.4. Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke txia?**

Aurreko ataletan adierazitako guztia kontutan hartuz, txia lehortea pairatzen duten ingurune klimatikoetan kultibatu daitekeen espezie bat dela ondorioztatzen da baina tenperatura altuetara nola moldatzen den jakiteko gehiago ikertu beharko litzateke.

### **3.2. Amaranto espeziea**

#### **3.2.1. Informazio orokorra**

Amarantoa (*Amaranthus* sp.) Amaranthaceae familiako landare dikotiledoneoa ez gramineoa da. Honen haziak ale forma daukatenez, sasi-zerealen barnean sailkatzen da. *Amaranthus* generokoa da eta honek aldi berean, 70 espezie biltzen ditu gutxi gorabehera. Espezie guztiak ez dira jangarriak eta hauen artean, dibertsitate genetiko handia dago (17). Espezie gehienek, 40 bat inguru, Amerikar kontinentean dute jatorria. Baina, badira beste kontinenteetan jatorria dutenak ere (17). Mundu osoan zehar gehien landatzen diren espezieak *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* eta *A. caudatus* dira. Hiruak Amerikar kontinentean daukate jatorria (17).

Amarantoak ezaugarri nutritibo oso interesgarriak dauzka. Ezaugarririk aipagarriena daukan proteina edukia da. Honen aminoazido konposizioa Elikadura eta Nekazaritza Erakundeak elikadura osasuntsu bat izateko gomendatzen duenaren antzekoa da (18). Bestalde, konposatu antioxidatzaileak dauzka ere, haien artean, beta-karotenoak, klorofila, betazianina eta betaxantinak. Konposatu hauek minbiziaren eta gaixotasun kardiobaskularren prebentzioan laguntzen dute (19). Gainera, ez du glutenik (18) eta ekarpen kaloriko egokia du ere (19).

C4 motatako kultiboa da beraz, C3 motatako kultiboekin konparatuz, uraren erabilpenean eraginkorragoa da ur galera txikiagoak dituelako. Gainera, ingurune epel, heze eta eguzkitsuetan loratzeko gai da. Horregatik, lehorteetan hazteko gai dela deskribatu dute hainbat autoreek (18,20). Hazia ernaldu ahal izateko gariak behar duen uraren %42-47 besterik ez du behar eta artoak behar duenaren %50-60. Amarantoari argi erradiazio altupean egoteak ez dio efektu larririk eragiten eta tenperatura oso altuak jasateko gai da ere (18).

Beste zereal batzuekin alderatuz, nahiz eta hazteko ur kopuru gutxiago behar izan eta tenperatura altuetan hazteko gai izan, faktore klimatiko hauek ere eragin kaltegarri handiak izan ditzakete landarearen hazkuntzan eta honek emandako hazien konposizioan (21,22). Hemendik aurrera, faktore klimatiko hauek espezie honen produkzio eta kalitatean nola eragiten duten aztertzen diren artikulu nagusien ekarpenak laburbilduko dira.

### **3.2.2. Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.2.2.1. Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Amarantoari iristen zaion ur kantitateak landarearen produktibitatean zein ezaugarri nutritiboetan eragina duela ikusi da hainbat ikerketetan (19,23).

Orokorrean, ur kantitatea jaistean, landarearen biomasa zein produktibitatea txikitzen direla ikusi da (23,24). Esate baterako, ikerketa batean, ur estres egoera larria denean, hau da, landareak behar duen ur totalaren %60a baino gutxiago jasotako landareetan, landarearen altuera eta zurtoinaren tamaina asko murrizten direla ikusi da (24). Murrizpen honek amarantoaren biomasa eta produktibitatea %50 jaitea suposatuz dezake (23).

Bestetik, ezaugarri nutritiboak dagokienez, normalean landareak jasotzen duen ur kantitatea aldatuz gero, bertan aurkitzen diren mineralen kontzentrazioen bariazioa ematen dela ikusi da (22).

Esate baterako, Hego Afrikan egindako ikerketa batean, amarantoa ureztatzeko erabiltzen den ur kantitatea landareak behar duen uraren %60a baino baxuagoa denean, mineral batzuen kontzentrazioen murrizpena ematen dela ikusi da, beharrezkoa duten %100 ur kantitatearekin ureztatu diren landareetan lortutako datuekin konparatuz gero (22).

Fosfatoaren kasuan adibidez, aipatutako ur kontzentrazio horietan, landarean, ioien difusioa, absortzioa eta xurgapena oztokatzen denez, landarean mineral honen kontzentrazioaren jaitsiera ematen da (19,22). Halaber, K-ren kasuan ere, honen kontzentrazioaren beherapena ikusi da (22). Hala ere, beste mineral batzuetan kontrako eragina daukala ikusi da. Ureztatzeko erabiltzen den ur kantitatearen murrizpen horrek Mg, Ca eta Na-an kontzentrazioaren handitzea ahalbidetzen duelako (22).

Bestalde, ureztatzeko erabiltzen den ur kantitatea handiagoa bada, hau da, landareak behar duenaren %60a erabiltzen bada, soilik eragin positiboa K eta P mineraletan izango du. Kasu honetan, soilik hauen kontzentrazioek gora egiten dute beste mineral batzuen kontzentrazioek behera egiten duten heinean, Ca, Mg eta Na kasu (22).

Bestalde, aipatzekoa da ere amarantoan aurkitzen diren proteinen eta zuntzaren edukiak behera egiten dutela ureztatzeko ur kantitateak behera egiten duen heinean (19).

Aldi berean, gantzari dagokionez, balorerik baxuenak %60tik beherako ur kontzentrazioarekin ureztatutako landareetan eman dira. Karbohidratoek emandako baloreak, aurretik aipatutako bi ur kontzentrazioetan trataturiko landareetan konstante mantendu dira (19).

Urak balore nutritiboan daukan eraginarekin amaitzeko, aipatu beharra dago gero eta ur gutxiago erabili landareak ureztatzeko, gero eta altuagoak izango dira honetan aurkitzen diren beta-karoteno, flabonoide, polifenol eta C bitaminaren kontzentrazioak (19).

### **3.2.2.2. Amarantoak eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak**

Bai ezaugarri nutritiboetako aldaketak, baita landarearen produktibitatearen murrizpena ere, ez dira amaranto barietate eta genotipo guztietan berdin ematen. Hauetako batzuk ur gutxiko baldintzetara beste batzuk baino hobe egokitzeko gai dira. Egokitzapena emateko, landareek hainbat mekanismo garatu behar izan dituzte, transpirazio koefizientean aldaketak, deshidratazio zelularrarekiko tolerantzia, entzima batzuen sintesia etab (24-26).

Adibidez, *Amaranthus cruentus* eta *Amaranthus tricolor* barietateetako hainbat genotipoen artean egindako konparaketa batean, ureztatzeko erabilitako ur kantitate berdinetan, bi barietate desberdinetan emandako hostoen eta zurtoinen artean pisu desberdintasun nabaria zegoela ikusi da, betiere landare guztietan sustrai eta ageriko parteen arteko proportzioa mantenduz (25). Estres hidrikora egokitzeko faktoreen artean deshidratazio zelularrarekiko tolerantzia, ur galera txikiagotzeko ahalmena eta hanpadura presioa mantentzeko ahalmena deskribatu dira ere (26). Beraz, moldapen hauek dituzten genotipoak, edota balio hauek altu mantendu ditzaketenak, hobe jasango dute ur estresa (25).

