



Universitat
de les Illes Balears

TREBALL FI DE GRAU

SIMULANT ONES DE CALOR: EFECTE SOBRE EL CONTINGUT HÍDRIC RELATIU DE LES PLANTES

Margalida Ramis Oliver

Grau de Biologia

Facultat de Ciències

Any Acadèmic 2021-22

SIMULANT ONES DE CALOR: EFECTE SOBRE EL CONTINGUT HÍDRIC RELATIU DE LES PLANTES

Margalida Ramis Oliver

Treball de Fi de Grau

Facultat de Ciències

Universitat de les Illes Balears

Any Acadèmic 2021-22

Paraules clau del treball:

Ones de calor, contingut hídric relatiu, conductància estomàtica, transport linear d'electrons, taxa fotosintètica, reg, sequera, recuperació.

Nom Tutor/Tutora del Treball :Jaume Flexas Sans

Nom Tutor/Tutora (si escau) :Francesc Castanyer Mallol (col·laborador)

S'autoritza la Universitat a incloure aquest treball en el Repositori Institucional per a la seva consulta en accés obert i difusió en línia, amb finalitats exclusivament acadèmiques i d'investigació

Autor		Tutor	
Sí	No	Sí	No
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

RESUM

Les ones de calor o *heat waves* formen part del panorama actual de Canvi Climàtic, sent-ne un dels principals problemes. Si bé cal esperar que aquestes afectin sobre els balanços hídrics de les plantes, aquest fet roman poc estudiat. Per això, en el present estudi es simulen ones de calor d'entre 2 i 5 °C al llarg de set dies en tres espècies: *Beta vulgaris* var. *cycla*, *Helianthus annuus* i *Limonium magallufianum*, de les quals se n'estudia l'intercanvi de gasos i el contingut hídric relatiu. S'obtenen resultats diferencials entre espècies tot i que en general, la combinació de sequera i ones de calor resulta en una major dessecació foliar que qualsevol dels estressos per separat. Sorprenentment, en dues de les tres espècies sotmeses a sequera i ones de calor, les taxes fotosintètiques s'han vist més incrementades respecte als controls durant el període de recuperació. Aquest resultat inesperat suggereix una forta aclimatació fotosintètica en plantes davant la combinació d'estressos, tot recordant el desconeixement actual d'aquestes interaccions i en aquest sentit, motivant la urgència de nous estudis sobre aquesta important qüestió.

RESUMEN

Las olas de calor o *heat waves* forman parte del panorama actual de Cambio Climático, siendo uno de sus principales problemas. Si bien cabe esperar que éstas afecten sobre los balances hídricos de las plantas, este hecho permanece poco estudiado. Por ello, en el presente estudio se simulan olas de calor de entre 2 y 5 °C a lo largo de siete días en tres especies: *Beta vulgaris* var. *cycla*, *Helianthus annuus* y *Limonium magallufianum*, de las que se estudia el intercambio de gases y el contenido hídrico relativo. Se obtienen resultados diferenciales entre especies, aunque en general, la combinación de sequía y olas de calor resulta en una mayor desecación foliar que cualquiera de los estreses por separado. Sorprendentemente, en dos de las tres especies sometidas a sequía y olas de calor, las tasas fotosintéticas se han visto incrementadas respecto a los controles durante el período de recuperación. Este resultado inesperado sugiere una fuerte aclimatación fotosintética en plantas frente a la combinación de estreses, recordando el desconocimiento actual de estas interacciones y en este sentido, motivando la urgencia de nuevos estudios sobre esta importante cuestión.

ABSTRACT

Heat waves are part of the current Climate Change context, being one of it's main problems. Although they are expected to affect on plant water balances, this fact remains scarcely studied. For this reason, in the present study heat waves of between 2 - 5 °C were simulated over seven days in three species: *Beta vulgaris* var. *cycla*, *Helianthus annuus* and *Limonium magallufianum*,

whose gas exchange and relative water content were analyzed. Differential results are obtained among species, although in general, the combination of drought and heat waves resulted in a larger foliar desiccation than any single stress. Surprisingly, in two of the three species subjected to combined drought and heat waves, photosynthetic rates have been increased as compared to controls during the recovery period. This unexpected result suggests a strong photosynthetic acclimation in plants against the combination of stresses, highlighting the current lack of knowledge of these interactions and in this sense, encouraging urgent new studies on this important issue.

INTRODUCCIÓ

1. Canvi Climàtic

D'acord a la Convenció Marc de les Nacions Unides sobre el Canvi Climàtic, el canvi Climàtic es defineix com el canvi en el clima atribuït de forma directa o indirecta a l'activitat humana, el qual altera la composició de l'atmosfera mundial alterant la variabilitat natural del clima observada durant períodes de temps comparables. Així, les causes del Canvi Climàtic són principalment d'origen antropogènic i es basen en un augment significatiu dels gasos amb efecte d'hivernacle a les últimes dècades: vapor d'aigua (H₂O), diòxid de carboni (CO₂), metà (CH₄), òxid nitrós (N₂O), ozó (O₃) i halocarbons (grups de gasos que contenen F, Cl o Br); provinents de sectors com els de subministrament d'energia, transport, indústria, agricultura, silvicultura i gestió de rebuigs. (Naciones Unidas, 1992; Cruz *et al.*, 2015).

Entre les conseqüències més freqüents del Canvi Climàtic trobem un increment en la temperatura, la disminució de recursos hídrics i un increment en l'assiduitat d'anormalitats climàtiques, com ara les ones de calor. Tot plegat resulta en detriment de la biodiversitat, alteracions en la agricultura i la coberta vegetal, així com altres perills en ambients oceànics; sense deixar de banda el component social, el qual s'estima que presenciarà l'èxode de grans nuclis poblacionals i danys en la salut humana, entre d'altres. (Cárdenas, 2010).

Espanya, per la seva situació geogràfica i les seves característiques socioeconòmiques és especialment vulnerable al Canvi Climàtic. Des del Ministeri per la Transició Ecològica i el Repte Demogràfic (MITECO) s'han impulsat polítiques d'adaptació ambicioses com el "Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático" que fan front a les ones de calor i pretenen reduir els riscos en la salut humana. Així, el Canvi Climàtic afecta la salut de la població espanyola a través d'efectes directes com ones de calor i d'esdeveniments extrems – tals com inundacions i sequeres –, però també a través d'efectes indirectes com l'augment de la contaminació atmosfèrica, canvis en la distribució de vectors transmissors de malalties o pèrdues en la qualitat de l'aigua i aliments, entre d'altres. Les morts associades a ones de calor a Espanya han minvat del 14 a l'1% en una dècada gràcies a mesures com el "Plan Nacional de Actuaciones Preventivas de los Efectos del Exceso de Temperaturas sobre la Salud", aplicat posteriorment a ser registrada la primera ona de calor a l'estiu de 2003. Tot i així, considerant les projeccions del Canvi Climàtic, les morts atribuïbles al calor podrien arribar a les 12.000 anuals a tota Espanya al 2100, fet que evidencia la necessitat immediata d'actuació al respecte. (Fundación Biodiversidad, 2021).

Tot plegat, dintre dels diferents aspectes del Canvi Climàtic, un d'especialment rellevant i no prou estudiat sembla ser l'increment en la freqüència en què es produeixen les anomenades "ones de calor":

2. Ones de calor

2.1 Generalitats

Les ones de calor consisteixen en uns elevats nivells de temperatura i humitat, o *wet-bulb temperature* (WBT), superiors a la mitjana esperada per a un període determinat, i íntimament lligats a les emissions de gasos amb efecte d'hivernacle. La prevalença futura d'aquestes ones de calor i el seu impacte dependrà de l'evolució de les emissions i els embornals. El Cinquè Informe de l'IPCC (Grup Intergovernamental d'Experts sobre el Canvi Climàtic) defineix quatre models predictius d'emissió (**Figura 1**), les denominades Trajectòries de Concentració Representativa (RCP), caracteritzades pel seu Forçament Radiatiu (FR), és a dir, per la diferència entre l'energia absorbida per la Terra i la que retorna a l'espai. Trobem un escenari on els esforços de mitigació condueixen a un nivell de forçament molt baix (RCP 2,6); dos escenaris d'estabilització (RCP 4,5 i RCP 6,0); i un escenari amb un alt nivell d'emissions (RCP 8,5) (Fundación Biodiversidad, 2013). Doncs bé, el límit teòric de tolerància humana es situa damunt els 35 °C de WBT, el qual és susceptible a ser excedit per les ones de calor més severes de l'actualitat a les regions més densament poblades per l'any 2080, sempre i quan no es redueixin les emissions actuals cap a valors pròxims a RCP 4.5; tot i que cal mencionar que l'objectiu polític es situa en assolir un RCP 2.6 per no sobrepassar els 2 °C respecte a l'època pre-industrial (Coffel *et al.*, 2018; Marx *et al.*, 2015).

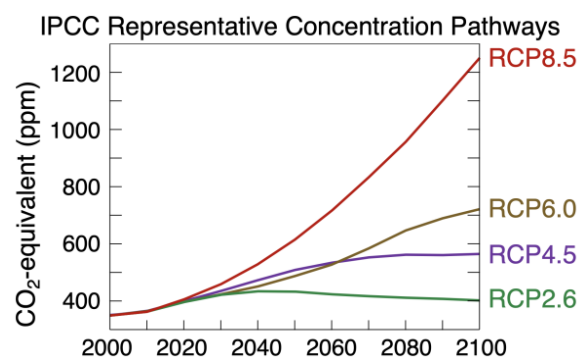


Figura 1. Concentracions de CO₂ equivalents als diferents escenaris d'emissió (en parts per milió) d'acord amb els quatre RCP utilitzats pel Cinquè Informe d'Avaluació IPCC per fer models predictius. Font: Guia resumida del Cinquè Informe d'Avaluació de l'IPCC. WGI. "Cambio Climático: Bases Físicas", 2013.

