



**Universitat**  
de les Illes Balears

**Títol:** Efectes de l'aplicació del tractament *Aqua-4D* en el desenvolupament del cultiu de tomàquet (*Solanum lycopersicum L. var Cid*) sota condicions d'hivernacle.

**NOM AUTOR:** Antònia Arrom Coll

**Memòria del Treball de Fi de Màster**

Màster Universitari Biotecnologia Aplicada  
(Especialitat/Itinerari de Biotecnologia i medi ambient)

de la

**UNIVERSITAT DE LES ILLES BALEARS**

Curs Acadèmic 2015-2016

*Data: 08/07/2016*

*Nom Tutor del Treball: Dra. Josefina Bota Salort*

# ÍNDEX

<b>1. INTRODUCCIÓ</b> .....	<b>3</b>
1.1 IMPORTÀNCIA DE L'AIGUA .....	3
1.2 AQUA-4D .....	4
1.3 ANTECEDENTS .....	5
1.4 IMPORTÀNCIA DEL CULTIU DE TOMÀQUET .....	6
1.5 QUALITAT DEL FRUIT .....	6
<b>2. OBJECTIUS</b> .....	<b>7</b>
2.1 OBJECTIU PRINCIPAL .....	7
2.2 OBJECTIUS ADJACENTS .....	8
<b>3. MATERIALS I MÈTODES</b> .....	<b>8</b>
3.1 LOCALITZACIÓ .....	8
3.2 MATERIAL VEGETAL, CONDICIONS EXPERIMENTALS I TRACTAMENTS .....	8
3.3 INTERCANVI DE GASOS .....	11
3.4 CREIXEMENT, BIOMASSA FINAL I PRODUCCIÓ .....	11
3.5 CONSUM D'AIGUA I EUA .....	12
3.6 PARÀMETRES DE QUALITAT .....	12
3.7 ANÀLISI ESTADÍSTIC .....	16
<b>4. RESULTATS</b> .....	<b>16</b>
4.1 INTERCANVI DE GASOS .....	16
4.2 CREIXEMENT, BIOMASSA FINAL I PRODUCCIÓ .....	18
4.3 AIGUA CONSUMIDA .....	22
4.4 EFICIÈNCIA AMB L'ÚS DE L'AIGUA (EUA) .....	23
4.5 QUALITAT .....	25
○ <i>Paràmetres de qualitat del fruit</i> .....	25
○ <i>Durabilitat fruit</i> .....	26
○ <i>Anàlisis sensorial</i> .....	27
<b>5. DISCUSSIÓ</b> .....	<b>28</b>
<b>6. CONCLUSIONS</b> .....	<b>30</b>
<b>7. AGRAÏMENTS</b> .....	<b>31</b>
<b>8. REFERÈNCIES</b> .....	<b>32</b>

## RESUM

L'escassetat d'aigua és el principal factor limitant per a la productivitat agrícola en molts països, de fet és la causa dominant de les pèrdues dels rendiments agrícoles. Davant els esdeveniments es va dur a terme aquest estudi amb l'objectiu d'adquirir noves estratègies per millorar la producció dels cultius agrícoles amb la mateixa quantitat d'aigua variant les propietats físiques d'aquesta mitjançant l'aplicació de un camp magnètic. Amb la intenció d'assolir l'objectiu anterior es va dur a terme aquesta investigació, la qual es va centrar en estudiar els efectes de l'aplicació del tractament *Aqua-4D* sobre el desenvolupament del cultiu de tomàquet (*Solanum lycopersicum L. var Cid*) sota condicions d'hivernacle. Per dur a terme l'experiment es van utilitzar 36 plantes, de les quals 18 van ser sotmeses a tractament control i 18 a tractament amb *Aqua-4D*. L'experiment va durar uns cinc mesos durant els quals es van analitzar els paràmetres de creixement, intercanvi de gasos, consum d'aigua, eficiència en l'ús de l'aigua (EUA) i qualitat. Les diferències entre tractaments sols van ser significatives en els paràmetres de qualitat (fermesa, duresa, acidesa titulable i el paràmetre de color L\*), paràmetres que mai s'havien estudiat en l'aplicació d'aquest tractament. Els resultats suggereixen que l'aigua tractada amb *Aqua-4D* actua sobre els paràmetres de qualitat del fruit incrementant la seva fermesa, duresa, acidesa titulable i el paràmetre de color L\*.

**Paraules clau:** Tomàquet, hivernacle, *Aqua-4D*, creixement, producció, intercanvi de gasos, consum d'aigua, eficiència en l'ús de l'aigua, qualitat, fermesa, duresa, acidesa titulable i paràmetre de color L\*

## ABSTRAT

Water shortage is the main limiting factor for agricultural productivity in many countries, in fact is the dominant cause of the loss of agricultural yields. Due to this factor, it was carried out this study with the aim of acquiring new strategies to improve the production of agricultural crops with the same amount of water varying physical properties of it by applying a magnetic field. With the intention to achieve the above objective it was carried out this research, which focused on studying the effects of the use of Aqua-4D treatment on the development of tomato crops (*Solanum lycopersicum L. var Cid*) under greenhouse conditions. To carry out the experiment were used 48 plants, of which 24 were subjected to control treatment and 24 to Aqua-4D treatment. The experiment lasted about five months and we were analyzing the parameters of growth, gas exchange, water consumption, efficient use of water (WUE) and quality. Differences between treatments were significant only in the quality parameters (strength, hardness, acidity and color parameter L\*), parameters that had never been studied in the use of this treatment. The results suggest that water treated with Aqua-4D acts on the parameters of fruit quality by increasing its firmness, hardness, acidity and color parameter L\*.

**Keywords:** Tomato, greenhouse, Aqua-4D, growth, production, gas exchange, water consumption, efficient use of water, quality, strength, hardness, acidity and color parameter L\*

# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1 Importància de l'aigua

En molts països la manca d'aigua s'ha convertit amb el principal factor limitant per el desenvolupament rural, convertint-se a mb la causa principal de les pèrdues del rendiment agrícola. L'augment de les pressions sobre l'agricultura incloent estressos biòtics i abiòtics, una població creixent, preferències alimentàries i l'augment de producció de cultius per a una expansió de l'economia fan remarcar la importància de millores en l'eficiència de l'ús de l'aigua (Bernacchi i VanLoocke, 2015).

Al mencionat anteriorment s'hi suma l'efecte del canvi climàtic, el qual juga un paper clau en la disponibilitat dels recursos hídrics. L'augment de les emissions dels gasos està incrementat la temperatura del planeta, la qual cosa implica un increment de la temporada de creixement dels cultius en les zones temperades del nord i una reducció en gairebé totes les altres zones. A l'anterior s'hi suma una major taxa d'evapotranspiració, cosa que desemboca amb un descens del potencial de rendiment dels cultius i de la productivitat agrícola (Bates et al., 2008; Nelson, 2009). El resultat és la reducció de la producció, alhora que provoca la proliferació de males herbes i pestes, l'increment de les probabilitats de fracàs de les collites a curt termini i la reducció de la producció a llarg termini degut als canvis en els règims de pluges. Encara que alguns cultius en certes regions del món puguin beneficiar-se, en general s'espera que els impactes del canvi climàtic siguin negatius per a l'agricultura, amenaçant la seguretat alimentària mundial (Bates et al., 2008; Nelson, 2009).