Esate baterako, ur galera txikiagotzeko ahalmena duten landareek, lehorrean aurrean, jasanberagoak dira ur galera handiak dituzten landareek baino. Ura zelula eta ehunetan atxikita mantendu dezaketen landareek, aktibitate metabolikoa bermatu dezakete doiketa osmotikoagatik, lehorreetara egokitzeko ahalmena handituz (26).

Bestetik, entzima batzuek, landareetan lehorre tolerantzia garatzea laguntzen dutela ikusi da (24). Estres egoera batean, landareek, superoxidoa ekoizten dute kloroplastoan ematen den elektroifotosintetikoaren jariora dela eta. Horren ondorioz, superoxido dismutasa entzimak (SOD), superoxidoa hidrolizatzen du,  $H_2O_2$  eta  $O_2$  sortuz.  $H_2O_2$  deskonposatzeko, hainbat entzimek hartzen dute parte, haien artean, katalasak (KAT). Entzima hau peroxisoman aurkitzen da eta bertan gauzatzen da  $H_2O_2$ -ren hidrolisia. Amarantoa estres hidriko baten pean jartzean, honetan aurkitzen diren SOD eta KAT entzimen aktibitatea asko emendatzen dela ikusi da (24). Analisia bi barietate desberdinetan egin da, lehorreekiko tolerantzia den barietate batean eta lehorreekiko sentikorra den beste barietatean. Lehorreekiko tolerantzia den amarantoan, bi entzima horien aktibitatea asko handiagoa dela ikusi da (24). Horregatik, ur estresarekiko tolerantzia  $H_2O_2$ -ren hidrolizatzeke ahalmenarekin zerikusia duela ondorioztatu da baita ere (24).

### **3.2.3. Temperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.2.3.1. Temperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Amarantoa temperatura altuetara hazteak honek dituen ezaugarri nutritiboetan eta landarearen hazkuntzan eragina duela ikusi da (21).

Esate baterako, egindako ikerkuntza batean, 32 °C-tan eta 28 °C-tan hazitako amaranto desberdinen artean temperatura altuenean hazitako amarantoen sustraiak eta hostoak azkarrago eta gehiago hazten direla ikusi da (21).

Gainera, temperatura aldaketek amarantoaren konposizio nutrizionala alda dezaketela ikusi da. Alde batetik, hostoetan aurkitzen diren mikronutriente eta makronutrienteen kasuan, Cu, Mg eta Mn, bi tenperaturetan lortutako baloreetan aldakortasuna dagoela ikusi da. 32 °C-tan, hauen kontzentrazioa altuagoa da 28 °C-tan baino (21).

Horrez gain, nitratoei dagokienez, temperatura altuetan, kontzentrazio altuagoetan aurkitzen direla ikusi da. Hau da, 32 °C-tan hazitako landareen hostoek 28 °C-tan hazitako landareen hostoek baino nitrato gehiago daukate (21).

Nahiz eta 28 °C-tik 32 °C-tara temperatura igotzean nutriente eta landarearen hazkuntzan ondorio onuragarriak ikusi, hau ez da temperatura altuagoetan ikusten den tendentzia. 38 °C-tan hazitako landareetan ondorio ez faboragarriak ikusi dira (21).

#### **3.2.3.2. Amarantoak temperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoak**

Hasieran esan bezala, amarantoa C4 motako landarea da. Hau garrantzitsua da honek ematen baitio temperatura altuetara egokitzeko gaitasuna (18,25).

C4 landareak C3 landareek egiten duten fotosintesia moldatu duten landareak dira. Aldaketa horrek landareetan fotosintesiaren eraginkortasuna handitzea eta ur galeraren murrizketa eragiten du. Horrek, temperatura altuetara egokitzeko aukera ematen die landareei. Nahiz eta temperatura altuetan egon, landarea haziko da (27).

### **3.2.4. Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke amarantoa?**

Aurreko ekarpen guztiak analizatuta, bai daukan konposizio nutrizionalagatik, baita estres egoerara egokitzeko daukan gaitasunagatik ere, klima aldaketaren aurrean sor daitezkeen elikadura arazoak arintzeko erabili daitezkeen elikagaia bat izan daiteke amarantoa (19).

### **3.3. Kinoa espeziea**

#### **3.3.1. Informazio orokorra**

Kinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) Amaranthaceae familiako sasi-zereala da. Tradizionalki Andeetan kontsumitzen zen produktua da baina, gaur egun, bere kontsumoa mundu osora zabaldu da (28). Nazio Batuen Erakundeak eta Elikadura eta Nekazaritza Erakundeak 2013. urtea Kinoa urtea izendatu zuten bai estres egoeratan hazteko daukan gaitasunagatik, bai haziak daukan konposizio nutrizionalagatik ere (28,29).

Muturreko baldintzetan hazteko gai da: bai tenperatura, bai ur gutxiko eremuetan, baita gatz kontzentrazio altuetako tokietan bizi daiteke (28,30). Izatez, Txilen, Perun eta Bolivian, urtean soilik 200 mm-ko eurite tasa dagoen zonaldeetan, hazteko gai da (7). Bost ekotipoetan desberdintzen da kinoa: bailarakoa (2.000-3.500 m-tara hazi daitekeena), goi-lautadakoa (3.500 m-tik gora hazi daitekeena), gatzunetakoa (gatz kontzentrazio altuetan hazi daitekeena), itsas mailan haz daitekeena eta eremu subtropikalekoa (7).

Horretaz aparte, kinoa aleek kalitate altuko konposizio nutrizionala daukate. Kinoa daukan proteinei dagokienez, aminoazido esentzial guztiak aurkitzen dira honetan. Orokorrean zerealetan mugatzaileak diren aminoazidoak (lisina, metionina eta treonina) landare honetan kontzentrazio altuetan aurkitzen dira (28). Karbohidrato eta zuntz edukiari dagokionez, zerealetan normalean aurkitzen diren antzeko kontzentrazioetan daude kinoa ere. Gainera, konposizio lipidiko interesgarria dauka, honen gantzen %88a azido oleiko, linoleiko eta  $\alpha$ -linoleikoz osatua baitago (28). Beraz, aurretik aipatutako guztiagatik, kinoa klima aldaketaren aurrean era egokian haz daitekeen hazia dela uste da (30). Hau sakonki ezagutzeko, lur eremu desberdinetan hazteko landareak garatzen dituen mekanismoak eta landarean sortzen diren aldaketei buruzko artikuluen ekarpenak laburbilduko dira.

#### **3.3.2. Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

##### **3.3.2.1. Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Kinoa, ur estres egoera batean, hainbat aldaketa pairatzen ditu. Aipagarriena honek jasaten duen fotosintesi ahalmenaren murrizpena da. Hau, estomen konduktantziaren jaitsierarengatik eta konplexu fotosintetikoan ematen den kalteagatik suertatzen da (31). Gainera, hostoek daukaten ur eduki erlatiboaren murrizpena ematen da ere (32).