Tot i el seu gran impacte a les estacions més caloroses, primavera-estiu, les ones de calor tenen una incidència continua durant tot l'any. A l'estudi de Francis *et al.* (2012) s'observà com en les

últimes dècades, després dels estius on el gel àrtic ha disminuït, grans fluxos d'humitat i calor entren a la baixa atmosfera durant la tardor i l'hivern, i juntament amb els fluxos de calor latent, contribueixen a un augment de l'escalfament a l'Àrtic en comparació a latituds mitjanes. Segons el model de Koffi i Koffi (2008), cap a finals de segle XXI, les estacions d'estiu i tardor experimentaran les onades de calor més freqüents i intenses al sud i nord d'Europa, respectivament, mentre la onada de calor de major magnitud serà al nord d'Europa central durant l'hivern. A més, assenyala que les zones mediterrànies, com el sud-oest d'Espanya i Itàlia, mostraran la freqüència més elevada d'onades de calor al llarg de les temporades de l'any. Així, veiem com les temperatures són anòmalament càlides a totes les estacions de l'any, tot i que el seu impacte és variable en funció de les característiques geogràfiques. A més, es parla de nous fenòmens com ara el d'illa tèrmica que fa referència a la modificació local del clima per causa urbana, en comparació a punts no urbans de l'entorn. Sense anar més lluny, Martín-Vide *et al.* (1987) senyalen que Barcelona es troba en un risc meteorològic considerable a causa d'aquest fenomen, el qual, en aquest cas, es produeix més intensament a la tardor i hivern, que no en l'estiu.

2.2 Efectes sobre la salut humana

Tot plegat, la taxa de Canvi Climàtic excedeix en l'actualitat la de qualsevol període en el darrer mil·lenni. Les ones de calor, cada cop més freqüents i intenses, afecten en major mesura als grups de població més vulnerables, com són els majors de 65 anys, infants, embarassades, persones amb malalties cròniques, treballadors exposats i persones en risc d'exclusió. (Fundación Biodiversidad, 2021). L'impacte del canvi climàtic a la salut inclou: l'augment d'esdeveniments climàtics extrems, increment de les malalties respiratòries degut a canvis en la qualitat de l'aire i distribució del pol·len, augment de la incidència de malalties d'origen alimentari (zoonòtiques i transmeses per l'aigua), així com canvis en la distribució de malalties infeccioses o dels seus vectors (**Figura 2**). Cal tenir en compte que "El canvi climàtic no causa malalties sinó que magnifica els efectes de moltes d'elles", tal com senyalà al 2015 Chris Dye, director d'estratègia de l'Organització Mundial de la Salut (OMS); de forma que causarà unes 250.000 morts addicionals entre 2030 i 2050 (Linares-Gil *et al.*, 2017; Blázquez, 2010).

Mentre les malalties cardiovasculars, respiratòries i cerebrovasculars s'han identificat com les possibles causes de defunció en el futur, les malalties zoonòtiques, causants del 80% de les malalties infeccioses humanes, també són susceptibles a ser afectades pel canvi climàtic i la variabilitat del clima. Per exemple, els casos de salmonel·losi es veuen augmentats en un 5-10%

per cada increment d'1 °C en la temperatura setmanal (Kovats *et al.*, 2004). Entre les malalties vectorials que podrien augmentar la incidència a Espanya trobem aquelles transmeses per mosquits (dengue, malaltia del Nil occidental, malària), paparres (encefalitis) o flebotoms (leishmaniosis). A més, el canvi climàtic promou la contaminació d'aliments amb biotoxines, com ara dinoflagel·lats productors de toxines marines trobats a les costes de Galícia, els quals anteriorment solien trobar-se a zones tropicals i subtropicals (Gonzalez *et al.*, 2006).

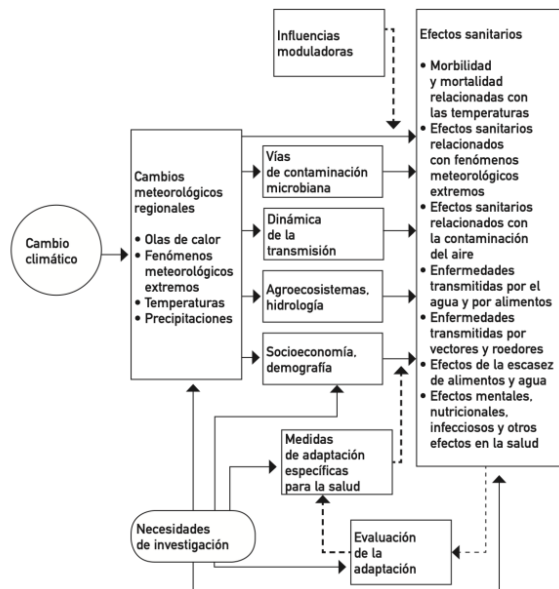


Figura 2. Infografía extreta de la OMS (<http://www.who.int/globalchange/climate/es/>)

2.3 Efectes sobre la salut vegetal

L'estrès per calor afecta al creixement i desenvolupament de les plantes des del principi de la seva ontogènia, i en un escenari de canvi climàtic creixent, hi ha una major probabilitat de que les temperatures de l'aire superin el rang òptim per a moltes d'elles. Les elevades temperatures, ja des de l'etapa reproductiva, especialment durant la pol·linització, tenen un impacte important en la producció basat en reduccions del balanç de carboni i/o un augment en la taxa de senescència que redueixen la capacitat del cultiu d'omplir de manera eficient el gra o la fruita. També poden disminuir o fins i tot, inhibir totalment la germinació de les llavors. Ja en etapes de desenvolupament posteriors, poden afectar adversament novament el balanç de carboni, a través de la fotosíntesi, la respiració, les relacions hídriques i l'estabilitat de les membranes, així com els nivells d'hormones i de metabòlits secundaris. La resposta a l'estrès per calor implica la producció d'espècies reactives d'oxigen (ROS), proteïnes de xoc tèrmic i altres proteïnes relacionades amb l'estrès que afecten el creixement i el desenvolupament de les plantes. (Hatfield *et al.*, 2015; Jarma Orozco *et al.*, 2012; Rossati, 2017; Wahid *et al.*, 2007).

Les temperatures extremes impacten negativament damunt les diferents espècies vegetals, havent-hi certes diferències entre aquestes: les plantes C₄ responen millor a un augment gradual de les temperatures, mentre les plantes C₃ responen de manera similar a la variació gradual o brusca de la temperatura; per altre banda, mentre les altes concentracions de CO₂ fan minvar l'efecte negatiu de les elevades temperatures a les plantes C₃ (efecte protector), tenen un efecte negatiu en la fotosíntesi de les plantes C₄ i CAM durant l'estrès tèrmic. A més, la recuperació del xoc tèrmic és més ràpida a plantes C₃ en condicions de CO₂ elevat. (Tripathee, 2008).

Existeix una variabilitat en la tolerància a l'estrès: algunes plantes responen millor a les elevades temperatures, per exemple amb l'expressió de proteïnes de xoc tèrmic (Hsp), i d'altres responen millor a la baixa disponibilitat d'aigua. Tot indica que les ones de calor imposen un estrès significant damunt les comunitats vegetals, que no ocorreria si els estressos hídric o tèrmic fossin experimentats individualment. Aquest fet s'observa als distints indicadors d'estrès: senescència foliar, contingut hídric relatiu (CHR), eficiència fotosintètica, entre altres. Així, per exemple, tal com indiquen Davies *et al.* (2018), la senescència foliar es veu augmentada quan ambdós factors es combinen, i a més, l'efecte és major a plantes C₃, on la disminució en el contingut hídric i l'eficiència fotosintètica és major en comparació a plantes C₄.

3. Indicadors fisiològics dels efectes de les ones de calor sobre les plantes

Com s'ha explicat, les ones de calor comporten un estrès damunt les plantes, per dèficit hídric, augment de les temperatures, o la seva combinació. Alguns dels indicadors fisiològics dels seus efectes damunt les plantes són els següents:

- La conductància estomàtica (*g*) és un paràmetre de referència de l'estrès hídric, ja que mesura la facilitat amb què el vapor d'aigua circula de l'interior de la fulla cap a l'exterior d'aquesta a través dels estomes (Flexas *et al.*, 2002).
- Els excessos de temperatura originats per les ones de calor porten associats uns increments en el dèficit de pressió de vapor entre la fulla i l'atmosfera. Això pot conduir a que la demanda transpiratòria superi llargament la capacitat dels teixits conductors per a abastir d'aigua els teixits foliars, podent-se donar casos de forta deshidratació o pèrdua del contingut hídric relatiu (CHR) a les fulles. En aquest sentit, el CHR és un índex important per determinar les varietats tolerants a la sequera ja que contempla la variabilitat del percentatge d'aigua en els teixits a mesura que augmenta el dèficit hídric del sòl (Davies *et al.*, 2018; Cohen *et al.*, 2020).

- La velocitat de transport linear d'electrons (ETR) als tilacoides és un paràmetre usat per estimar l'assimilació fotosintètica bruta. Com és sabut, la cadena de transport d'electrons ocorre a la membrana interna dels cloroplasts, l'estabilitat de la qual pot veure's compromesa davant forts increments de temperatura (Tambussi, 2005).