L'anterior incideix amb la importància de cercar mètodes per disminuir el consum d'aigua de l'agricultura, però mantenint o augmentant la producció per àrea de cultiu. Fins el moment s'ha estat contant amb les tecnologies tradicionals de desenvolupament de plantes i amb les estratègies de gestió com a paper principal en la millora dels cultius. La utilització de mètodes convencionals de creuament i integració de gens favorables a cultius amb l'objectiu d'induir tolerància a l'estrès no han donat els resultats favorables que s'esperaven, de fet, han presentant percentatges d'èxit molt baixos (Purohit et al., 1998; Rai et al., 2011).

Per una altre banda, les pràctiques culturals s'inclinen per l'establiment de mecanismes dirigits a la recuperació del sòl, la millora de drenatge i la utilització de mecanismes de reg d'alta qualitat. A Espanya l'aigua té una gran repercussió sobre la productivitat agrícola deguda a que la major part de les plantacions es troben localitzades sota un clima caracteritzat per la irregularitat de les precipitacions i un alt dèficit hídric. Davant els esdeveniments s'ha apostat per l'optimització del maneig del reg amb la intenció d'incrementar l'eficiència de l'ús de l'aigua. En l'actualitat la demanda dels sistemes de reg es considerablement

elevada. En aquest sentit, una aproximació per millorar l'eficiència en l'ús de l'aigua en les plantacions és la aplicació del reg deficitari, el qual es basa amb l'idea de reduir les aportacions hídriques en períodes de fenològics en els que el dèficit hídric no afecta sensiblement a la producció i qualitat de la collita, cobrint plenament la demanda evapotranspirativa durant la resta del cicle de cultiu (Sánchez-Blanco i Torrecillas, 1985). De fet alguns articles com el dut a terme per Espino et al. (2005) amb el cultiu de melicotoner mostren que el reg deficitari presenta valors més positius en la millora de l'eficiència en l'ús de l'aigua respecte el reg a demanda. Aquestes accions, encara que són essencials, generalment són cares i sovint proporcionen només una solució temporal al problema. Per tant, s'han d'utilitzar altres eines per fer front als problemes crítics de la millora dels cultius per una agricultura sostenible (Bacon, 2004).

Per tant, cal remarcar la importància de cercar noves estratègies per millorar la producció dels cultius amb la mateixa quantitat d'aigua amb l'objectiu de garantir una agricultura sostenible pels nous esdeveniments.

## 1.2 Aqua-4D

*Aqua-4D* és una tecnologia de tractament físic de l'aigua basat en la física quàntica i l'electrodinàmica. La física quàntica identifica l'aigua com un compost organitzat, estructurat i no caòtic, de fet tant ella com els seus elements poden adoptar moltes estructures diferents. Depenent de l'estructura adoptada, el comportament dels materials biològics i dels minerals dissolts és diferent. La física electrodinàmica actua sobre l'estructura de l'aigua i li proporciona unes propietats que milloren la dissolució i distribució dels minerals que conte, una millor retenció de l'aigua en el sòl i una millor adsorció de minerals per les plantes sense destruir el sòl bacterià (Hachicha et al., 2016).

El funcionament dels dispositius magnètics descalcificadors d'aigua es basen en un fenomen multifactorial resultant del camp magnètic generat per imants permanents o electroimants. L'acció anterior genera canvis en l'estructura dels ions hidratats, així com les propietats fisicoquímiques i el comportament de les sals inorgàniques dissoltes. A més, s'hi sumen els canvis en la taxa de coagulació electroquímica i la formació de múltiples llocs de nucleació sobre les partícules fines de precipitat disperses que consisteixen en cristalls de mida substancialment uniforme (Mosin i Ignatov, 2014).

En definitiva, la tecnologia es basa en el tractament físic de l'aigua per un dispositiu magnètic que funciona a molt baixa freqüència i intensitat, el qual permet recrear una estructura natural de l'aigua i optimitzar la seva capacitat per dissoldre i transportar els minerals.

El dispositiu electromagnètic d'*Aqua-4D* consta de dos mòduls bàsics:

- Una caixa electrònica pre-programat per generar senyals electromagnètics (EM).
- Tubs especialment dissenyats per a la transmissió del senyal d'EM a l'aigua.



**Figura 1.** Dispositiu electromagnètic *Aqua-4D*.

### 1.3 Antecedents

En general, la revisió de la literatura indica que hi ha alguns efectes positius dels camps magnètics sobre el creixement vegetal. El mecanisme exacte de l'efecte dels camps magnètics en els organismes vius encara no està clar però se sap que no és perillós per al medi ambient i que fins el moment ha tingut afectes positius sobre els cultius (Strašák et al ., 2002 ).

Els camps magnètics variables poden afectar les funcions biològiques dels organismes a través de canvis de les concentracions d'hormones, canvis en les funcions enzimàtiques o en el transport d'ions a través de la membrana cel·lular, causant canvis en la síntesi o transmissió del ADN (Strašák et al ., 2002 ).

Per una banda els estudis duts a terme per Esitken i Turan (2004) han reportat un augment en el nombre de flors i fruits en maduixes i tomàquets amb l'aplicació de camps magnètics. A l'anterior s'hi suma l'estudi dut a terme per Selim i El-Nady (2011), en el qual es va reportar un augment significatiu en l'altura, pes fresc i pes sec dels diferents òrgans com a resultat de l'aplicació de tecnologies magnètiques en el cultiu de tomàquets en condicions d'hivernacle. A part d'aquets estudis s'hi afegeixen els èxits d'altres estudis sobre l'efecte dels camps magnètics sobre la germinació de llavors i creixement de les plàntules (Pittman , 1977; Dagoberto et al., 2002; Moon i Chung, 2000; Martinez et al ., 2002; Socorro i Carbonell , 2002 ).

Per una altre banda, altres estudis remarquen l'afectivitat dels camps magnètics sobre l'aigua salada. Un exemple és l'estudi dut a terme per Hachicha (2016) on estudia l'efecte dels camps magnètics sobre l'aigua salina en la germinació de blat

de moro i cultius de patata. El resultat va ser un augment en el retiment aproximadament del 10% sobre els cultius mencionats anteriorment.

## 1.4 Importància del cultiu de tomàquet

Originari dels Andes, el tomàquet (*Solanum lycopersicum L.*) va ser importat a Europa al segle XVI. En l'actualitat, aquesta planta és comú a tot el món i s'ha convertit en un cultiu de gran importància econòmica. A més, és tracte d'una espècie model per a la introducció de gens d'importància agronòmica en cultius de dicotiledònies (Paduchuri et al., 2010).