Guzti horrek, landarearen hazkuntza baldintzatzen du. Aipatzekoa da ere, ur estresa landarearen hazkuntzaren etapa desberdinetan ematen denean, amaierako landarean eragin desberdinak deskribatu direla (32). Hau da, ur estresa landarearen hasierako hazkuntza faseetan ematen bada, erretzea eman eta hilabetera, landarearen hazkuntza tasa %40 eta %22 bitarte murriztu daitekeela ikusi da (32). Hau hostoaren transpirazio

koefizientearen murrizketan eragina dauka, horrela, landarearen ur galerak txikiagotzen baitira. Aldi berean, honek landarearen amaierako sendotasunean eragina dauka, landare ahulagoak haziz. Bestalde, ur estresa aurreragoko etapa batean ematen bada, artaburuaren formakuntzaren hasierako etapan, hazkuntza tasaren murrizpena txikiagoa dela ikusi da (32).

Hala eta guztiz ere, nahiz eta landarearen ageriko parteak murrizpena pairatu, kinoa, ur estres egoera baten aurrean, sustraien biomasa handitzen du. Gainera, ur estresa landarearen hasierako etapetan ematen bada, fenomeno hau nabariagoa da (32).

Kinoen hazietan bestelako aldaketak ematen direla ikusi da ere. Hauek ureztatzeko erabiltzen den ur kantitatea gutxitzean, haziek daukaten proteina, zuntza, saponina, P, Mg eta Fe-n beherakada ikusi da. Bestalde, Ca, Cu eta Zn-aren igoera eman dela ikusi da (7).

### **3.3.2.2. Kinoa eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak**

Kinoa mekanismo desberdinak garatzeko gai da ur estres egoera bati aurre egiteko. Hauek hiru taldetan banatu daitezke: estrategia morfologikoak, estrategia fisiologikoak eta estrategia molekularrak (7).

Estrategia morfologikoen barnean, sustraiak azkarrago haztea eta adarkatze nabariagoak ematea deskribatu dira (7,32). Gainera, landareak ur estres egoera bat baino gehiago jasan duenean, bigarren estres egoeraren aurrean erantzun mekanismo hau azkarrago eman dela ikusi da (32). Aldi berean, estomak azkar ixteko gai da, horrela, landareak edukiko duen ur galera txikiagoa izango da (7).

Estrategia fisiologikoei dagokienez, aipatzekoa da kinoa, ur estres egoera batean, oxigenoaren espezie errektiboak (OEE) ezabatzeko gai dela. Hori gutxi balitz, osmolitoen metaketa bideratu dezake ere, hauek defentsa antioxidatzaile bezala jardun dezaten (7).

Bestalde, ikerkuntza askotan ABA kontzentrazioaren emendapena ematen dela ikusi da ere, bai sustrai, hosto eta landarearen ageriko partean ere (7,31). Hormona hau estomako zelulen hanpaduraren jaitzieraren erantzulea da eta beraz, estomen itxieraren erantzulea (7,31). Gero eta ABA kontzentrazioa altuagoa izan, estomen itxiera handiagoa izango da eta horregatik, baxuagoa izango da konduktantzia estomatikoa.

### **3.3.3. Temperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.3.3.1. Temperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Temperatura altuek kinoaren ernetzea, hazkuntza eta parametro fisiologikoetan aldaketak sortu ditzake (7,31).



Hasteko, haziaren erretzeari dagokionez, tenperaturaren eta erretze tasaren artean korrelazio positiboa dagoela ikusi da puntu bateraino, tenperatura altuegiek hau inhibititu dezaketela deskribatu baita. Horrela, hazia 50 °C baino gehiagoko tenperaturatan erretzen ez dela ikusi da, 30-35 °C erretzea emateko tenperatura tarte optimoa izanik (7).

Bigarrenik, landarearen hazkuntzari dagokionez, loraldi eta aleak betetzeko etapak 35 °C-tik gorako tenperaturetan ematen badira, produkzioan beherapen nabarmena ematen dela ikusi da. Gainera, tenperatura horretan, loraldian hazien endospermoaren birxurgaketa eta loreetan anteren disgregazioaren inhibizioa gauzatzen direla ikusi da ere. Hau horrela izanik, badira kinoa landare batzuk zeinak ondorio horiek arindu ditzakeenak (7).

Aipatzekoa da ere gauean tenperaturaren igoera eman den kasuetan (22-24 °C), loratze fasean eman denean, hazien errendimenduak %23-31 jaitsiera pairatu duela. Gainera, eragin negatiboa antzeman da biomasan eta hazi kopuruan. Halaber, haziaren proteinetan eta uzta-indizean eraginik ez duela ikusi da (7).

Tenperatura altuek kinoaren konposizio nutrizionaletan eragin ditzaketen aldaketen inguruko daturik ematen dituen artikulurik ez dago. Interesgarria izango litzake ikerketa berriek alderdi hori ere kontuan hartzea gizakiontzat dietan baliagarriak diren edo ez jakiteko eta aldaketak ze mailatan sortu diren ezagutzeko.

### **3.3.3.2. Kinoa tenperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoak**

Landareak tenperatura altuen aurrean garatzen dituen mekanismoak tenperatura altuetan egondako denbora tartearen eta landarearen garapen-etaparen araberakoa izango dira (7).

Mekanismo hauek hiru talde nagusietan bana daitezke: aldaketa morfologikoak (kimuen eta sustraien hazkuntzaren inhibizioa eta zurtoinaren adarkatzearen handipena eman daitezke), aldaketa anatomikoak (zelularen tamaina txikiagotu eta estoma- eta trikoma- dentsitateen handipena) eta aldaketa fenologikoak (7).

Aldaketa morfoanatomikoak aldaketa fisiologikoak eragiten dituzte, hala nola, proteinen desnaturalizazioa, zelula mintzeko fluidotasunaren handipena, osmolitoen metaketa eta kloroplasto zein mitokondrioko entzimen inaktibazioa (7).

Aldaketa guztien artean, hainbat autoreek, kinoa tenperatura altuetan talka termikoko proteinak, ingeleraz *Heat Shock Proteins* direnak, ekoiztearen garrantzia aipatzen dute. Hauek ezinbestekoak dira landareek termotolerantzia garatzeko, hau da, ingurunera egokitzeko. Kinoa, estres termikoko egoeran, proteina hauen adierazpenaren seinalearen transdukzioa aktibatzen du landareari termotolerantzia emanez (7).

Temperatura altuen aurrean hainbat landare espezieek espinaka, kotoia eta garia, esate baterako, errubisko zikloan parte hartzen duen aktibasa entzimaren isoforma ezberdin bat ekoizteko gai dira. Isoforma desberdin horrek egonkortasuna ematen dio landareari beroaren aurrean, errubisko aktibo mantentzeko edota honen jarduera handitzeko balio baitu. Ikerketa batean, kinoan prozesu berdina eman daitekeela aipatu dute (8).

### **3.3.4. Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke kinoa?**

Arrazoi guzti hauek direla eta, kinoa lur eremu lehor, erdi lehor eta urtaro beroetan hazteko egokia izan daitekeen espeziea da.

## **3.4. Artobeltz espeziea**

### **3.4.1. Informazio orokorra**

Artobeltza (*Fagopyrum esculentum* Moench) Polygonaceae familiako sasi-zereal bat da (33). Dikotiledoneoa eta urteko landare belarkara da eta honen zurtoina 1 m-ko altuera izatera arte hazi daiteke (34). Txinako Yunnan probintziako ipar-mendebaldeko muturrean du jatorria baina gaur egun Asia, Europan eta Amerikan ekoizten da ere (33). Landare hau oso interesgarria da daukan hazkuntza-ziklo laburreratik eta agrokimikan dituen eskakizun txikiengatik ere (34).