4. Context

Estudis previs demostren l'efecte de les ones de calor en la salut humana, mentre el seu efecte damunt les plantes ha rebut menys atenció. Per altre banda, el monitoreu del progrés de l'estrès hídric als pocs estudis on s'ha fet (Davies *et al.*, 2018) es basa en el contingut hídric (CH), i no en el CHR. En aquest sentit, si bé el CH és un paràmetre útil, el CHR és més adequat per quantificar l'estatus hídric de les plantes i, sobre tot, per a poder comparar entre diferents espècies i condicions.

Al Grup de Recerca en Biologia de les Plantes en Condicions Mediterrànies de la Universitat de les Illes Balears, s'ha demostrat l'existència d'un balanç entre la capacitat fotosintètica i tolerància a la dessecació foliar per mitjà d'una bona regulació estomàtica, si bé, en el present treball s'estudiarà fins quin punt la dessecació foliar condiona la vida de les plantes, amb la novetat d'estudiar-ho quan aquesta es combina amb una ona de calor, la qual cosa posiciona aquesta recerca en el context dels estudis sobre l'actual canvi climàtic.

5. Hipòtesi i objectius principals

Tenint en compte el context, la nostra hipòtesi sosté que les cada vegada més freqüents ones de calor derivarien en dessecacions dels teixits foliars que podrien ser letals. D'aquesta hipòtesi se'n deriven els següents objectius principals:

1. Estudiar si l'estrès hídric i tèrmic deriven en dessecacions del teixit foliar que acaben sent letals, o si la planta desenvolupa estratègies d'adaptació davant aquestes adversitats.
2. Estudiar si la combinació d'ambdós tipus d'estrès és rellevant en la resposta vegetal: en aquest sentit, comparar les plantes sotmeses als tractaments de reg i sequera, en condicions de temperatura ambient i de xoc tèrmic.
3. Valorar si els efectes són o no similars en espècies amb una forma de creixement i fenologia diferents: entendre la seva resposta en termes dels paràmetres considerats.

En aquest treball es pretén adreçar empíricament aquestes qüestions, els resultats del qual contribuirien al camp de la millora de cultius dins el panorama actual de Canvi Climàtic.

MATERIALS I MÈTODES

1. Material vegetal i tractaments

Helianthus annuus (gira-sol), *Beta vulgaris* var. *cycla* (bleda) i *Limonium magallufianum* són les espècies seleccionades en el present experiment, plantes C₃ que viuen en condicions temperades a les estacions càlides. Per la seva adaptació climàtica ampla (5°C - 33 °C) creixen tot l'any, i només detenen el seu desenvolupament fora d'aquest rang. Dues d'elles són considerades aliments bàsics en la nostra dieta: el pecíol carnós o la fulla sencera en el cas de la bleda, i del gira-sol les llavors, de les quals en deriven productes com l'oli. Estan bastant esteses arreu del món, i a la regió mediterrània creixen exitosament. (Ronquillo Morán, 2017; Meléndez Vega, 2015).

El cultiu del gira-sol (*Helianthus annuus*) és de secà, un sistema agrícola que presenta una elevada vulnerabilitat als canvis prevists en les condicions climàtiques, en comparació a altres. Els principals impactes del canvi climàtic sobre el gira-sol s'associen a l'increment de les temperatures i al descens de les precipitacions (especialment als mesos de primavera-estiu), acompanyats d'esdeveniments extrems com sequeres prolongades o ones de calor. Tot i presentar certa resistència a aquestes condicions adverses, és especialment vulnerable al canvi climàtic, sobretot quan l'estrès hídric i tèrmic coincideixen amb el període de floració fins a l'ompliment del gra. Baix estrès hídric la planta limita la transpiració mitjançant el tancament estomàtic, reduint així l'assimilació de carboni i la producció de biomassa, generant collites més petites. Per altre banda, tot i tenir un major impacte en les etapes reproductives, l'estrès tèrmic afecta negativament la collita durant l'etapa vegetativa, disminuint la taxa fotosintètica i l'eficiència en l'ús de l'aigua i nutrients, i incrementant la taxa d'evapotranspiració. Entre les fases reproductives, la floració és la més sensible a l'estrès tèrmic, ja que la viabilitat de pol·len és especialment sensible a aquest estrès. El seu període vegetatiu és òptim entre els 18-25°C. La temperatura mínima de germinació es situa a partir dels 12°C, i és òptima a partir dels 15°C. (Aguirrezábal *et al.*, 1998; López, 2020).

La bleda (*Beta vulgaris* var. *cycla*), per altre banda, requereix unes temperatures baixes (vernalització) al període vegetatiu per induir la floració; tot i que l'acció de les baixes temperatures sobre la planta pot causar la floració prematura. Per la seva gran massa foliar necessita en tot moment mantenir el sòl en un estat òptim d'humitat. Així, tot i que resisteix bastant la calor, necessita ser regada freqüentment per evitar símptomes de deshidratació, al estar composta per un 90% d'aigua aproximadament. El seu període vegetatiu ocorre a temperatures compreses entre un mínim de 6°C i un màxim de 27°C, amb un rang òptim entre els 15 i 25°C. Les

temperatures de germinació es troben entre els 5°C de mínima i de 30 a 35°C de màxima, amb un òptim entre els 18 i 22°C. (Chumbipuma Bustinza 2019; Botello Espinoza, 2014).

En última instància, *Limonium magallufianum* és una espècie endèmica de les Illes Balears, que habita només en una zona costanera (humida) situada a Magaluf, Mallorca. Juntament amb les quatre saladines endèmiques restants de la zona, apareix en perill d'extinció en el Catàleg Nacional d'Espècies Amenaçades; amb això, han estat sotmeses a varies dinàmiques de protecció i conservació. Es tracta d'un semi-arbust llenyós i esclerofil·le de fulla perenne, i la seva funcionalitat depèn de la presència de sòls salins. Alguns dels factors que hi intervenen són: climes càlids amb elevats nivells d'evaporació i escasses precipitacions, així com el subministrament de sals de variada procedència: mareal, esprais atmosfèrics, nivell freàtic i escorrentia. Es reproduïx de forma asexual i apomíctica. Així, la seva dispersió és entomòcora i la pol·linització de tipus entomòfila generalista. La floració es dona entre els mesos de maig i agost, i la fructificació del setembre a octubre (Bañares Baudet *et al.*, 2004; Cózar, 2015; Cruz Rot, 2009; Galmés *et al.*, 2007; García 1985).

Tant les bledes com els gira-sols foren cultivats a la Universitat de les Illes Balears (Mallorca, Espanya). Les llavors de *Beta vulgaris* var. *cycla* foren germinades el 8 de novembre de 2021 en una cambra de creixement amb un fotoperíode de 12 hores (de 8 a 20h) a una intensitat lumínica de 350 $\mu\text{mol fotons m}^{-2} \text{s}^{-1}$ de llum fotosintèticament activa (PAR). Un cop germinades, foren transportades a l'hivernacle. Les llavors de *Helianthus annuus* foren germinades el 14 d'abril del 2022 en condicions d'hivernacle, allà on creixeren les plantes. Després de la germinació i aparició d'una veritable fulla, 40 plàntules de cada una de les dues espècies foren trasplantades a tests (3,79L de volum, 17,7cm d'altura) que contenien una mescla 4:1 de substrat hortícola i perlita. Durant la germinació i creixement, totes les plantes foren regades cada dos dies fins arribar a la capacitat de camp amb aigua d'aixeta del camp experimental. A més se'ls subministrà fertilitzant NPK *Multigreen classic* d'alliberació lenta de la marca *Haifa* (Haifa, Israel), en una ocasió i en una quantitat de 6g per planta. Una setmana prèvia a l'experiment, foren fertirrigades amb una solució *Poly-feed* NPK soluble de la mateixa marca.

Per altre banda, *Limonium magallufianum* germinà en una cambra de germinació a 20°C a l'octubre de 2020 i es desenvolupà a un umbracle de la mateixa Universitat per a ser usat en un treball experimental que culminà a l'octubre de 2021. Un cop germinades, les plantes es desenvoluparen dins tests de 3L amb un substrat hortícola compost per un 61,5% de fibra de coco, un 33% de molsa de pèsols blancs, i un 5,5% de perlita expandida. Foren fertilitzades amb

4,40mg/l de *Osmocote* NPK 19-10-19, un fertilitzant d'alliberació lenta. Les plantes foren mantingudes a l'exterior baix una malla amb un 50% d'exclusió de llum durant el seu creixement i període experimental. Durant aquest període foren regades fins arribar a la capacitat de camp amb una mescla d'aigua d'aixeta i aigua de la mar recollida a Sa Ràpita amb una freqüència setmanal o cada tres dies, en funció de la humitat que el sòl presentava. Després de l'experiment, foren regades cada dos dies amb aigua d'aixeta i mantingudes en el mateix lloc. S'introduïren al present experiment en un estadi vital adult, d'1 any i 5 mesos, aproximadament. Una setmana prèvia a l'experiment, les plantes foren fertirrigades amb una solució NPK soluble.

El nombre de plantes usat va ser de 40 individus per espècie de bleda i gira-sol, classificats en quatre tractaments: reg a temperatura ambient (control), sequera a temperatura ambient (control), reg en presència d'ones de calor i sequera en presència d'ones de calor. De forma que, 10 individus foren sotmeses a un tractament distint. Per altre banda, 6 espècies de *L.magallufianum* foren seleccionades per tractament (24 individus totals).