El tomàquet és considerat un aliment de protecció degut el seu valor nutritiu, en particular, aporta nutrients importants com el licopè, flavonoides, vitamina C i derivats de l'àcid hidroxicinàmic. De fet, el descobriment de les activitats antioxidants de licopè en els darrers anys ha augmentat la seva popularitat incrementat així la seva producció i consum (Wu et al., 2011; Raiola et al., 2014).

El tomàquet ocupa el novè lloc en la producció agrícola de tot el món després de canya de sucre, blat de moro, arròs, blat, patates, soja, mandioca i remolatxa sucrera, aconseguint una producció mundial d'envoltant de 163,4 milions de tones en una superfície conreada de gairebé 4,8 milions d'hectàrees el 2013 (FAOSTAT 2013).

En els últims anys, l'interès dels científics en el tomàquet com a planta model ha augmentat de manera significativa veient-se estimulat pel fet que el seu genoma s'ha seqüenciat (The Tomato Genome Consortium 2012). El tomàquet és un excel·lent model per als dos programes d'investigació, bàsica i aplicada. Això és degut al fet que posseeix una sèrie de característiques útils, com ara la possibilitat de créixer sota diferents condicions de cultiu, el seu cicle de vida relativament curt, un genoma relativament petit (950 Mb), la manca de la duplicació de gens, la capacitat de propagació asexual mitjançant l'empelt i la possibilitat de regenerar plantes completes de diferents explants (Bai i Lindhout, 2007).

A més, a diferència d'altres organismes model com *Arabidopsis* o arròs, el tomàquet té moltes característiques interessants com la producció de fruits carnosos que són importants per a la dieta humana.

## 1.5 Qualitat del fruit

Una bona qualitat de la collita és clau per a la seva comercialització, de fet algunes de les seves característiques fan que una varietat sigui més òptima pel consum en fresc o per l'agroindústria. L'espècie *Solanum lycopersicum L.* presenta un gran nombre de varietats, algunes de les quals estan destinades a l' agroindústria i d'altres el consum en fresc. Entre les més conegudes es troben les varietats "kumato" (de color negra), "pera" (de forma allargada i molt carnosa), "cherry" (de

petita mida i arrodonit), “moserrat” (de forma lobular i mida consistent) i “darronc” (de gran dimensió i carnós). D’aquestes cinc, les tres darreres varietats són les més utilitzades en l’elaboració d’ensalades.

Les modificacions en la qualitat dels tomàquets poden ser de naturalesa mecànica, fisiològica o patològica (Mohsenin, 1986). Els danys mecànics poden causar alteracions metabòliques i fisiològiques, donant una aparença anormal externa (Fluck i Halsey, 1973) o interna (Moretti et al., 1998). El valor nutricional de les hortalisses depèn de molts factors, sent el més important la varietat botànica i el seu conreu (Khadi et al., 1987). Altres factors rellevants que influeixen en la composició química de les hortalisses són les condicions climàtiques, la fertilització, el sistema de producció, el reg i l'estat de desenvolupament de la planta al moment de la collita (Picha i Hall, 1982; Sørensen et al., 1995).

Quan el tomàquet es destina a la seva comercialització, els seus principals paràmetres de qualitat són pes sec, sòlids solubles, acidesa titulable, pH, viscositat, color, sabor i aroma. El tomàquet es consumeix amb la seva màxima qualitat organolèptica, que és quan el fruit és completament de color vermell però abans d'un estovament excessiu. Per tant, el color és la característica externa més important en la determinació del punt de maduració i de la vida postcollita i un factor determinant en la decisió de compra per part dels consumidors. El sabor és mesurat pels sòlids solubles i àcids orgànics, i és el resultat de diversos components aromàtics volàtils i no volàtils i d'una complexa interacció entre aquests (Kader, 1985; Cantwell et al., 2007). Per l’obtenció d’un sabor òptim es requereix un contingut alt de sucres i àcids; un contingut alt d'àcids i baixos de sucres produeix un sabor àcid, un alt en sucres i baix en àcids donen un sabor suau, i tots dos baixos donen un fruit insípid (Grierson i Kader, 1986). A n'aquets s’hi sumen un adequat pH, aroma i una duresa consistent. La qualitat de la majoria de fruites i hortalisses es veu severament afectada per les pèrdues d'aigua durant l'emmagatzematge, que depenen de la temperatura i de la humitat relativa (Perez et al., 2004).

## 2. OBJECTIUS

### 2.1 Objectiu principal

L’objectiu principal d’aquest estudi és estudiar els efectes de l’aplicació del tractament *Aqua-4D* sobre el cultiu de tomàquet (*Solanum lycopersicum L. var Cid*) sota condicions d’hivernacle.



## 2.2 Objectius adjacents

1. Avaluar els efectes de l'aplicació del tractament *Aqua-4D* sobre el creixement de la planta, la producció del cultiu i la biomassa final.
2. Avaluar els efectes de l'aplicació del tractament *Aqua-4D* sobre el consum d'aigua per la planta i l'eficiència en l'ús de l'aigua
3. Avaluar els efectes de l'aplicació del tractament *Aqua-4D* sobre la qualitat del fruit.

## 3. MATERIALS I MÈTODES

### 3.1 Localització

L'experiment es dugué a terme a l'hivernacle de l' Universitat de les Illes Balears (UIB) durant un període de temps de cinc mesos, entre els mesos de Desembre i Abril durant l'any acadèmic del 2015/2016.

### 3.2 Material vegetal, condicions experimentals i tractaments

S'utilitzaren 36 plantes de l'espècie *Solanum lycopersicum* L. var Cid. amb una edat mitja de 2 setmanes i amb unes característiques exposades a la taula 1. Les plantes foren adquirides del viver Can Juanito de Palma de Mallorca (Illes Balears). Es va seleccionar aquesta varietat perquè és una varietat comercial d'ensalada que es cultiva habitualment sota condicions d'hivernacle.

Les plantes es van mantenir durant els sis mesos dins l'hivernacle de la UIB sota les condicions naturals de aproximadament 12h llum/12h obscuritat i una temperatura aproximada de 20°C. Aquestes van ser sembrades en testos de plàstic amb un volum de 9L, es va utilitzar un substrat professional mesclat amb perlita expandida de tipus A13 amb una porció 5:1 (Taula 1).