Ezaugarri nutrizionalei dagokienez, esan beharra dago, nutrienteetan oso aberatsa dela. Aldi berean, glutenik gabeko sasi-zereala denez, zeliakoentzako beste zerealak ordezkatzeko aukera bat izan daiteke. Landare honen haziak %12,6an proteinaz osatuta daude eta gainera, kalitate altuko proteinaz, metionina, arginina eta lisina kontzentrazio altuak baititu (34). Hosto, zurtoin zein sustraiek, balina eta tirosina kontzentrazio altuak dituzte ere (35). Proteinaz aparte, konposatu antioxidatzaileak ere baditu, flabonoideak esate baterako. Hauek odoleko kolesterol maila jaisteko baliogarriak diren konposatuak dira (35). Gainera, errutina, kertzetina, hiperina eta katekina molekulak ere baditu (33).

Honen irina ogia, gailetak, tortilak eta pastak egiteko erabili ohi da. Gainera, Ca, Mg, K eta B1, B2 eta B6 bitaminetan kontzentrazio altuak dituenez, artobeltzaren eskariak gora egin du. Hau gutxi izango balitz, soilik %3ko gantza dauka, gantz azidoen artean azido oleikoa, linoleikoa eta palmitikoa gailenduz (34).

Landarea hazteko beharrei dagokienez, temperatura eta landareak jaso behar dituen ur kantitateak kontrolatzea komenigarria da. Temperaturari dagokionez, hazteko daukan temperatura optimoa 20 °C-koa da baina, loraketa 32 °C-ra arte egin dezake ondorio kaltegarriarik pairatu gabe. Temperatura horretatik gora landarearen ernetzea eta loraketa

kaltetu daitezke (34). Gainera, landare honek ez ditu tenperatura hotzak onartzen, izozketa tenperaturetan fotosintesi-tasa asko murriztuz (36). Bestalde, artobeltza ureztatzeko behar den ur kantitatearen inguruan esan beharra dago ez duela putzu bidezko ureztatzea onartzen (34). Lehorteen kasuan, landarea estres hidrikoari tolerantzia dela deskribatu dute hainbat autoreek (33).

Horregatik, klima aldaketaren aurrean, landarea gaur egun landatzen diren kultiboen ordezkia izan daitekeela uste da. Segidan, aurretik aipatutako bi faktoreen aurrean landareak duen erantzuna aztertzen duten hainbat artikuluen deskribapena egingo da.

### **3.4.2. Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.4.2.1. Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Ur estres egoera landareen hazkunderako eta produktibitateko faktore kaltegarrienetako bat da. Egoera honetan, ur-potentzialaren eta hanpaduraren murrizpena ematen da eta horrek, landarearen ohiko funtzioak oztopatzen ditu (33). Landarearen hazkuntza-tasan aldaketak, proteinen murrizpena eta zelulen kaltetzea eman daitezke ere (37).

Esate baterako, ur estres egoera batean, artobeltzaren haziaren erretzea moteldu eta gutxiagotzen da. Hau, haziaren erretze medioan ur-potentzialaren murrizpenagatik ematen da, haziari ez baitzaio behar bezain beste ur iristen (33). Ikerketa batean, orokorrean, ur estres egoera larritzen doan heinean, hazien ur erretze abiadura eta ehunekoa txikiagotzen direla ikusi dute. Emaiza hau uraren %20 baino gehiagoko murrizpena aplikatu zaien hazietan ikusi da. Baina, uraren %15eko murrizpena aplikatu zaien hazietan kontrakoa ematen dela ikusi da, honen erretze ehunekoa gora egin baitu, kontrolaren eta hauen arteko erretze desberdintasuna %17 izanik (33).

Bestalde, estres hidrikoak zurtoinaren tamainan eragina duela ikusi da ere. Gero eta ur estres egoera larriagoa izan, gero eta zurtoinaren tamaina txikiagoa da, proportzionalki murriztuz. Baina, aurreko kasuan bezala, uraren murrizpena %15koa izan den kasuetan, zurtoinaren tamaina handitu da ere, oraingo honetan handipena %18koa izanik (33).

Badira ere zurtoinaren tamainan aldaketarik ematen ez dela bildu dituzten ikerketak ere. Honetan, ur estresak zurtoinaren tamainan eraginik ez duelarekin batera, landarearen sustraien tamainan aldaketarik ez dagoela deskribatu da (38).

Gainera, ur estresak landarearen ur eduki erlatiboa %70tik jaisten duen kasuetan, fotosintesia inhibitzen da ere. Aldi berean, klorofilaren biosintesia desaktibatu egiten da eta

estomen itxiera ematen da. Hiru fenomenoengatik, OEE-ak sortzen dira, kloroplastoaren II. fotosistemarentzako kaltegarriak izan daitezkeelarik (38).

Nahiz eta aldaketa guzti hauek pairatu, artobeltza estres hidriko egoeran era egokian hazi daitekeen espeziea dela ondorioztatu, estres hidrikoari tolerantzia den espeziea dela (33). Hurrengo atalean tolerantzia hau azaltzen duten mekanismoak deskribatuko dira.

#### **3.4.2.2. Artobeltzak eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak**

Artobeltzak estres hidrikoaren aurrean sortutako erantzun goiztiar bat zurtoinarekin luzeraren, sustraien luzeraren eta materia lehor eta hezearen murrizpena da. Hau landareak garatzen duen saiheste mekanismoa da zeina ur gutxiko eremuetara egokitzeko balio duen (33).

Askotan ikertutako beste mekanismo bat landarean ematen diren gene espresioen aldaketak dira. Hauek landarea sintetizatzeko gai den proteinetan eragina daukate, azkenik fitohormona mota eta kantitatetan aldaketak emanez (37,38).

Fitohormonek landarearen garapena eta prozesu fisiologikoak kontrolatzen dituztenez, ur estres egoera baten aurrean hormona hauek nola jokatzen duten ulertzea garrantzitsua da. Ikerketa batean, fitohormonen profil aldaketak ematen direla ikusi da. Esate baterako, lehortee artobeltzean DELLA proteinen ekoizpena indusitzen dituzte. Proteina hauei esker, azido jasmoniko eta giberelinen seinalizazio bideak pizten dira, hauek landarearen biziraupenerako ezinbestekoak izanik landarearen hazkuntzarako promotoreak baitira (37).

Ur estres egoera batean oso garrantzitsua den beste hormona bat ABA da. Hormona honek seinaleen sentore-molekula gisa jokatzen du eta, beraz, estres egoeran adierazten diren geneen maila kontrolatzen du. Gene hauek landarearen aldaketa zelularrak eta fisiologikoak eragiten dituztenez beharrezkoak dira estres hidrikoari aurre egiteko. Ikerketa batean, artobeltzean ABA-k hainbat geneen espresioa eragiten duela ikusi da. Esate baterako, artobeltzak ur estres egoera baten aurrean ABA kontzentrazioan pairatzen dituen aldaketak direla eta, FeDREB1L genea ekoizteko gai dela ikusi da, ur estresari aurre egiteko oso baliagarria dena (38).