Les mesures foren preses en un punt inicial en què totes les plantes es trobaven regades. A partir d'aquest punt, les plantes del tractament per sequera deixaren de regar-se, a excepció dels regs de supervivència que s'hagueren d'aplicar. Així, aquestes plantes foren pesades en dos dies consecutius per determinar la quantitat d'aigua perduda i s'establiren pesos mínims de 1200g per les bledes, 900g per als *L.magallufianum* i 800g per als gira-sols, per evitar la seva mort. L'estat fotosintètic de les plantes va ser controlat a partir d'aquest punt, fins arribar al punt de sequera desitjat. Un cop arribades a l'estat de sequera, les plantes del tractament d'ones de calor, foren sotmeses a un estat tèrmic superior al control durant un període de set dies (del 24 al 31 de maig), a mode d'ona de calor. Les ones de calor es simularen mitjançant un prototip dissenyat per Francesc Castanyer (tècnic especialista en electrònica i telecomunicacions) a la Univeristat de les Illes Balears (UIB), basat en un autòmat programable de la marca Zennio (Toledo, Espanya) connectat a quatre calefactors Tristar KA-5287 (Tilburg, Països Baixos) (**Fig. 3**), la temperatura dels quals fou ajustada a la nostra preferència. Així, per a aquests tractaments s'establiren unes temperatures de 2°C superiors a les control entre les 10 i les 12h, 5°C superiors de les 12 a les 16h, i 2°C superiors de les 16 a les 18h, per simular ones de calor com les descrites habitualment (Xu *et al.*, 2020). Les oscil·lacions de temperatures produïdes al llarg dels dies s'enregistraren amb dos aparells Hobo UX100-003 (Bourne, Estats Units), col·locats en la safata central de cada respectiu tractament, amb la protecció necessària per evitar el seu sobreescalfament. Amb posterioritat al període d'ones de calor, la sequera fou eliminada durant tres dies per mesurar-ne la seva recuperació el 3 de juny.



Figura 3. Disposició del tractament control i el tractament per ones de calor a l'hivernacle, aquest darrer, sotmès a temperatures més elevades gràcies als quatre calefactors col·locats.

2. Transport linear d'electrons (ETR) determinat per fluorescència de la clorofil·la com a indicador de sequera severa

Els paràmetres de fluorescència de clorofil·les (Chl) són els més usats per estimar el rendiment quàntic del fotosistema II, que al seu torn permet fer estimacions de la velocitat de transport lineal d'electrons (ETR) sempre que es conegui la llum absorbida per la fulla (Flexas *et al.*, 2002). L'ETR es calcula a partir d'una fórmula que relaciona el rendiment efectiu del fotosistema II (ϕ PSII) amb la densitat del flux fotònic fotosintètic incident (PPFD), la fracció de llum que absorbeix la fulla (a), i la fracció de llum absorbida utilitzada pel PSII (b), que s'assumeix com a 0,5. (Tambussi, 2005). L'ETR és mantingut a alts nivells en condicions de sequera, i quan decreix ho fa generalment quan la conductància estomàtica cau a valors baixos (ca. $0.10-0.15 \text{ mol H}_2\text{O m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), corresponents a sequeres moderades a severes però no letals (Flexas *et al.*, 2002).

En el present experiment es varen prendre mesures amb un fluoròmetre *Plant stress kit* (Optiscience, Hudson, Estats Units) com a paràmetre de decisió per determinar el punt de sequera de les tres espècies, establert en la detecció d'un descens estadísticament significatiu de l'ETR respecte a les plantes control, previ al període d'ones de calor. L'ETR es mesurà al matí (entre les 10-13h) i en condicions lumíniques d'un PAR (radiació fotosintèticament activa) mínim de $800 \mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$, a partir del 16 de maig de 2022 cada dos dies (18, 20 i 22 de maig) fins arribar al punt de sequera desitjat, assolit el 24 de maig. En cada una de les mesures, 4 plantes per espècie i tractament (reg i sequera) foren seleccionades aleatòriament i l'ETR inicial es calculà com la mitjana de cada grup. El dia en que s'inicià l'experiment, l'ETR fou independent al tractament per reg o per sequera, ja que el període d'ones de calor encara no s'havia aplicat; les mesures en les

plantes destinades al tractament de reg es prengueren com a futura referència. Als posteriors dies, sols es prengueren mesures de les plantes destinades al tractament de sequera, per observar el descens en quant a ETR.

3. Estatus hídric de la planta: contingut hídric relatiu (CHR)

Quan les plantes són estressades per sequera, la proporció d'aigua a les fulles tendeix a minvar. El contingut hídric relatiu (CHR) és una de les mesures més directes i precises de la salut vegetal ja que, com s'ha comentat, contempla la variabilitat del percentatge d'aigua a mesura que augmenta el dèficit hídric del sòl. Relaciona el pes sec, fresc i turgent de la planta; mentre que el contingut hídric (CH) només contempla la proporció d'aigua present a les fulles en un moment donat, en base al pes fresc. (Davies *et al.*, 2018; Cohen *et al.*, 2020).

S'han definit diversos graus d'estrès hídric. Flexas i Medrano (2002) situen l'estrès lleu quan el CHR es troba entre el 100 i el 85%, l'estrès moderat amb CHR de 85-70% i sever a un CHR inferior al 70%. Aquesta escala s'emprarà de referència en el present estudi. Així mateix, Lawlor i Cornic (2002) estableixen un CHR del 65% com el llindar per sota del qual la capacitat fotosintètica arriba a un punt de no retorn, per la qual cosa no es recupera després de la rehidratació. D'altra banda, la supervivència a caigudes del CHR per sota del 30% es considera habitualment com el llindar per definir una espècie com a tolerant a dessecació o *resurrecció plant* (Gechev *et al.* 2021). Aquestes escales s'empraran de referència en aquest estudi.

D'acord amb aquest mètode, el contingut hídric relatiu es mesurà dos cops: a l'inici del tractament per ones de calor (24 de maig) i al finalitzar aquest període (el sisè i setè dia, 30 i 31 de maig, respectivament). S'usà un traucador d'1,8 cm de diàmetre per extreure material vegetal en discs de fulles d'edat intermitja (ni les més joves ni les més senescentes). Es van extreure dos discs per planta, preferiblement de dues fulles distintes, de sis plantes per tractament i espècie. Aquests discs foren pesats inicialment amb una balança analítica *AUW220D* de la marca *SHIMADZU* el 24 de maig (pes fresc), i a continuació es disposaren en plaques multipouet que s'humitejaren lleugerament amb paper higiènic banyat en aigua destil·lada. Així és com s'assolí el pes turgent al següent dia (25 de maig), mateix dia en què els discs es disposaren en sobres de paper i es col·locaren a una estufa a 60°C durant cinc dies fins assolir el pes sec (30 de maig). Els discs es tornaren a col·locar a l'estufa, en les mateixes condicions, i el pes sec fou mesurat varies vegades en els propers dies fins que esdevingué constant. Al finalitzar el període d'ones de calor, es recollí material vegetal novament i el mateix procediment es dugué a terme: entre el 30 i 31 de maig es

recolliren discs de material vegetal i es pesaren en fresc, i entre el 31 de maig i 1 de juny es calcularen els pesos turgents. Aquesta vegada, els discs s'obtingueren de les mateixes plantes que a la mesura inicial. En darrera instància, el pes sec es calculà entre els dies 5 i 6 de juny. Un cop obtinguts els pesos d'interès referents als dos punts, el contingut hídric relatiu fou calculat seguint la següent fórmula:

$$CHR (\%) = \frac{(PF - PS)}{(PT - PS)} \times 100$$

Fórmula 1. Fórmula del contingut hídric relatiu (CHR), on PF és el pes fresc, PS és el pes sec i PT és el pes turgent.

4. Intercanvi de gasos

En el present estudi es mesurà simultàniament la fluorescència d'intercanvi de gasos per infrarojos (IRGA "Infrared Gas Analyzer") LI-6400XT, i la fluorescència de la clorofil·la amb el fluoròmetre modulat Li-6400-40 (Li-Cor Inc., Lincoln, Estats Units) incorporat a l'equip. Les fulles es subjectaren a una cubeta de 2 cm² i es fixaren unes condicions específiques per a cada espècie (temperatura, flux, PAR). D'aquesta manera s'enregistraren mesures puntuals de conductància estomàtica (g_s , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$), taxa fotosintètica (A_N , $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$) i transport linear d'electrons (ETR, $\mu\text{mol e}^- \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$). A més, s'incorporaren els quocients: ETR/ A_N ($\mu\text{mol e}^- \mu\text{mol}^{-1} \text{ CO}_2$) com a indicador d'estrès i fotorespiració (Flexas *et al.*, 2002), i l'eficiència intrínseca en l'ús d'aigua, o en anglès *intrinsic water use efficiency* (WUEi), A_N/g_s ($\mu\text{mol CO}_2/\text{mol H}_2\text{O}^{-1}$). Aquests paràmetres es mesuraren en un punt inicial previ a les ones de calor (24 de maig), en un punt final posterior a les ones de calor (31 de maig), i posteriorment al tractament de recuperació de les plantes (3 de juny). Les mesures s'efectuaren a 7 individus per tractament i espècie, en cada ocasió, però degut a errors instrumentals i morts eventuals d'alguns individus, els resultats finals corresponen a 3-6 rèpliques per tractament i espècie. Per al punt inicial previ a les ones de calor també es consideraren els quatre tractaments mencionats, per establir que entre les dues àrees de l'hivernacle en què s'aplicaren les ones de calor i en què no s'hi aplicaren, partien d'unes condicions similars, sense diferències estadísticament significatives entre elles.