**Taula 1.** Característiques de la perlita i el substrat utilitzat.

SUBSTRAT PROFESIONAL		PERLITA TIPO A13	
Gruo G	Turba alcalina	Silici total (SiO <sub>2</sub> )	70-75%
Matèria orgànica	90%	Densitat seca aparent	100 +/- 15g/L
Cendra	10%	Granulometria	1-5mm
Humitat màxima	50%	Porositat total	92-98%
Clorurs (Cl <sup>-</sup> )	31,1 mg/100g	Granulometria	1-5mm
Nitrogen total orgànic	1,12%		
Fosforo total (P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> )	0,2%		
Potassi total (K <sub>2</sub> O)	0,2%		
Magnesi (MgO)	0,2%		
Ferro (Fe)	0,25%		
Calci (Ca)	1%		
pH (H <sub>2</sub> O)	5,5-6,5		
Conductivitat	1,445 mmho/cm		

Les plantes van ser dividides a l'atzar en dos grups, 18 plantes van ser sotmeses a tractament control i 18 plantes a tractament amb *Aqua-4D*. L'aigua utilitzada va ser obtinguda de l'aljub subterrani que hi ha sota la Universitat de les Illes Balears (UIB). En el cas de les plantes sotmeses a tractament amb *Aqua-4D* l'aigua provinent de l'aljub abans de ser subministrada a les plantes passava per la bomba d'*Aqua-4D* sèrie 30. La instal·lació constava d'una canonada central, on circulava l'aigua provinent de l'aljub, connectada a una clau de pas en dues sortides. A cada sortida es va col·locar una vàlvula que anava connectada amb una canonada que donava a una aixeta. En el cas de l'aigua tractada la vàlvula era no retorn i la canonada passava per la bomba abans d'arribar a l'aixeta, en canvi, en l'aigua corrent la vàlvula era directa i la canonada no sofria cap alteració (Figura 2).



**Figura 2.** Representació gràfica i imatge de la instal·lació.

Les plantes els dos primers mesos van ser disposades en una única bancada en grups de 6 amb una distribució alternada. Els quatre darrers mesos, per falta d'espai, es van disposar en dues bancades en grups de 4-5 amb una distribució alternada (Figura 3).



1-2 mesos

2-6 mesos

**Figura 3.** Representació gràfica de la disposició de les plantes.

En primer lloc es van regar totes les plantes a capacitat camp per tenir així el pes corresponent al contingut d'aigua capaç de retenir el sol. Després es van pesar les plantes i el valor obtingut es va utilitzar com a valor de referència per tal que la planta sempre tingues tota l'aigua que pogués retenir. Abans de regar les plantes, aquestes es van pesar amb una balança i es van regar a capacitat de camp, de tal manera cada planta va ser regada amb la quantitat d'aigua perduda. Es va recalcular el pes a capacitat de camp un parell de cops durant l'experiment, assegurant així que a mesura que la planta creixia aquesta tenia l'aigua necessària disponible.

Les plantes es van regar amb un ordre determinat, primer es van regar totes les plantes control i després totes les plantes amb tractament *Aqua-4D* per evitar així que l'aigua tractada no arribés a les plantes control i alterés l'experiment. Les plantes van ser regades amb una proveta de plàstic amb l'objectiu d'evitar que l'aigua tractada es vegés alterada per els elèctrodes d'un altre material. A més abans del reg amb l'aigua tractada es va deixar uns 5 segons la vàlvula oberta perquè es recicles l'aigua de dintre de la bomba i les canonades.

Les plantes es van regar durant els dos primers mesos dos cops per setmana, Dilluns i Divendres, i durant els quatre últims mesos tres cops per setmana (Dilluns, Dimecres i Divendres). Es va determinar la freqüència de reg depenent de les necessitats de la planta. En alguns casos es va utilitzar solució Hoagland (Hoagland i Arnon, 1950) com a fertilitzant. El fertilitzant es va mesclar amb l'aigua de reg amb una proporció 1:30.

### 3.3 Intercanvi de gasos

Es van prendre mesures de fotosíntesis (AN), transpiració (T) i conductància estomàtica (Gs) un cop cada dues setmanes amb el Li-Cor (LI-6400XT, LI-COR, Lincoln, NE, EEUU). Les mesures es van prendre el dia després de que les plantes van ser regades. Les mesures es feren amb tancada i les condicions de mesura es fixaren en  $1000 \mu\text{mols de fotons m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  i  $400 \mu\text{mol CO}_2 \text{ mol aire}^{-1}$ . Es mesuraren entre 6-8 plantes per tractament.

### 3.4 Creixement, biomassa final i producció

A l'hora de valorar el creixement es van prendre mesures de l'alçada i del nombre de fulles de totes les plantes un cop per setmana. A partir de les dates anteriors es van calcular les taxes respectives (taxa de creixement i taxa de fulles emeses) per setmana i a el llarg dels cinc mesos.

Pel que fa a la biomassa final, es va mesurar el pes fresc i pes sec de les tiges, fulles i arrels de deu plantes per tractament el final de la darrera collita. Per fer el pes sec

es van sotmetre les plantes a condicions de 60°C durant tres setmanes amb l'ajuda d'una estufa.

Respecte a la producció, es van contar el nombre de tomàquets produïts per planta, el nombre de tomàquets madurs per planta un cop per setmana i el pes de la collita per planta. Es van realitzar dues collites, la primera dia 18/03/2016 i la segona dia 08/04/2016.

### **3.5 Consum d'aigua i EUA**

Per valorar el consum d'aigua per planta es van prendre mesures del pes perdut, per fer-ho es va calcular la diferència entre el pes de la planta a capacitat de camp menys el pes de la planta després de que aquesta hagués consumit l'aigua que necessitava. Les mesures es van prendre durant els dos primers mesos dos cops per setmana (Dilluns i Divendres) i durant els quatre últims mesos tres cops per setmana (Dilluns, Dimecres i Divendres).

L'eficiència amb l'ús de l'aigua (EUA) es va determinar a escala foliar i a nivell de planta sencera. L'EUA a nivell foliar es va calcular a dos nivells. En primer lloc l'eficiència de la transpiració (fotosíntesis/transpiració), la qual depèn de la planta i de les condicions ambientals, de manera que un mateix grau d'obertura estomàtica pot traduir-se en una taxa de transpiració molt diferent si la humitat ambiental varia. En segon lloc l'eficiència intrínseca en l'ús de l'aigua (fotosíntesis/conductància estomàtica), la qual es basa en la capacitat del full per regular la fotosíntesi i la conductància estomàtica, i que són independents de les condicions atmosfèriques en el moment de la mesura (Medrano et al., 2007).

D'altra banda tenim l'eficiència en l'ús de l'aigua a nivell de planta sencera, la qual se pot estimar a partir de la biomassa de la planta o de la producció d'aquesta. Per fer-ho s'ha de tenir en compte l'aigua gastada per planta, per tant la manera de calcular-ho es dividint la biomassa de la planta o la producció d'aquesta per l'aigua gastada per la planta (biomassa (g)/aigua gastada (L) o producció (kg)/aigua gastada (L)).