Bestalde, lehen aipatu bezala, landareak ekoizten dituen entzimetan eragina duela ikusi da ere. Landareak, besteak beste, KAT, SOD eta askorbato peroxidasa ekoizteko gai dira. Entzima hauek, ur estres egoera batean egondako landareak ekoiztutako OEE konposatuak hidrolizatzeko gai dira. OEE-ak metabolismo zelularra oztopatu dezakete eta landarearentzat toxikoak izan daitezke. Beraz, entzimen ekoizpena konposatu hauek landarean eraginik ez izateko baliagarriak dira (38).

Azken urteotako ikerketak, gehienbat, gene espresiora bideratuta daude, hauek landarea garatzeko gai diren mekanismoen inguruko informazio oso zehatza eta baliagarria ematen baitu.

### **3.4.3. Temperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.4.3.1. Temperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Temperatura altuak artobeltzaren hainbat parametroetan eragina duela ikusi da. Esate baterako, loraketan temperatura altuek landarearen ugalketa organoek duten emankortasuna eta hauen garapena oztopatu dezakete. Gainera, 30 °C-tan haize lehorrarekin batera, loreen abortua, zimeltasuna eta enbrioiaren malformazioa eman daitezke. Halaber, landarearen ugalketarako ezinbestekoa den polen-aleen bideragarritasuna temperatura eta hezetasun erlatiboaren arabera dira (39). Polen-aleak eta loreak 30 °C-tan kaltetzen direla ikusi da (40).

Bestalde, badira temperatura altuek zelulen deshidratazioa eragiten dutela, mintz plasmaticoaren iragazkortasuna handitzen dutela eta fotosintesi-tasa murrizten dutela deskribatu duten autoreak ere. Horrek guztiak landarearen errendimendua murrizten du produktibitatean eragin kaltegarriak emanez (41).

Aurrekoen artean, temperatura altuetara sentikorrena den prozesua fotosintesia da (41,42). Orokorrean landareetan, temperatura altuek, hauetan aurkitzen diren II. fotosistemak dituen hartzaileen oxidazio-erredukzio gaitasuna aldatu egiten dute eta honek, elektroien garraioan ondorio larriak suertatzen ditu hauen eraginkortasuna jaitsiz (42). Baina, ikerketa batean ikusi da nola artobeltzean 30 °C-tan kontrako efektua ematen den. Hau da, artobeltzaren kasuan, 30 °C-tan, fotosintesi-tasa handitzen da eta, horren ondorioz, landarearen hazkuntza faboratua dago (41).

Gainera, landarearen transpirazio-tasa estres termikoan txikiagotzen dela ere deskribatu da, landarearen hozketarako baliagarria dena. Halaber, landarearen barne CO<sub>2</sub> kontzentrazioan aldaketa nabarmenik ematen ez dela ikusi da ere (41).

Landarearen garapen enbriologikoari dagokionez, ikerketa batean, 35 °C-tan, artobeltzaren enbrioi-zakuetan aldaketa ultraestrukturalak ikusi dira, hala nola, osmolitoen metaketa, mintz sistema osatugabeak edota erribosoma/erretikulu endoplasmatico handitzea obuluan ere. Hau ekiditea oso garrantzitsua da, hainbat ikerketek hazien errendimendu baxuaren funtsezko arazoa gametofito emearen garapen akastuna dela ikusi dutelako (40).

#### **3.4.3.2. Artobeltzak tenperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoak**

Aurreko puntuan aipatu bezala, artobeltza tenperatura altuetako estres egoera baten aurrean, fotosintesi-tasa emendatzeko gai da. Hau landareak tenperatura altuetako egoera batean gehiegizko energiaren disipazio hobea duelako da. Hau da, 30 °C-tan hazitako artobeltz batek energia gutxiago xahutzen du 20 °C-tan hazitako beste batek baino. Fenomeno honi esker, foto-inhibizioak II. fotosisteman eragin ditzakeen kalteak saihesten dira (41).

Bestalde, artobeltzak tenperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismorik ohikoenetariko bat estomen itxiera da. Honekin batera, lehenago aipatu bezala, transpirazioa murrizten da ere elkarlotuak diren ekintzak baitira. Honek landareetan transpirazio eraginkortasuna handitzea eragiten du (41).

#### **3.4.4. Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezeko kultiboa izan daiteke artobeltza?**

Aurreko ataletan emandako argudioetan oinarrituta artobeltza ingurune bero eta idorretan hazteko gaitasuna duela ondoriozta daiteke.

### **3.5. Teff espeziea**

#### **3.5.1. Informazio orokorra**

Teff (*Eragrostis tef* [Zucc.] Trotter) Poaceae familiako urteko landare belarkara da. Etiopian du jatorria eta duela 3.000-6.000 urte etxekotu zen (43). XIX. mendean Australia, India, Kenia eta Hego Afrikara zabaldu zen animalientzako bazkarako erabiltzen baitzen. Azken urteotan, Ameriketako Estatu Batuetara ere zabaldu da, honen kontsumoa ia mundu osora zabalduz (44). Gaur egun, Etiopian ekoizten da batez ere (43,45).

Balore nutrizionalari dagokionez, teffa oso zereal nutritiboa dela baieztatu daiteke honek artoak baino proteina gehiago baitu, haziaren %13a hain zuzen ere (46), eta aminoazidoen oreka egokia mantentzen duelako. Gainera, lisina eduki handia dauka ere. Mineralei dagokienez, Fe eta Ca kontzentrazio altuak ditu. Aldi berean, glutenik gabeko, zuntz eduki altuko (haziaren %8a) eta konposatu antioxidatzaile altuko zereala da ere (44,45). Lipidoen kopuru totala haziaren %3,7koa da, hauek gehienbat gantz azido poliasegabeak izanik, azido linoleikoa eta oleikoa hain zuzen ere (46).

Baldintza agroekologiko askotara egokitu daiteken zereala da. Itsasoaren mailatik gertu hazi daitekeen arren, 3.000 m-tarainoko altitudeetan bizi daiteke ere. Hala eta guztiz ere, teffa hazteko altuera tarte optimoa 1.500 eta 2.500 m-koa da (45). Hazkuntza

tenperaturari dagokionez, teff landareak tenperatura oso altuak jasan ahal dituen zereala dela ikusi da. Hau hazteko tenperatura tarte optimoa 36 eta 42 °C-takoa dela deskribatu da (44).

Nahiz eta muturreko ingurune batzuetan bizi eta hazi ahal izan, badira oraindik ikertu gabeko hainbat esparru. Segidan, teff landarea ur gutxiko eta tenperatura altuko eremuetara egokitzeko garatu dituen mekanismo eta aldaketak laburbiltzen dira, etorkizuneko ikerketentzako oinarri izango diren datuak biltzeko asmoz.

### **3.5.2. Lehortearen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.5.2.1. Lehortearen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Ur estres egoerak hainbat aldaketa eragin ditzake teff landarean. Hainbat autoreek, hazien errendimenduan, landarearen hazkuntza-tasan eta, orokorrean, prozesu fisiologikoetan ematen diren aldaketak deskribatu dituzte (47-49).