5. Anàlisi estadística

L'anàlisi estadística de les dades obtingudes en la part experimental s'ha duit a terme per mitjà del software estadístic RStudio. Per fer aquest estudi estadístic i veure diferències significatives entre els tractaments i entre els dies de mesura a cada espècie per cada un dels paràmetres

mesurats, s'ha emprat l'ANOVA d'una via o l'ANOVA de dues vies. L'alternativa no paramètrica a l'ANOVA d'una via que s'ha usat en cas de no haver-hi homogeneïtat de variàncies ha estat el test de Welch; per altre banda, en cas de no haver-hi normalitat, s'ha emprat el test Kruskal-Wallis. En cas d'obtenir diferències significatives ($p\text{valor} < 0,05$), s'ha realitzat un test post-hoc de Bonferroni per saber quins nivells difereixen entre si. L'alternativa no paramètrica a l'ANOVA de dues vies que s'ha usat és el test de Scheirer-Ray-Hare, amb el respectiu test post-hoc no paramètric, el test de Dunn.

Cal especificar que no s'han cercat diferències estadísticament significatives entre les espècies ja que les respectives condicions de creixement i fenologia són diferents, i per tant, no comparables. Per altre banda, tot i que les dades haurien de tractar-se com a *repeated measurements*, el fet que durant l'experiment morissin certs individus o es deterioressin les seves fulles, ha fet que no sempre poguéssim emprar els mateixos individus per als diferents dies de mesures. De fet, per la mateixa raó, tampoc s'ha pogut emprar el mateix nombre de rèpliques. Per aquest motiu, s'ha optat per la present modalitat d'anàlisi estadística.

RESULTATS

1. Cicle diari de temperatura durant les ones de calor

Observem les oscil·lacions de temperatures al llarg dels set dies (168 hores) en què s'apliquen les ones de calor, en comparació al grup control (**Fig. 4**): durant els períodes programats, s'observa la presència de les ones de calor simulades. Degut a la inèrcia i la baixa renovació d'aire dins l'hivernacle, en la major part dels dies la temperatura nocturna també fou superior en el tractament per ones de calor tot i que no fos programat.

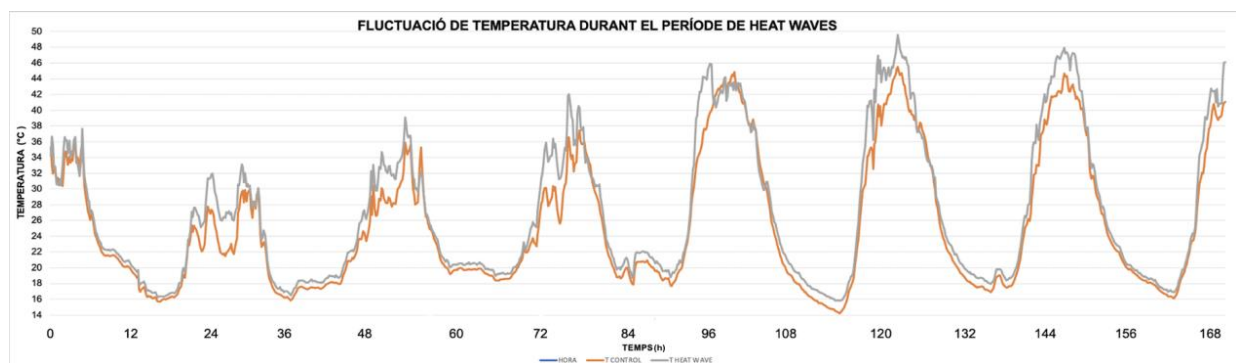


Figura 4: Temperatures enregistrades durant el període aplicat d'ones de calor (7 dies) al grup control (en taronja) i al grup tractat amb ones de calor (en gris), en funció del temps (h).

2. Seguiment de l'ETR com indicador de sequera

Per al cas de les mesures d'ETR preses amb *Opti-science*, s'observen diferències significatives entre els diferents dies sols en el cas de *L.magallufianum* i *B.vulgaris var. cycla*. Aquesta darrera, és l'espècie que presenta una major decaiguda de l'ETR amb els dies, arribant als 98,5 $\mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ al quart dia. Aquesta decaiguda es dona de forma gradual, a diferència de les altres dues espècies: en el cas de *L.magallufianum* l'ETR augmenta una mitjana de 13,5 $\mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ del primer dia de mesura al segon; per altre banda, *H.annuus* presenta mitjanes d'ETR superiors al segon i tercer dia de mesura, en comparació al primer. No obstant no ser significativament diferents, però, el dia 4 mostraren una certa disminució. Conseqüentment, aquest dia va ser l'establert com a punt de sequera, de cara a iniciar el tractament per ones de calor, per a les tres espècies.

	<i>L. magallufianum</i>		<i>Beta vulgaris var. cycla</i>		<i>H. annuus</i>	
	reg	sequera	reg	sequera	reg	sequera
Dia 1	157.0 ± 22.4	156.5 ± 18.7 ^{ab}	204.3 ± 22.3	189.8 ± 22.3 ^a	202,3 ± 9,84	204.8 ± 10.5 ^a
Dia 2		170.1 ± 13.4 ^a		158.7 ± 54.6 ^a		219.4 ± 23 ^a
Dia 3		156.2 ± 17.9 ^{ab}		106.6 ± 27.5 ^b		210.9 ± 8.2 ^a
Dia 4		112.8 ± 53.2 ^b		98.5 ± 18,9 ^b		174.3 ± 33.2 ^a

Taula 1. Evolució (dies) en quant a ETR mesurada amb *Opti-science* de les diferents espècies, en sequera o reg (mitjana ± desviació estàndard). Les lletres en superíndex indiquen si hi ha diferència significativa (p-valor <0.05) o no entre diferents espècies segons el test post-hoc de Bonferroni.

3. Contingut hídic relatiu (CHR)

A la **taula 2** es mostren els valors per al contingut hídic relatiu inicial (CHR_i) - pre ones de calor - i final (CHR_f) -post d'ones de calor - per a cada espècie. El CHR del tractament per reg a plantes control tendeix a augmentar tant a *L.magallufianum* com a *B.vulgaris var. cycla*, mentre que a *H.annuus* no ho fa. Totes les plantes en reg que han estat sotmeses al tractament per ones de calor, presenten un contingut hídic final inferior a l'inicial, com era d'esperar. Aquest és més acusat en el cas de *B.vulgaris var. cycla*, la qual passa d'un 84,9% inicial a un 65,5% final. Les plantes control en sequera presenten una disminució d'aquest paràmetre, tret de *L.magallufianum*, la qual presenta un augment gairebé del 10% des del punt inicial al final. Finalment, totes les plantes sotmeses a un doble estrès, per sequera i per calor, presenten una disminució del CHR al llarg de l'experiment. Les plantes més afectades en tot l'experiment són les que presenten un doble estrès, hídic i tèrmic, de l'espècie *B.vulgaris var. cycla*, les quals arriben amb un 59.8% del CHR_i al final de l'experiment.

S'obtenen diferències estadísticament significatives entre els dos dies de mesura tant per *L.magallufianum* com a *B.vulgaris var. cycla*, a diferència de *H.annuus*. *H. annuus* no presenta diferències significatives entre els distints tractaments, i en canvi, les altres dues espècies sí.

<i>Helianthus annuus</i>			
Tractament	CHR inicial	CHR final	% final respecte l'inicial
CR	80.1 ± 3.5 aA	76.2 ± 10 aB	95.2%
CS	82.8 ± 9.5 aA	62.4 ± 9.5 aB	75.3%
OR	78.5 ± 0.3 aA	66.2 ± 3.4 aB	84.3%
OS	82.7 ± 7.4 aA	62.9 ± 13.1 aB	76.1%
<i>L.magallufianum</i>			
	CHR inicial	CHR final	
CR	83.9 ± 6. aA	89.9 ± 1.6 aA	107.2%
CS	66.2 ± 17 bA	76 ± 6.5 bA	114.7%
OR	88 ± 2 aA	85.6 ± 6.6 aA	97.3%
OS	87.5 ± 4.3 abA	74.5 ± 10 abA	85.2%
<i>B.vulgaris var. cycla</i>			
	CHR inicial	CHR final	
CR	85.7 ± 1.8 aA	92.1 ± 9.3 aA	107.4%
CS	75.1 ± 21.8 acA	50.9 ± 10.7 acA	67.8%
OR	84.9 ± 2.1 abA	65.7 ± 11.7 abA	77.3%
OS	58.5 ± 17.4 bcA	34.9 ± 8.2 bcA	59.8%

Taula 2. Contingut hídic relatiu (CHR) inicial (pre ones de calor) i final (post ones de calor) de les espècies d'estudi, així com % de variació al punt final respecte a l'inicial. Valors representats per mitjanes de sis repeticions, per cada espècie i tractament, més la desviació estàndard (mitjana ± desviació estàndard; n=6). Les lletres minúscules indiquen diferències significatives (p<0.05) entre els diferents tractaments de cada espècie. Les lletres majúscules indiquen diferències significatives (p<0.05) entre el punt de mesura inicial i final per cada espècie. Tractaments: **CR** (control-reg), **CS** (control-sequera), **OR** (ones de calor - reg), **OS** (ones de calor - sequera). Les caselles en vermell indiquen un estrès hídic sever, mentre les caselles taronges i verdes, presenten un estrès moderat i lleu, respectivament.