### **3.6 Paràmetres de qualitat**

Per a la classificació d'un tomàquet en categories (Extra, I o II) s'utilitzen una sèrie de paràmetres físics i químics. En primer lloc es van mesurar el paràmetres de pes, diàmetre i alçada de tots els fruits de cada tractament. Després es van decantar 40 fruits a l'atzar de cada tractament dels quals 10 van ser utilitzats per mesurar la duresa, fermesa, pH, acidesa, color i contingut en sucres i els altres 30 van ser utilitzats per determinar el període de dessecació del fruit. Aquest procediment es va realitzar en les dues collites, la primera dia 18/03/2016 i la segona dia 08/04/2016.

### ○ **Duresa de la pell**

La duresa de la pell es va mesurar mitjançant un duròmetre (FT 011). Es van fer dues mesures a cada fruit a la part central de la tomàtiga a una distància mitja entre el capoll i el cul. La metodologia va consistir en incorporar la fruita sobre una superfície dura i introduir-hi el puntal de manera perpendicular a la zona de la mediació, inserint el puntal amb una força uniforme fins a la mosca marcada. Els valors obtinguts estan amb les unitats universals “shores”.

### ○ **Fermesa de la polpa**

La fermesa del fruit es va mesurar mitjançant un penetròmetre. La metodologia duta a terme és igual a la utilitzada amb el duròmetre, sols que en aquest cas abans d'introduir-hi el puntal es va pal·lar un redol de la pell amb un bisturí.

Per a que la lectura que dona el penetròmetre estigues amb les unitats desitjades, és a dir, en  $\text{g/cm}^2$ , es va dividir la lectura (en g) pels  $\text{cm}^2$  que té el puntal. En el nostre cas el puntal era de 6 mm i tenia una superfície de  $0,28 \text{ cm}^2$ .

### ○ **pH**

Es van prendre les mesures de pH mitjançant un pH-metre basic 20+ CRISON. Per extreure el suc es va exprimir el fruit manualment pressionat aquest amb una massa de test a un colador, el suc resultant es va dipositar dintre d'un vas de precipitat. Del suc es va decantar 10ml per mesurar el pH i la resta es va utilitzar per calcular el contingut en sucres.

### ○ **Sòlids solubles (Determinació de l'índex refractomètric)**

Els sucres es van mesurar a partir del mètode basat en la refractometria, determinant així el percentatge de sacarosa del fruit ( $^{\circ}\text{Brix}$ ). En el nostre cas es va utilitzar un refractòmetre de mà model 50301110, el qual presenta una pressió del 0,1% i mesura dins un rang de 0 a 10%. Amés té compensació automàtica de temperatura (CAT), propietat que evita tenir tots els fruits a la mateixa temperatura (Ough i Amerine, 1989).

### ○ **Acidesa titlable**

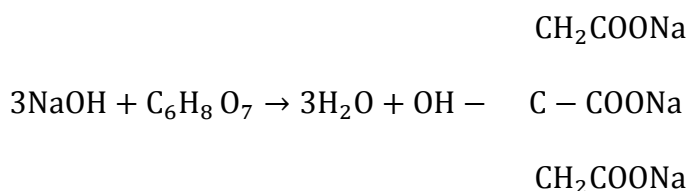
L'acidesa titlable representa els àcids orgànics presents que es troben lliures i es mesura neutralitzant els sucus o extractes de fruits amb una base forta, com a conseqüència el pH augmenta durant la neutralització. L'acidesa titlable es calcula a partir de la quantitat de base necessària per assolir el pH 7.

La metodologia va consistir en pipetejar 10ml de suc de tomàquet i introduir-los en un vas de precipitat juntament amb l'iman. Seguidament es va activar l'agitador magnètic i es va introduir l'elèctrode del pH-metre. Mentrestant s'abocava gota per

gota la base (NaOH 0,1%) mitjançant una bureta fins arribar a un pH de 7. Es va dur a terme aquesta metodologia perquè els indicadors possibles com la fenolftaleïna viren a un color rosa i en el suc de tomàtiga no es distingeix bé.

Mitjançant els següents càlculs podem arribar a deduir la quantitat de grams d'àcid cítric per litre:

La reacció volumètrica que es produeix és:



Com podem veure a la reacció per cada molècula d'àcid cítric hem d'usar tres molècules d'hidròxid de sodi, per tant la relació molar és de 1:3. El pes equivalent del àcid cítric és de 3 eq/mol i el pes molecular es de 192,07 g/mol. L'acidesa total expressada en grams de l'àcid majoritari s'obté a partir dels següents càlculs:

$$N^{\circ} \text{eq NaOH} = N * V = N^{\circ} \text{eq C}_6\text{H}_8\text{O}_7$$

On:

N = Normalitat del Na OH

V = Volum de base gastada en litres

$$\text{eq C}_6\text{H}_8\text{O}_7 * \frac{1 \text{ mol C}_6\text{H}_8\text{O}_7}{3 \text{ eq C}_6\text{H}_8\text{O}_7} * \frac{192,07 \text{ g C}_6\text{H}_8\text{O}_7}{1 \text{ mol C}_6\text{H}_8\text{O}_7} * \frac{100 \text{ ml}}{A \text{ ml}} = g \text{ C}_6\text{H}_8\text{O}_7 / 100 \text{ ml}$$

On:

A = Volum de mostra usada (ml suc de tomàquet).

### ○ Coloració (Colorímetre)

Un colorímetre és qualsevol eina que identifica el color i el matís per a una mesura més objectiva del color, en aquest cas es va utilitzar IDANGGUANG WSD-4'4. L'aparell es dona uns valors pels eixos de cordonades  $L^*$ ,  $a^*$  i  $b^*$

Com es mostra a continuació,  $L^*$  indica la lluminositat i  $a^*$  i  $b^*$  són les coordenades cromàtiques.

$L^*$  = lluminositat (va de 0 (negre) a 100 (blanc))

a \* = coordenades vermell / verd (a indica vermell, -a indica verd)

b \* = coordenades groc / blau (b indica groc, -b indica blau)

L'espai de color  $L^* a^* b^*$  va ser modelat en base a una teoria de color oponent que estableix que dos colors no poden ser vermell i verd al mateix temps o groc i blau al mateix temps.

### ○ Conservació

Per dur a terme la conservació es van utilitzar 30 tomàquets de cada tractament, els quals van ser dividit en tres grups de 10. Es van col·locar els tomàquets dins caixons de plàstic enumerats, amés es va col·locar un paper el fons per evitar que el madurar el fruit el suc no travesses el caixo de més avall. Dins cada caixo es van col·locar 10 tomàquets d'un mateix tractament separats entre si per 5 cm per tal d'evitar la contaminació entre ells. Els caixons es van col·locar de manera alternada en dues files de tres caixons. L'ordre dels caixons es va anar alternant per tal que tots els caixons passessin per les tres posicions possibles (a dalt, entremig i a sota). Els caixons es van emmagatzemar davall d'una porxada tancada amb malla a la zona de l'hivernacle de la UIB.

Un cop per setmana es van revisar els tomàquets, s'anomenaven el nombre de tomàquets podrits i es retiraven. Amés es canviava l'ordre dels caixons.