Esate baterako, hazien errendimenduari dagokionez, ur estres egoeran, honen murrizketa nabaria ematen dela ikusi da. Hau, gehienbat ur estres egoera loraketan eta ezartze goiztiarra ematen denean gertatzen da, landarea etapa hauetan ur estres egoerari bereziki sentikorra baita. Antesi etapan emandako lehorte baten ondorioz, ikerketa batean, landarearen errendimendua %14tik %77ra murriztu zela ikusi zuten (44).

Beste ikerketa batean, zeinetan antesi-etapan 20 egunez ureztatu gabeko landareak eta egunero ureztatutako landareak konparatu diren, hazien errendimenduan %28 aldea eman dela deskribatu dute (47).

Bestalde, landarearen hazkuntza-tasan eragina duela ikusi da ere. Landarea lehorte egoeran dagoela esaten denean, landareak transpirazioa egiteko sustraietara nahiko ur iristen ez zaiola esan nahi du (50). Transpirazioa baxua denean, teff landarearen panikularen hazkundera oso modu esanguratsuan mugatzen dela ikusi da (49-51). Ikerketa batean, ur estres egoeran egondako landareen panikulen tamaina 17,3 cm eta 32,3 cm artekoa zen bitartean, egoera normalean hazitako landareen panikulen tamaina 24,7 cm eta 41,6 cm artekoa zela deskribatu zuten (51).

#### **3.5.2.2. Teffak eremu lehorretan bizitzeko garatutako mekanismoak**

Teffa, beste landare espezie batzuk bezala, hiru estrategia mota garatzeko gai da lehorte estresaren aurrean: ihesa, saihestea, eta toleratzea (48).

Ihesari dagokiola, lehorte larriak gertatu baino lehen landareak bere bizi-zikloa osatzeko duen gaitasunari deritzo eta garapen fenologiko azkarra, garapenaren plastikotasuna eta haziak atxikitako konposatuen berzirkulazioarekin estuki lotuta dago

(49,50). Konposatu hauek organo desberdinetako erreserbak eratzen dituzte eta landarea estres egoeran dagoenean, hazietara bideratu daitezke landarearen hazkuntzako azken etapan ematen den hazien betetzea eman dadin (50).

Barietate berdineko hainbat landare ur-baldintza desberdinetan jarri eta gero, barietatearen garapenean plastikotasuna egon daitekeela ikusi da. Duela gutxiko ikerketa batean, ernetze goiztiarra garatutako landareetan lehorteak eraginik ez duela ikusi da. Hau hazkuntza tasa kritikoak lehorteak hasi baino lehen ematen diren kasuetan deskribatu da (50). Mekanismo hau landarearen barietatearen arabera denez, hau garatzeko gai diren barietateak zeintzuk diren jakitea interesgarria izan daiteke lehorte egoerei aurre egiteko.

Aurreko atalean azaldutako panikularen murrizpena teff landareak garatzen duen lehortearen saiheste motako mekanismo bat da (48,50). Panikula, antesiaren ondorengo etapan transpirazioa era aktiboan egiten duen landarearen atala denez, landareak panikularen tamaina murriztuz, transpirazioa azalera ere murrizten du eta honekin batera, transpirazio-tasa (50).

Amaitzeko, azpimarragarria da ere landareak ur estres egoera batean, doiketa osmotikoa erregulatzen duela. Hau, landarearen barneko solutuen kantitate netoa handitzen delako gertatzen da. Doiketa osmotikoa gero eta altuagoa izan, landareak gero eta gehiago iraungo du estres-baldintzetan. Beraz, ur estres egoera batean balore hau gehiegi jaisten ez duten barietateak bilatzea lagungarria da ur eskasiari aurre egiteko (44). Gainera, hau landareak duen ur eduki erlatiboarekiko zuzenki proportzionala da. Era honetan, doiketa osmotikoa altua denean, landareak lehortearekiko tolerantzia altuagoa izaten du (49).

Hala eta guztiz ere, mekanismo guztiak ez dira teff barietate guztietan garatzen (47). Beraz, lehortearen aurrean erantzunik onena duen barietatea lortzeko, ikerketak hauen arteko konparaketara bideratu beharko dira.

### **3.5.3. Temperatura altuen eraginak eta hauei aurre egiteko aktibatutako mekanismoak**

#### **3.5.3.1. Temperatura altuen eragina landarearen hainbat parametroetan**

Temperatura altuek teff landareetan daukaten eraginari buruzko informazioa nahiko urria da. Teffaren eta basartoaren artean, temperatura altuetan pairatzen dituzten aldaketetan antzekotasun nabaria dagoela ikusi da (44).

Aipatzekoa da, bai basartoa baita teffa ere, C4 motatako landareak direla. Horregatik, basartoan gertatzen den bezala, teff landarea temperatura altupean jartzean, seneszentzia azkarragoa ematen dela deskribatu da (44).



Fotosintesi-tasari dagokionez, landare honetan, balorerik altuenak 36-42 °C-ko tartean lortzen direla deskribatu da. Tarte honetatik kanpo beherapen nabaria ematen dela ikusi da. Hala eta guztiz ere, ikerketa gutxi egin direnez, ez dago zehaztua zein tenperaturatan lortuko litzateke fotosintesi-tasari baxuena (44).

Basartoan, tenperatura altuetan dagoenean, hainbat aldaketa ematen dira. Horien artean, klorofila-edukiaren murrizpena (a:b klorofila-proporzioa aldatzen da eta hostoaren seneszentzia goiztiarra eragin du), tilakoideetako mintzetan kalteak, fotosintesi-tasaren murrizpena, estometako konduktantziaren handipena eta arnasketa-tasaren handipena deskribatu dira (52).

Beraz, nahiz eta antzeko erantzuna izan, teff landarean aldaketa guzti horiek ematen diren edo ez ikertu beharko litzake. Hala eta guztiz ere, ematen diren aldaketen inguruko ideia bat egiteko balio diguten datuak dira.

### **3.5.3.2. Teffak tenperatura altuetara egokitzeko garatutako mekanismoak**

Teff landareak zehazki tenperatura altuen aurrean garatzen dituen mekanismoen inguruko informaziorik ez dagoenez ezin da horren inguruko informaziorik eman. Baina, aipatzekoa da, teff landarea, baita aurreko ataletako batean aipatutako amarantoa ere, C4 landareak direla eta horrek, C3 landareen aurrean abantaila nagusi bat suposatzen duela.

Abantaila horiek, fotosintesi-tasa altuagoa izatea eta ur galeraren murrizpena suposatzen dute. Bi mekanismo hauengatik, tenperatura altuetara egokitzeko erraztasun handiagoak dituzte mota honetako landareek (27).

Hala eta guztiz ere, informazio zehatzagoa bildu ahal izateko, tenperatura altuek teff landarean sortzen dituen aldaketak, eta horren ondorioz garatutako mekanismoen inguruko ikerketak beharrezkoak dira.

### **3.5.4. Etorkizuneko baldintza klimatikoetan ordezkoko kultiboa izan daiteke teffa?**

Aurreko emaitzak guztiak aztertuta, geroaldiko baldintza klimatikoetan ondo haziko den espezie dela esan daiteke.

## **4. Ondorioak**

Bost espezie hauen inguruan egindako errebisioaren ondoren eta deskribatutako eragin eta mekanismoetan oinarrituta ondoko ondorioak atera daitezke.