4. Intercanvi de gasos i fluorescència de la clorofil·la

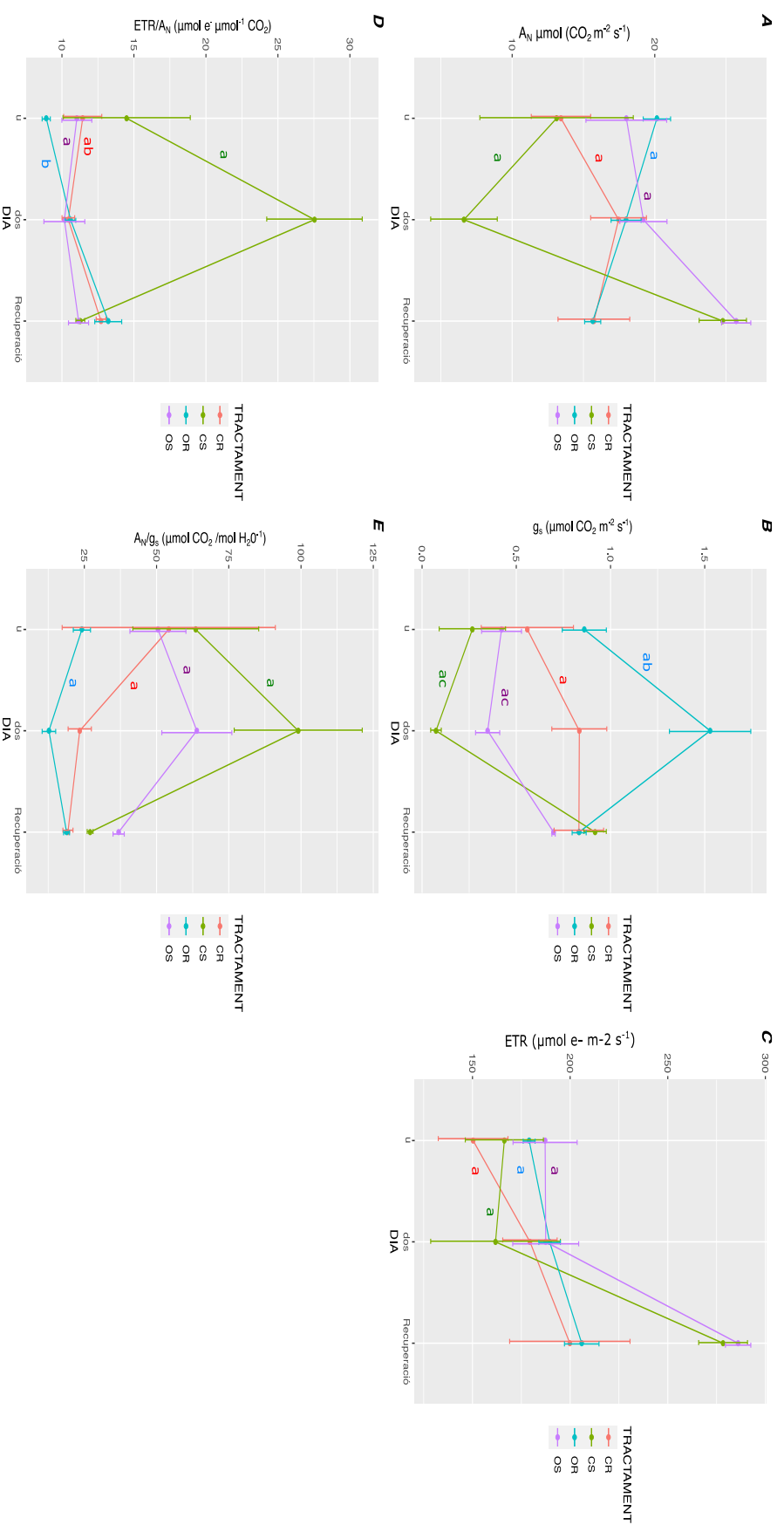


Figura 5. Resultats obtinguts als diferents paràmetres a *H. annuus*, en funció del tractament: **CR** (control-reg), **CS** (control-sequera), **OR** (ones de calor - reg), **OS** (ones de calor - sequera); i en funció del dia: **u** (pre ones de calor), **dos** (post ones de calor) i **Recuperació**. Les lletres minúscules indiquen diferències significatives ($p < 0.05$) entre tractaments.

A la **figura 5** observem la fluctuació dels paràmetres al llarg de l'experiment per a *H. annuus*. Cal afegir que s'han obtingut diferències estadísticament significatives per al factor "dia", en el cas de l'ETR: el dia u i dos difereixen estadísticament del dia de recuperació. Destaquem la millora observada al punt de recuperació respecte al dia dos, en el cas dels dos tractaments per sequera, pel que fa a l' A_N i a l'ETR.

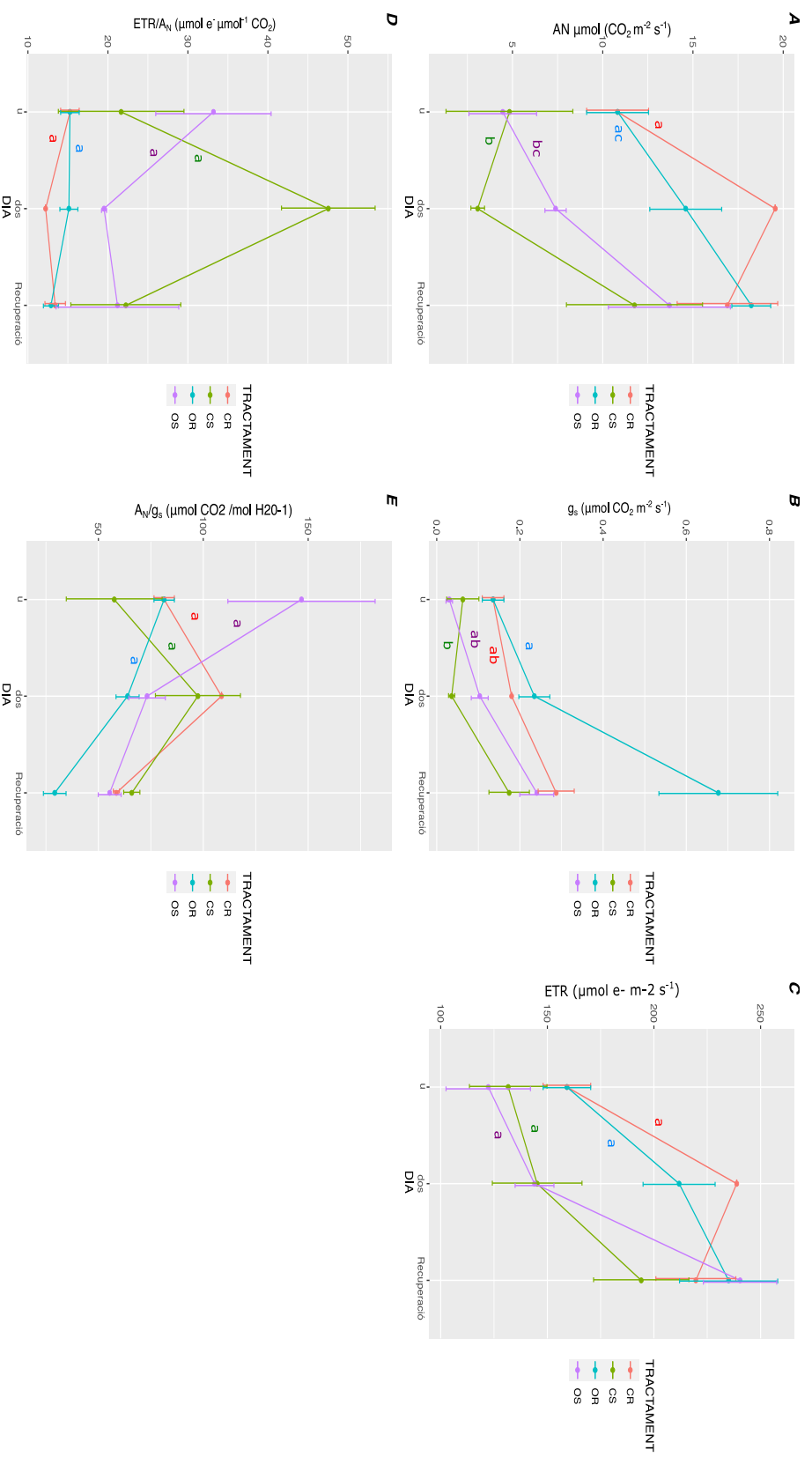


Figura 6. Resultats obtinguts als diferents paràmetres a *L. magallufianum*, en funció del tractament: **CR** (control-reg), **CS** (control-sequera), **OR** (ones de calor - reg), **OS** (ones de calor - sequera); i en funció del dia: **u** (pre ones de calor), **dos** (post ones de calor) i **Recuperació**. Les lletres minúscules indiquen diferències significatives ($p < 0.05$) entre tractaments.

A la **figura 6** s'observa com, per a *L. magallufianum*, els paràmetres A_N , g_s i ETR presenten valors superiors als dos tractaments per reg, respecte als de sequera. En el cas del quocient ETR/A_N cal tenir en compte l'obtenció d'un resultat molt superior a la resta per al dia 1 de 833 $\mu\text{mol e}^- \mu\text{mol}^{-1} \text{ CO}_2$, el qual no s'ha incorporat a la gràfica per tal de facilitar la seva visualització. Per als paràmetres A_N/g_s , g_s , A_N i ETR, s'han obtingut diferències estadísticament significatives entre el primer i segon dia, respecte al tercer.