### ○ Anàlisi sensorial

L'anàlisi sensorial es va realitzar dos cops, dos dies després de agafar els fruits de les plantes i set dies després de agafar els fruits de les plantes. Els tastadors van avaluar el grau de fermesa de la polpa, la duresa de la pell, suculència, gust (acidesa i dolçor) i aroma.

Per poder realitzar una anàlisi sensorial rigorós, ha d'entrenar- apropiadament al panell de tastadors i s'han de definir els paràmetres que es van a avaluar:

- Fermesa de la polpa: la força necessària per trencar la mostra en diversos trossos.
- Duresa de la pell: concepte anàleg a aquest però per a la pell.
- Suculència : quantitat de suc extret del tomàquet durant la seva masticació.
- Gust: sensació que s'obté en la llengua i boca, percebuda per les papil·les gustatives i s'avalua des de dos punts de vista diferent, en primer lloc des del punt de vista purament hedònic: degusta molt, poc o gens i també avaluar-ne la grau d'acidesa sensorial.
- Aroma: sensació olfactiva que es percep del tomàquet i s'avalua des del punt de vista del plaer o disgust obtingut a l'olorar el tomàquet.



L'avaluació a nivell sensorial es va dur a terme per 10 testadors, els quals van valorar atributs esmentats anteriorment. Els tast es va dur a terme sota condicions controlades i sense alteracions externes.

Les puntuacions atorgades pels tastadors van variar des del 1 al 5 en ordre decreixent de l'acceptabilitat de l'atribut pel tastador, de manera que va correspondre el valor 1 als tomàquets més saborosos, més sucosos, més dolços, més fermes i de pell més dura. Pel que fa a l'acidesa es va considerar el valor 1 per als més àcids, encara que l'acidesa té una acceptabilitat diferent per a cada tastador o consumidor.

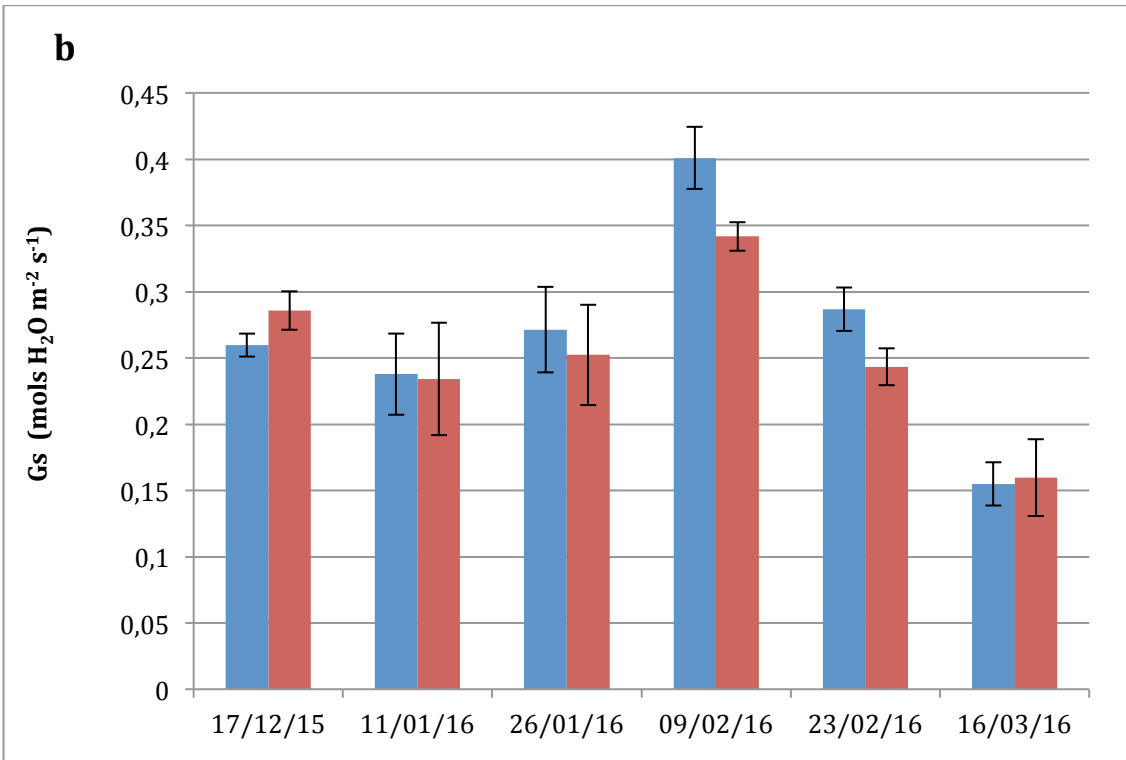
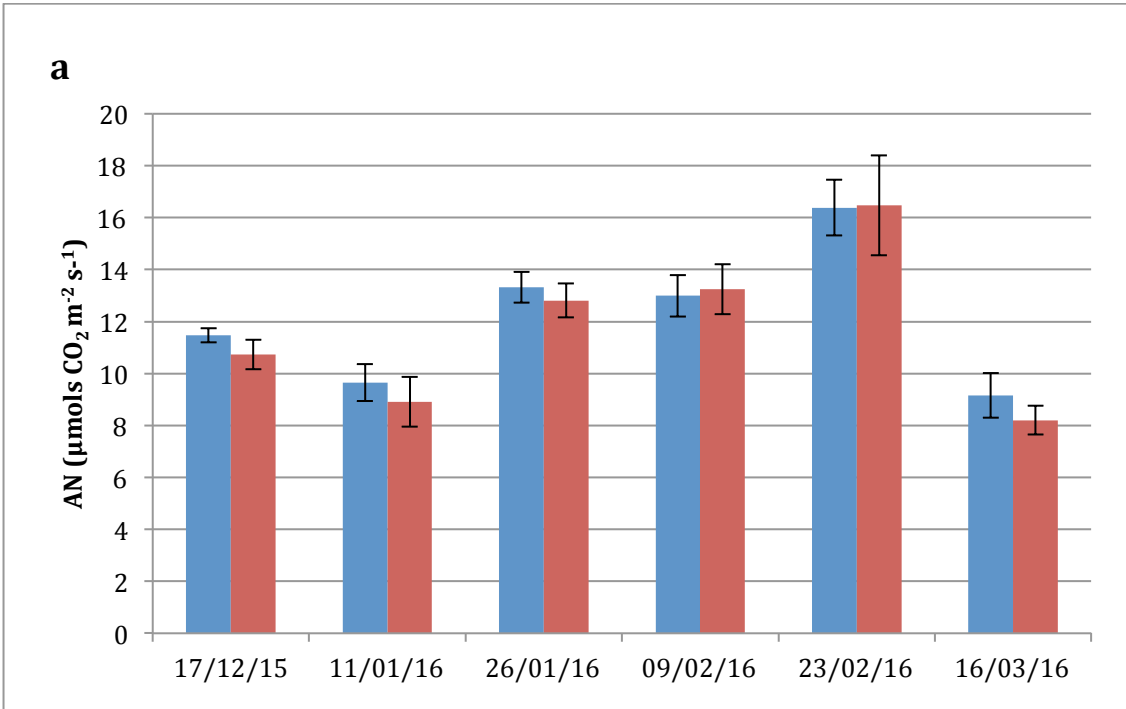
### 3.7 Anàlisi estadístic