- 1) Bost espezie hauek lehorte baldintza eta tenperatura altuko ingurunetan hazten direnean eragin negatiboak izan ditzakete beraien ekoizpen eta kalitate

nutrizionalean. Hala ere, eragin negatiboak gari, arto edo arrosean ematen direnekin alderatuta askoz ere baxuagoak dira.

- 2) Bost espezie hauek ez dituzte mekanismo berdinak garatzen lehortea eta tenperatura altuen aurrean eta beraz, klima berrietara egokitzeko gaitasun desberdina dute. Hala ere, ezin da landararik onena zein den identifikatu, hau da, ezin da orokortu, ez baitago besteak baino hobea den espezierik hauen garapena landatzen den tokiko klimaren arabera delako.
- 3) Nahiz eta espezie bat besteen gainetik ez gailendu, C4 eta C3 landareen artean, C4 landareek fotosintesia eraldatua dutenez, fotosintesi-tasa altuagoak bermatzeko gai direla ikusi da, landare osoaren funtzionaltasunari lagunduz.
- 4) Aipatzekoa da ere, landareak estres egoeran daudenean, hauek duten balio nutritiboaren aldaketen inguruko ikerketa gutxi daudela. Orduan, nahiz eta landarearen hazkuntza bermatu, ez bada kalitate nutrizionala bermatzen ez dugu jakingo espezieak kalitate altukoak izaten jarraitzen duten edo ez. Beraz, etorkizuneko ikerketak kalitatea aztertzea ere bideratu beharko dira.
- 5) Ikerketa gehienak faktore klimatiko bakarren eraginak aztertuz egin dira. Geroaldian, ordea, faktore klimatiko ezberdinak (lehortea, tenperatura altuak, etab.) batera emango dira, hortaz, espezie hauek faktore hauen konbinazio pean nola erantzuten duten jakitea ezinbestekoa izango da ere.

## 5. BIBLIOGRAFIA

- (1) Tester M, Langridge P. Breeding technologies to increase crop production in a changing world. *Science*. 2010;327(5967):818-22.
- (2) Hussain MI, Al-Dakheel AJ, Reigosa MJ. Genotypic differences in agro-physiological, biochemical and isotopic responses to salinity stress in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) plants: Prospects for salinity tolerance and yield stability. *Plant Physiol Biochem*. 2018;129:411-20.
- (3) Lesk C, Rowhani P, Ramankutty N. Influence of extreme weather disasters on global crop production. *Nature*. 2016;529:84-7.
- (4) Conforti P, Ahmed S, Markova G. Impact of disasters and crises on agriculture and food security. 1st. ed. Food and Agriculture Organization of the United Nations; 2017
- (5) Pachauri RK, Allen MR, Barros VR, Broome J, Cramer W, Christ R, et al. Climate change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Pachauri R, Meyer L, editors. Geneva, Switzerland, IPCC, 151 p.

- (6) Simova-Stoilova L, Vassileva V, Feller U. Selection and breeding of suitable crop genotypes for drought and heat periods in a changing climate: Which morphological and physiological properties should be considered? *Agriculture*. 2016;6(2):26.
- (7) Hinojosa L, González JA, Barrios-Masias FH, Fuentes F, Murphy KM. Quinoa abiotic stress responses: A review. *Plants*. 2018;7(4):106.
- (8) Hinojosa L, Matanguihan JB, Murphy KM. Effect of high temperature on pollen morphology, plant growth and seed yield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *J Agron Crop Sci*. 2019;205(1):33-45.
- (9) Pereira E, Barros S, Torquato RR, Vanies da Silva F, de Sousa M, Costa TR, et al. Germination and osmotic adjustment in *Salvia hispanica* L. (Lamiaceae) seedlings under water and thermal stress. *Biosci J*. 2019;35(6):1829-38.
- (10) Pereira E, Barros S, Costa TR, Vanies da Silva F, de Sousa M, Dallabona JL. Germination and biochemical components of *Salvia hispanica* L. seeds at different salinity levels and temperatures. *Acta Sci Agron*. 2018;40.
- (11) Rodríguez-Abello DC, Navarro-Alberto JA, Ramírez-Avilés L, Zamora-Bustillos R. The effect of sowing time on the growth of chia (*Salvia hispanica* L.): What do nonlinear mixed models tell us about it? *PLOS ONE*. 2018;13(11).
- (12) Bochicchio R, Philips TD, Lovelli S, Labella R, Galgano F, Di Marisco A, et al. Innovative crop productions for healthy food: the case of chia (*Salvia hispanica* L.). In: Vastolla A, editor. *The Sustainability of Agro-Food and Natural Resource Systems in the Mediterranean Basin* Potenza, Italy: Springer Open; 2015. p. 29-45.
- (13) Escobar H, Solis de Ovando L, Contreras D, Baginsky C, Arenas J, Silva H. Effect of irrigation water availability on gas exchange, seeds yield, biomass and water use efficiency in two chia phenotypes established in azapa valley, Arica, Chile. *Interciencia*. 2018;43(1):55-61.
- (14) Lovelli S, Valerio M, Phillips TD, Amato M. Water use efficiency, photosynthesis and plant growth of Chia (*Salvia hispanica* L.): a glasshouse experiment. *Acta Physiol Plant*. 2019;41(1):3.
- (15) Herman S, Marco G, Baginsky C, Valenzuela A, Morales JL, Valenzuela C, et al. Effect of water availability on growth, water use efficiency and omega 3 (ALA) content in two phenotypes of chia (*Salvia hispanica* L.) established in the arid Mediterranean zone of Chile. *Agric Water Manag*. 2016;173:67-75.
- (16) Pereira E, Barros S, Vanies da Silva F, Nogueira NW, Oliveira RM, de Sousa L. Light regime and temperature on seed germination in *Salvia hispanica* L. *Acta Sci Agron*. 2016;38(4):513-9.
- (17) Luis GM, Hernández BRH, Caballero VP, López NGT, Espinoza V, Pacheco LR. Usos actuales y potenciales del Amaranto (*Amaranthus* spp.). *JONNPR*. 2018;3(6):423-36.