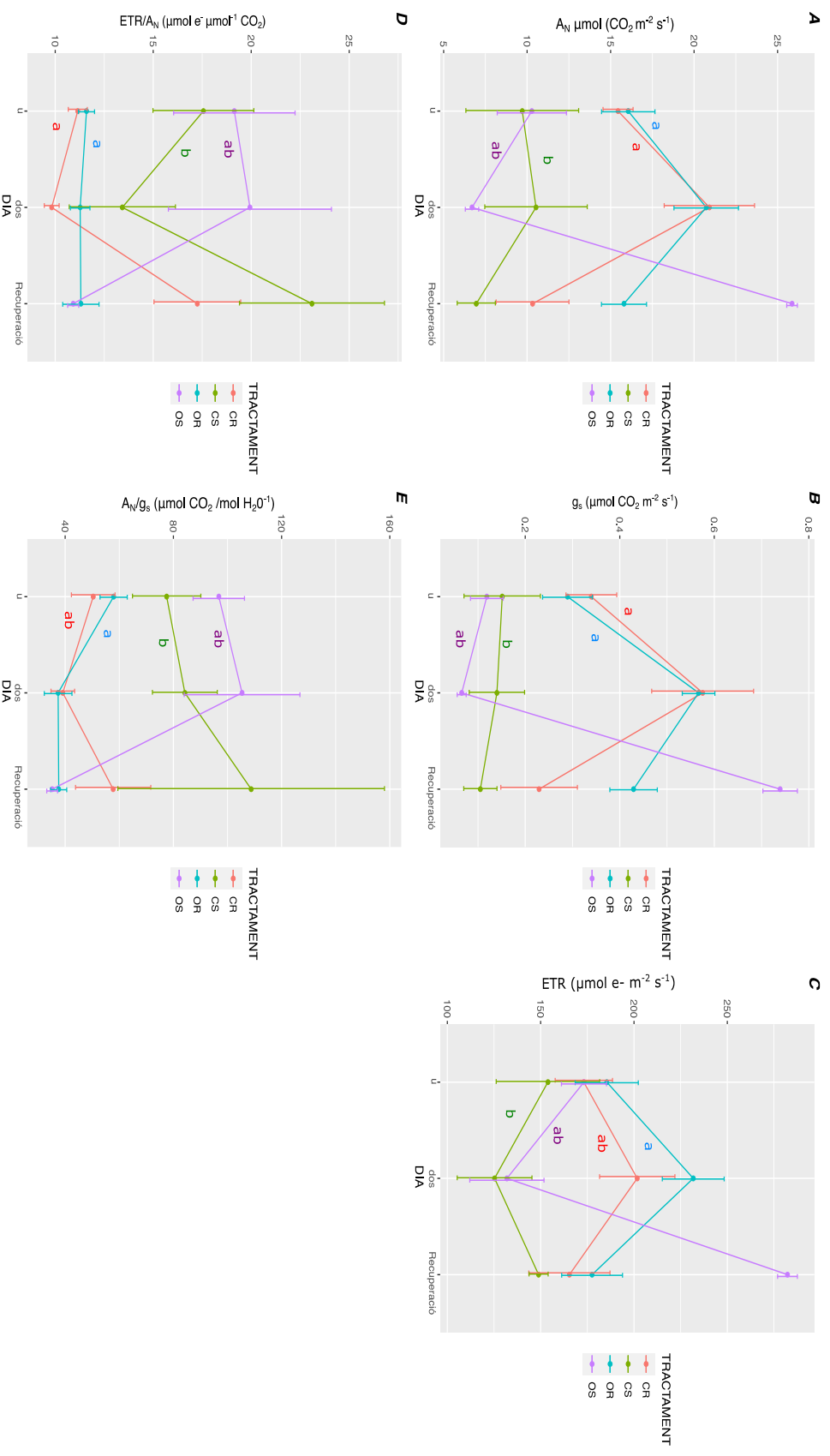


Figura 7. Resultats obtinguts per als diferents paràmetres a *B. vulgaris* var. *cycla*, en funció del tractament: **CR** (control-reg), **CS** (control-sequera), **OR** (ones de calor - reg), **OS** (ones de calor - sequera); i en funció del dia: **u** (pre ones de calor), **dos** (post ones de calor) i **Recuperació**. Les lletres minúscules indiquen diferències significatives ($p < 0.05$) entre tractaments. Per a *H. annuus* els paràmetres A_N , g_s i ETR també presenten valors superiors als dos tractaments per reg, respecte als de sequera. Destaca la millora observada al punt de recuperació respecte al dia dos a plantes sotmeses a doble estès: hídric i tèrmic. No s'obtenen diferències significatives entre els diferents dies.

DISCUSSIÓ

L'inici del període de sequera s'establí en una reducció estadísticament significativa de l'ETR al llarg dels dies respecte a l'inicial per a cada espècie, moment en què es deixaren de regar. *Beta vulgaris* var. *cycla* fou l'espècie que assolí aquest punt més ràpidament, com era d'esperar, pel seu alt requeriment hídric atesa la seva gran àrea foliar. *Limonium magallufianum*, si bé presencià un descens en l'ETR significatiu, el seu punt de sequera s'establí a una diferència de sols 43,7 $\mu\text{mol e}^- \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$ respecte a l'inicial, el qual, esperàvem que fos més elevat. S'ha de tenir en compte que les plantes no es trobaven en el seu òptim degut al seu estat ontogènic avançat, que podria ser la causa d'una baixa ETR. En aquest cas, el punt inicial de sequera es decidí per qüestió de supervivència d'aquesta espècie, l'estat fenotípic del qual era crític; és a dir, tot i que l'ETR no hagués baixat massa, la planta no hagués sobreviscut a molts més dies en sequera. *Helianthus annuus* s'introduí a l'experiment en etapa de creixement, caracteritzada per una producció fotosintètica més elevada en comparació a un moment vital més adult. Per aquesta raó i pel fet de ser un cultiu de secà acostumat a patir cert estrès hídric, no presentà un descens significatiu pel que fa a ETR, si bé tot i així, el quart dia començava a experimentar una disminució, encara no significativa. Tot plegat, s'arribà a un compromís pel que fa a l'establiment del punt de sequera, tenint en compte les edats, àrees foliars i requeriments fisiològics diferents entre espècies.

Pel que respecta als paràmetres mesurats, cal, en primer lloc, tenir en compte les característiques fisiològiques de cada planta. Així, a mides de fulla més grans, els requeriments en quant a llum i recursos hídrics seran majors. Per altre banda, la disposició i abundància foliar en el dosser és un factor que limita la llum interceptada per cada fulla individual (Medrano *et al.*, 2015).

La revelació més destacable és la recuperació de *B. vulgaris* var. *cycla* prèviament sotmesa a estrès hídric i tèrmic; sobretot, tenint en compte que ha estat l'espècie amb el CHR_f més baix de mitjana (34.9%) en tot l'experiment. *H. annuus* també presenta una exitosa recuperació després de ser doblement estressat, amb uns valors de A_N i ETR superiors als inicials i als valors de les plantes control que no han rebut estrès. En aquest sentit, Roig-Oliver *et al.* (2020) fan referència a l'aclimatació d'aquesta espècie davant un període de dèficit hídric que podria consistir en la restricció del creixement dels brots per a una major potenciació del creixement de les arrels, tot generant un desequilibri que dona lloc a taxes fotosintètiques més elevades a nivell foliar a plantes limitades per aigua que no pas al contrari. Tot i així, es tracta d'una explicació hipotètica ja que els mecanismes implicats són desconeguts. Per altre banda, *L. magallufianum* presenta uns resultats més esperables, basats en valors més elevats per a plantes amb reg, en comparació a

les de sequera. Destaca la recuperació de les plantes estressades per ones de calor en reg, les quals presenten una recuperació major en quant a conductància respecte a les altres.

Centrant-nos amb el CHR_f , destaquem el fet que tant per *B.vulgaris* var. *cycla* com per *H.annuus* s'han obtingut resultats inferiors al 65% en tres de quatre tractaments, situats per davall del llindar establert per Lawlor i Cornic (2002), és a dir, considerats en un punt en què la capacitat fotosintètica no es recupera després de la rehidratació. Fins i tot, les plantes de *B.vulgaris* var. *cycla* que han estat doblement estressades (sequera i ones de calor) presenten un CHR_f situat sols un 4,9% per sobre el llindar de les *resurrection plants* (Gechev et al. 2021). A més, aquesta espècie doblement estressada no sols es recupera exitosament després de les ones de calor, sinó que fins i tot supera als tractaments control en quant als tres paràmetres mesurats. Aquests resultats inesperats suggereixen que les ones de calor en combinació amb sequera, tinguin un efecte estimulador d'una aclimatació de les plantes que impliqui com a mínim, un increment notable en la capacitat fotosintètica. Tot i així, es tracta d'una explicació hipotètica ja que els mecanismes implicats són desconeguts, que sense dubte, alena futures investigacions.

CONCLUSIONS

En conclusió, veiem com tot i que el contingut hídric relatiu (CHR) cau per davall del llindar establert per Lawlor i Cornic (2002) a espècies no relacionades sotmeses a ones de calor i sequera, la capacitat fotosintètica no va en declivi, i de fet, es produeix l'aclimatació de les plantes a aquestes condicions. En aquest sentit, *B. vulgaris* var. *cycla* és l'espècie que més s'apropa al llindar de les *resurrection plants*, essent aquest un resultat destacable sobre el qual realitzar estudis futurs. Tot plegat, es veu com, tot i que les ones de calor influeixin negativament damunt la fisiologia vegetal, podrien a la vegada estimular una via d'adaptació que es posa de manifest durant la seva recuperació i que és especialment interessant en el context actual de Canvi Climàtic, tot motivant estudis futurs que confirmin la nostra hipòtesi plantejada i ajudin a entendre millor el funcionament de les plantes a les condicions climàtiques cada cop més canviants.