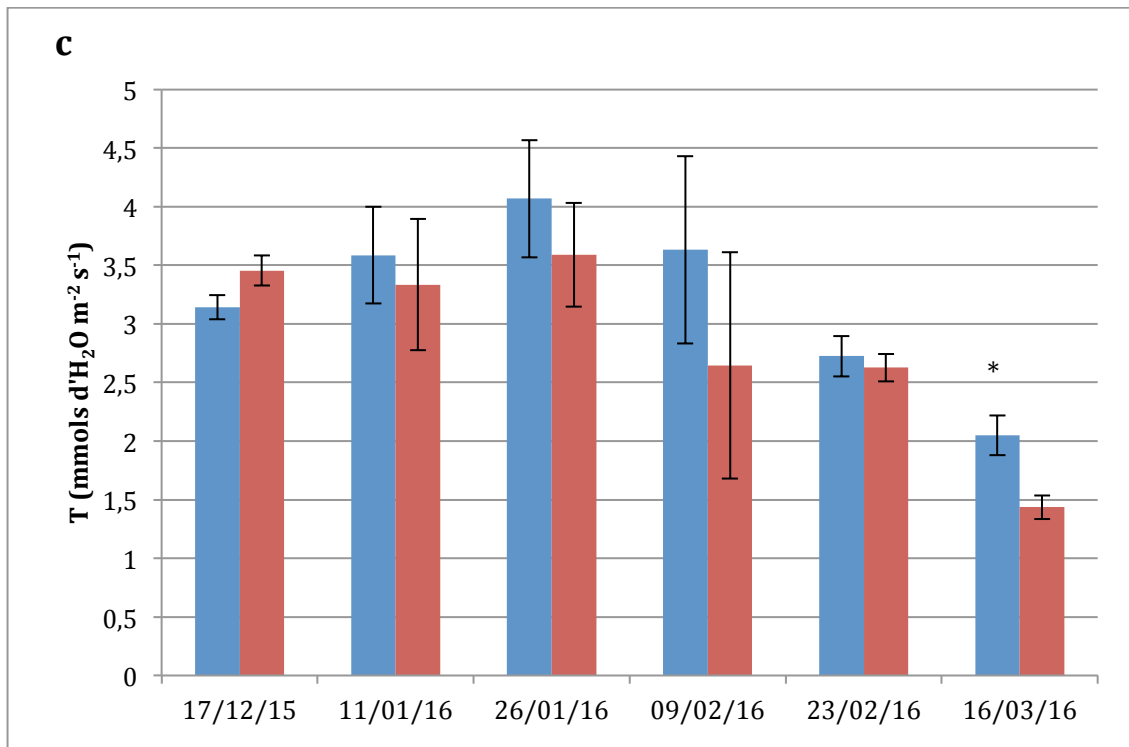
Pel que fa al anàlisi estadístic es va fer un model lineal generalitzat amb distribució binomial per comparar el nombre de tomàquets madurs. Per comparar el nombre de tomàquets produïts es va fer un model lineal generalitzat amb distribució poisson. Finalment es va fer un T-test per comparar la taxa de creixement, la taxa de fulles emeses, el consum d'aigua, l'intercanvi de gasos, l'eficiència en l'ús de l'aigua i els paràmetres de qualitat.

## 4. RESULTATS

### 4.1 Intercanvi de gasos

Pel que fa a la fotosíntesis no hi va haver diferències significatives entre tractaments, no obstant les plantes amb tractament *Aqua-4D* presentaren un valor mitjà 2,3 % superior a les plantes control (Figura 4a). Coincidint amb l'anterior, en el cas de la conductància estomàtica tampoc es van registrar diferències significatives entre tractaments (Figura 4b) tot i així, les plantes amb tractament *Aqua-4D* presentaren un valor mitjà 6,48% superior a les plantes control. Finalment, pel que fa a la transpiració sols es van trobar diferències significatives entre tractaments en les mesures preses el 16/03/16 (Figura 4c). Tot i així, a pesar del anàlisi estadístic les plantes tractades amb *Aqua-4D* presentaren un valor mitjà 11,16% superior a les plantes control.



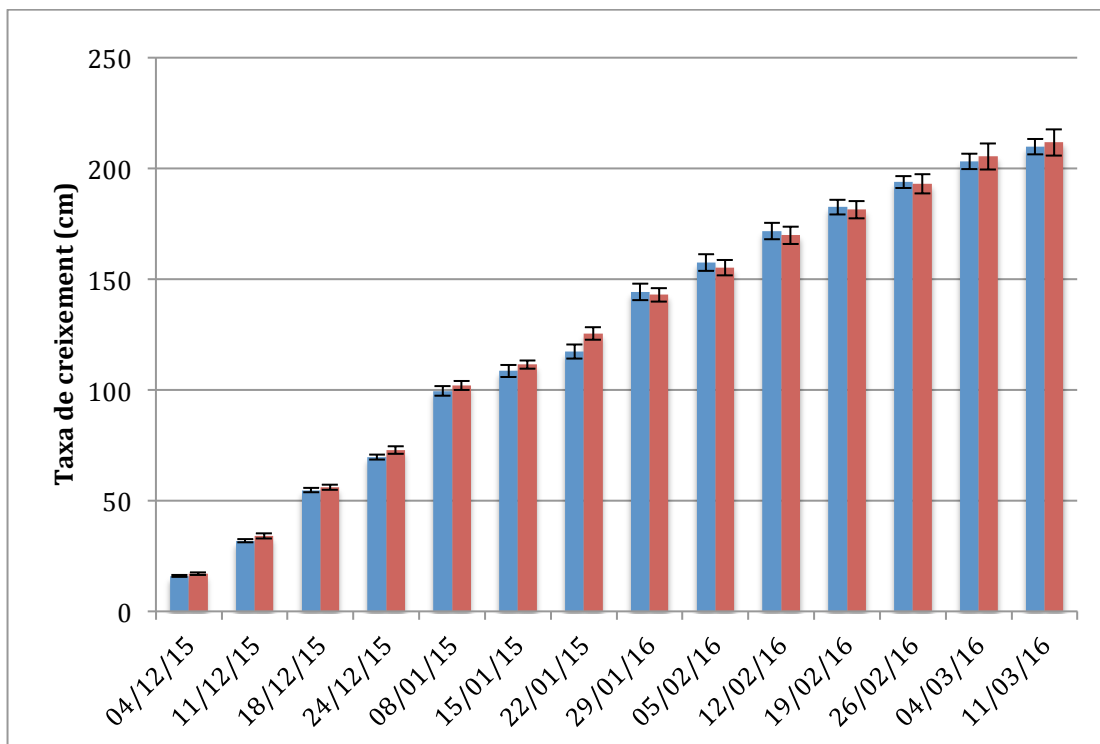


**Figura 4.** Valors de fotosíntesis (a), conductància estomàtica (b) i transpiració (c) en ambdós tractaments; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 6-8 plantes per tractament. Les mesures es van agafar un cop per setmana. Els asteriscs (\*) impliquen diferències significatives entre ambdós tractaments ( $p$ -valor $<0,05$ ).