- (18) Alemayehu FR, Bendevis MA, Jacobsen SE. The potential for utilizing the seed crop amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an alternative crop to support food security and climate change mitigation. *J Agron Crop Sci.* 2015;201(5):321-29.
- (19) Sarker U, Oba S. Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of *Amaranthus* leafy vegetable. *BMC Plant Biol.* 2018;18(1):258-67.
- (20) Liu F, Stutzel H. Leaf expansion, stomatal conductance, and transpiration of vegetable amaranth (*Amaranthus* sp.) in response to soil drying. *J Am Soc Hortic Sci.* 2002;127(5):878-83.
- (21) Hwang S, Chao H, Lin H. Differential responses of Pak Choi and edible Amaranth to an elevated temperature. *HortScience.* 2018;53(2):195-9.
- (22) Maseko I, Ncube B, Mabhaudhi T, Tesfay S, Chimonyo VGP, Araya HT, et al. Nutritional quality of selected African leafy vegetables cultivated under varying water regimes and different harvests. *S African J Bot.* 2019;126:78-84.
- (23) Jayme-Oliveira A, Ribeiro WQ, Gerosa ML, Ziviani A, Jakelaitis A. Amaranth, quinoa, and millet growth and development under different water regimes in the Brazilian Cerrado. *Pesqui Agropecu Bras.* 2017;52(8):561-71.
- (24) Sarker U, Oba S. Catalase, superoxide dismutase and ascorbate-glutathione cycle enzymes confer drought tolerance of *Amaranthus tricolor*. *Scientific Reports.* 2018;8(1):1-12.
- (25) Jamalluddin N, Massawe FJ, Symonds RC. Transpiration efficiency of Amaranth (*Amaranthus* sp.) in response to drought stress. *J Hortic Sci Biotech.* 2019;94(4):448-59.
- (26) Slabbert MM, Krüger G. Antioxidant enzyme activity, proline accumulation, leaf area and cell membrane stability in water stressed *Amaranthus* leaves. *S Afr J Bot.* 2014;95:123-8.
- (27) El-Sharkawy MA. Prospects of photosynthetic research for increasing agricultural productivity, with emphasis on the tropical C4 *Amaranthus* and the cassava C3-C4 crops. *Photosynthetica.* 2016;54(2):161-84.
- (28) Vilcacundo R, Hernández-Ledesma B. Nutritional and biological value of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Curr Opin Food Sci.* 2017;14:1-6.
- (29) Murphy KS, Matanguihan J. Quinoa: Improvement and sustainable production. New Jersey: John Wiley & Sons; 2015.
- (30) Jaikishun S, Li W, Yang Z, Song S. Quinoa: In perspective of global challenges. *Agronomy.* 2019;9(4):176.
- (31) Yang A, Akhtar SS, Amjad M, Iqbal S, Jacobsen S. Growth and physiological responses of quinoa to drought and temperature stress. *J Agron Crop Sci.* 2016;202(6):445-53.
- (32) Ali OI, Fghire R, Anaya F, Benlhabib O, Wahbi S. Physiological and morphological responses of two quinoa cultivars (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought stress. *Gesunde Pflanzen.* 2019;71(2):123-33.

- (33) Jamwal A, Puri S, Sharma S, Bhattacharya S, Dhindsa N. Polyethylene glycol induced morphological changes in *Fagopyrum esculentum* Moench of Indian Himalayan Region. Asian J Adv Basic Sci. 2015;3(2):142-6.
- (34) Fernández-Aparacio Ruiz M, González-Verdejo CI, Vilariño Rodríguez S, Nadal Moyano S. Guía de Cultivo. Serie Cultivo Emergentes: El Trigo Sarraceno [Internet]. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera, Junta de Andalucía; 2019 [konsulta maiatzak 19, 2020] Eskuragarri <https://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/ifapa/servifapa/registro-servifapa/ef0982c1-b5f7-4f5c-864d-6f7402704e0f> helbidean.
- (35) Lee D, Woo SH, Choi J. Biochemical properties of common and Tartary buckwheat: Centered with buckwheat proteomics. In: Zhou M, Kreft I, Woo S, Chrungoo N, Wieslander G, editors. Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat: Elsevier; 2016. p. 239-59.
- (36) Germ M, Gaberščik A. The Effect of Environmental Factors on Buckwheat. In: Zhou M, Kreft I, Woo S, Chrungoo N, Wieslander G, editors. Molecular Breeding and Nutritional Aspects of Buckwheat: Elsevier; 2016. p. 273-81.
- (37) Wu Q, Zhao G, Bai X, Zhao W, Xiang D, Wan Y, et al. Characterization of the transcriptional profiles in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum*) under PEG-mediated drought stress. Electron J Biotechn. 2019;39:42-51.
- (38) Hou Z, Yin J, Lu Y, Song J, Wang S, Wei S, et al. Transcriptomic analysis reveals the temporal and spatial changes in physiological process and gene expression in common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) grown under drought stress. Agronomy. 2019;9(10):569.
- (39) Farooq S, Rehman RU, Pirzadah TB, Malik B, Dar FA, Tahir I. Cultivation, agronomic practices, and growth performance of buckwheat. In: Zhou M, Kreft I, Woo S, Chrungoo N, Wieslander G, editors. Molecular breeding and nutritional aspects of buckwheat: Elsevier; 2016. p. 299-319.
- (40) Płażek A, Słomka A, Kopeć P, Dziurka M, Hornyák M, Sychta K, et al. Effects of high temperature on embryological development and hormone profile in flowers and leaves of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench). Int J Mol Sci. 2019;20(7):1705.
- (41) Hornyak M, Płażek A, Kopeć P, Dziurka M, Pastuszak J, Szczerba A, et al. Photosynthetic activity of common buckwheat (*Fagopyrum esculentum* Moench) exposed to thermal stress. Photosynthetica. 2020;58(1):45-53.
- (42) Kalaji HM, Jajoo A, Oukarroum A, Brestic M, Zivcak M, Samborska IA, et al. Chlorophyll a fluorescence as a tool to monitor physiological status of plants under abiotic stress conditions. Acta Physiol Plant. 2016;38(4):102.
- (43) Gizaw B, ZerihunTsegay TG, Aynalem E, Abatneh E, Amsalu G. Traditional knowledge on teff (*Eragrostis tef*) farming practice and role of crop rotation to enrich plant growth

promoting microbes for soil fertility in East Showa: Ethiopia. *Agric Res Technol.* 2018;16(5):556001.

**(44)** Paff K, Asseng S. A review of tef physiology for developing a tef crop model. *Eur J Agron.* 2018;94:54-66.

**(45)** Shumoy H, Raes K. Tef: the rising ancient cereal: what do we know about its nutritional and health benefits?. *Plant Foods Hum Nutr.* 2017;72(4):335-44.

**(46)** Zhu F. Chemical composition and food uses of teff (*Eragrostis tef*). *Food Chem.* 2018;239:402-15.

**(47)** Ferede B, Mekbib F, Assefa K, Chanyalew S, Abraha E, Tadele Z. Evaluation of drought tolerance in Tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] genotypes using drought tolerance indices. *JCSB.* 2020;23(2):107-15.

**(48)** Tadele Z. Drought Adaptation in Millets. In: A. Shanker and C. Shanker, editors. *Abiotic and Biotic Stress in Plants: Recent Advances and Future Perspectives.* Croatia: InTech; 2016. p.639–62.

**(49)** Abraha MT, Shimelis H, Laing M, Assefa K. Gene action controlling yield and yield-related traits among tef (*Eragrostis tef* [Zucc.] Trotter) populations under drought-stressed and nonstressed conditions. *Plant Breed.* 2018;137(4):585-97.

**(50)** Mengistu DK. Developmental plasticity: a phenological mechanism to endure later stage water deficit stresses in tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] varieties. *Momona Ethiop J Sci.* 2018;10(2):240-54.

**(51)** Abraha MT, Shimelis H, Laing M, Assefa K. Performance of tef [*Eragrostis tef* (Zucc.) Trotter] genotypes for yield and yield components under drought-stressed and non-stressed conditions. *Crop Sci.* 2016;56(4):1799-806.

**(52)** Prasad PV, Djanaguiraman M, Jagadish S, Ciampitti IA. Drought and high temperature stress and traits associated with tolerance. In: Ciampitti IA, Prasad PV, editors. *Sorghum: A State of the Art and Future Perspectives.* United States: American Society of Agronomy; 2019. p.241-65.