AGRAÏMENTS

Agraeixo principalment al meu tutor, el Dr. Jaume Flexas Sans la seva guia i ajuda durant el desenvolupament del treball, així com a tot l'equip que hi ha format part: Javier Gulías, Marcello Dante Cerrato, Jorge Gago, Marc Carriquí, Jaume Company i Francesc Castanyer. Als meus companys de carrera: Miquel, Joan, Mici, Bendi, Sara i Catalina, sense els quals aquest camí no hagués estat el mateix. Aquest treball representa el fi d'una gran etapa, i simplement vull donar les gràcies a qualsevol persona que hi hagi influït directa o indirectament. En especial, a ma mare i mon pare per donar-me l'oportunitat d'estudiar, la seva paciència i confiança en mi, a la meva germana, per donar-me sempre els millors consells, i tia Maria per orientar-me i ser una referència a seguir. Sense deixar de banda els amics de tota la vida, que sempre m'han acompanyat tot i haver traçat camins molt distints.

REFERÈNCIES BIBLIOGRÀFIQUES

Aguirrezábal, L. A. N., Orioli, G. A., Hernández, L. F., Pereyra, V. R., & Miravé, J. P. (1998). Girasol. *Calidad de productos agrícolas. Bases ecofisiológicas, genéticas y de manejo agronómico*, 139-192.

Bañares Baudet, Á., Blanca López, G., Güemes Heras, J., Moreno Saiz, J. C., & Ortiz Núñez, S. (2004). Atlas y libro rojo de la flora vascular amenazada de España: taxones prioritarios.

Blázquez, M. C. T. (2010). Cambio climático y salud. Informe SESPAS 2010. *Gaceta Sanitaria*, 24, 78-84.

Botello Espinoza, N. G. (2014). Producción hidropónica de dos variedades de acelga (*Beta vulgaris* var. cicla) con tres soluciones nutritivas en el D-5 de la ciudad de El Alto.

Cárdenas, M.J. 2010. *México ante el cambio climático. Evidencias, impactos, vulnerabilidad y adaptación*. México. Greenpeace.

Chumbipuma Bustinza, J. L. (2019). Densidad de siembra y abonos foliares en la producción orgánica de acelga (*Beta vulgaris* L. var. Cicla) en La Molina.

Coffel, E.D., Horton, R.M., & de Sherbinin, A. (2018). Temperature and humidity based projections of a rapid rise in global heat stress exposure during the 21st century. *Environmental Research Letters*, 13 (1).

Cózar, E. (2015). Las Saladinas (Gen. Limonium) del Prat de Magaluf. In *Llibre verd de protecció d'espècies a les Balears* (pp. 83-89). Societat d'Història Natural de les Balears.

Cruz Rot, M. D. L. (2009). 1510 Estepas salinas mediterrànees (Limonietalia).

Cohen, I., Zandalinas, S.I., Fritschi, F.B., Sengupta, S., Fichmann, Y., Azad, R.K., & Mittler, R. (2020). The impact of water deficit and heat stress combination on the molecular response, physiology, and seed production of soybean. (2020). *Physiologia Plantarum*, 172 (1): 41-52.

Davies, M., Ecroyd, H., Robinson, S.A., & French, K. (2018). Stress in native grasses under ecologically relevant heat waves. *PLoS ONE*, 13 (10): e0204906.

Flexas J, Bota J, Escalona JM, Sampol B, Medrano H (2002) Effects of drought on photosynthesis in grapevines under field conditions: an evaluation of stomatal and mesophyll limitations. *Functional Plant Biology* 29: 461-471.

Flexas, J., Escalona, J. M., Evain, S., Gulías, J., Moya, I., Osmond, C. B., & Medrano, H. (2002). Steady-state chlorophyll fluorescence (Fs) measurements as a tool to follow variations of net CO₂ assimilation and stomatal conductance during water-stress in C₃ plants. *Physiologia plantarum*, 114(2), 231-240.

Flexas, J., Medrano, H., & Hemantaranjan, A. (2002). Photosynthetic responses of C₃ plants to drought. *Advances in plant physiology*, 4, 1-56.

Francis, J. A., & Vavrus, S. J. (2012). Evidence linking Arctic amplification to extreme weather in mid-latitudes. *Geophysical research letters*, 39(6).

Galmés, J., Medrano, H., & Flexas, J. (2007). Photosynthetic limitations in response to water stress and recovery in Mediterranean plants with different growth forms. *New phytologist*, 175(1), 81-93.

García, L. L. (1985). Revisión sistemático-taximétrica del género *Limonium* en la isla de Mallorca. *Lazaroa*, (8), 11-68.

Gechev, T., Lyall, R., Petrov, V., & Bartels, D. (2021). Systems biology of resurrection plants. *Cellular and Molecular Life Sciences*, 78(19), 6365-6394.

Gonzalez, A. V., Rodriguez-Velasco, M. L., Ben-Gigirey, B., & Botana, L. M. (2006). First evidence of spirocides in Spanish shellfish. *Toxicon*, 48(8), 1068-1074.

Hatfield, J.L., Prueger, J.H. (2015). Temperature extremes: Effect on plant growth and development. *Weather and Climate Extremes*, 10, 4-10.

Jarma Orozco, A., Cardona Ayala, C., & Araméndiz Tatis, H. (2012). Efecto del cambio climático sobre la fisiología de las plantas cultivadas: una revisión. *Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica*, 15(1), 63-76.

Koffi, B., & Koffi, E. (2008). Heat waves across Europe by the end of the 21st century: multiregional climate simulations. *Climate Research*, 36(2), 153-168.

Kovats, R. S., Edwards, S. J., Hajat, S., Armstrong, B. G., Ebi, K. L., & Menne, B. (2004). The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiology and Infection*, 132(3), 443–453.
<https://doi.org/10.1017/s0950268804001992>

Lawlor, D. W., & Cornic, G. (2002). Photosynthetic carbon assimilation and associated metabolism in relation to water deficits in higher plants. *Plant, cell & environment*, 25(2), 275-294.

López, J. G. (2020). *Medidas de adaptación del cultivo de girasol al cambio climático empleando experimentación y modelización* (Doctoral dissertation, Universidad de Córdoba).

Linares-Gil, C., Carmona-Alferez, R., Ortiz Burgos, C., & Diaz-Jimenez, J. (2017). Temperaturas extremas y salud. Cómo nos afectan las olas de calor y de frío.

MARTÍN-VIDE, J., GARCÍA, M. C. M., & CORDOBILLA, M. J. (1987). VALORES DE PROBABILIDAD DE LA INTENSIDAD DE LA ISLA DE CALOR DE BARCELONA.

Marx, W., Haunschild, R., Bornmann, L. (2021). Heat waves: a hot topic in climate change research. *Theoretical and Applied Climatology*, 146, 781-800.

Medrano, H., Tomás, M., Martorell, S., Flexas, J., Hernández, E., Rosselló, J., ... & Bota, J. (2015). From leaf to whole-plant water use efficiency (WUE) in complex canopies: Limitations of leaf WUE as a selection target. *The Crop Journal*, 3(3), 220-228.

Meléndez Vega, N. D. (2015). *Comportamiento agronómico del cultivo de acelga (Beta vulgaris L.) con diferentes abonos orgánicos en la finca experimental La María, año 2014* (Bachelor's thesis, Quevedo: UTEQ).

Rebuelta, M. (2012). Adaptación y tolerancia de los líquenes a condiciones adversas a través de gradientes ambientales.

Roig-Oliver, M., Bresta, P., Nadal, M., Liakopoulos, G., Nikolopoulos, D., Karabourniotis, G., ... & Flexas, J. (2020). Cell wall composition and thickness affect mesophyll conductance to CO₂ diffusion in *Helianthus annuus* under water deprivation. *Journal of Experimental Botany*, 71(22), 7198-7209.

Ronquillo Morán, A. R. (2017). *Estudio del comportamiento agronómico del cultivo de acelga (Beta vulgaris L.), bajo fertilización orgánica edáfica y foliar* (Bachelor's thesis, Babahoyo: UTB, 2017).

Rossati A. (2017). Global Warming and Its Health Impact. *The international journal of occupational and environmental medicine*, 8(1), 7–20.

Tambussi, E. A. (2005). *Fotosíntesis, fotoprotección, productividad y estrés abiótico: algunos casos de estudio*. Universitat de Barcelona.

Tripathee, R. (2008). *Effect of CO₂ on the response of C and N relations to a heat wave in sunflower and corn* (Doctoral dissertation, University of Toledo).

Wahid, A., Gelani, S., Ashraf, M. & Foolad, M.R. (2007). Heat Tolerance in Plants: An Overview. *Environmental and Experimental Botany*, 61, 199-223.

Xu, H., Xiao, J., & Zhang, Z. (2020). Heatwave effects on gross primary production of northern mid-latitude ecosystems. *Environmental Research Letters*, 15(7), 074027.

Textos legales

Fundación Biodiversidad, et al., (2013). *Cambio Climático: Bases Físicas. guía resumida del quinto informe de evaluación del ipcc grupo de trabajo I*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid 1-47. https://www.miteco.gob.es/es/ceneam/recursos/mini-portales-tematicos/guia-resumida-grupo-trabajoi_tcm30-376939.pdf

Fundación biodiversidad. (2021, 22 de junio). *El MITECO presenta las actuaciones de adaptación al cambio climático para hacer frente a las olas de calor en España* [Comunicado de prensa]. https://fundacion-biodiversidad.es/sites/default/files/22062021_septimo_desayuno_informativo_shara.pdf

Naciones Unidas 1992. *Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático*. Recuperado el 16 de septiembre de 2010 de: <http://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>.

Orden PRE/1518/2004 [Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico]. Plan Nacional de Actuaciones Preventivas por Altas Temperaturas. 20 de Mayo de 2004.