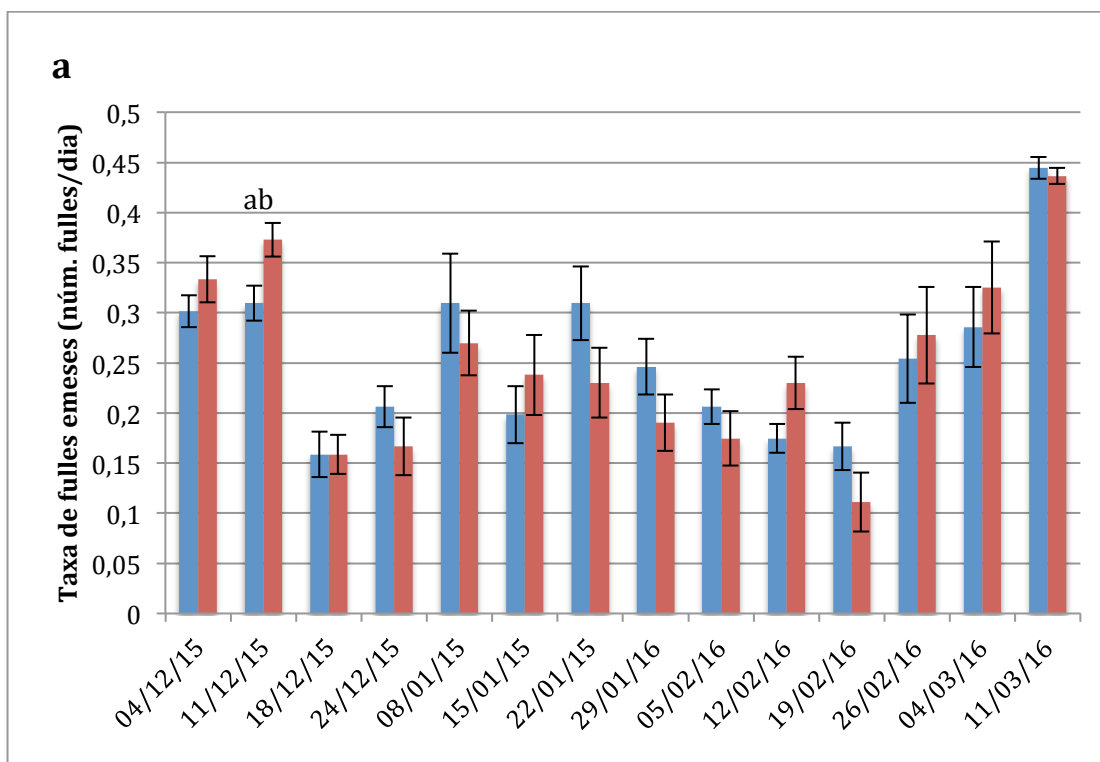
## 4.2 Creixement, biomassa final i producció

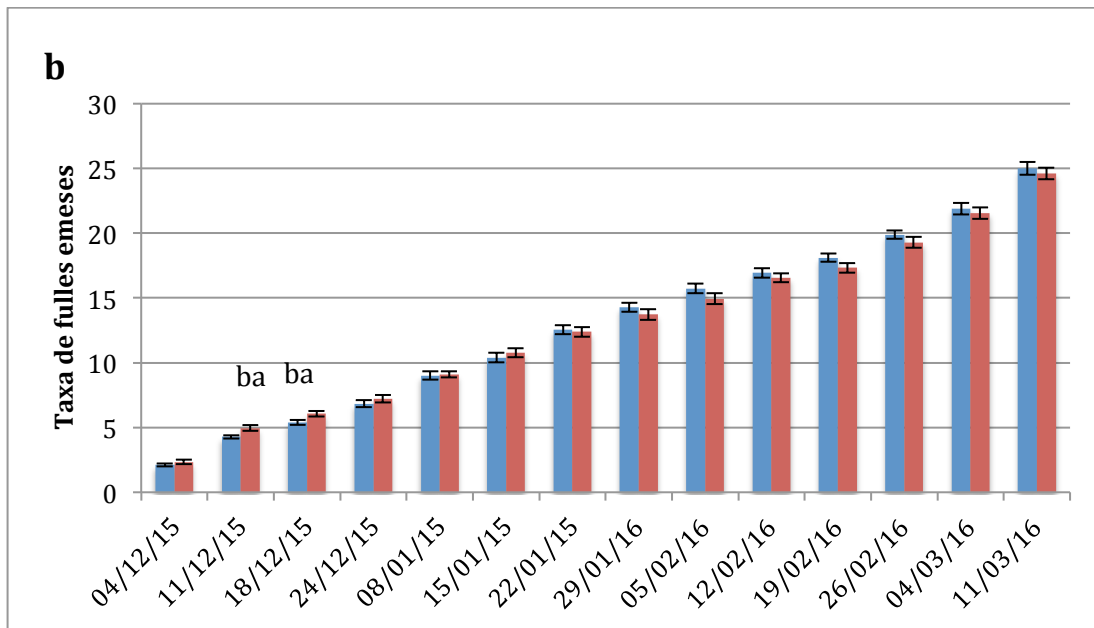
### ○ Creixement i biomassa final

Pel que fa a la taxa de creixement per setmanes i el llarg dels cinc mesos no hi va haver diferències significatives entre tractaments (Figura 5; Taula 2). No obstant, en el cas de la taxa de creixement el llarg dels cinc mesos les plantes no tractades presentaven un valor mitjà 6,8% superior a les tractades (Taula 2). Respecte la taxa de fulles emeses per dia no hi va haver diferències significatives entre tractaments excepte els dies pertinents a la setmana 11/12/2015 (Figura 6a). Finalment, pel que fa a la taxa de fulles emeses per setmana i el llarg dels cinc mesos tampoc hi va haver diferències significatives entre tractaments excepte les setmanes del 11/12/2015 i 18/12/2015 (Figura 6b). Malgrat l'esmentat anteriorment, en el cas de la taxa de fulles emeses el llarg dels cinc mesos les plantes tractades presenten un valor mitjà 11,5% superior a les no tractades (Taula 2).



**Figura 5.** Taxa de creixement acumulat per setmana en ambdós tractaments; *Aqua4-D* (blau) i control (vermell). Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 18 plates per tractament.





**Figura 6.** Taxa de fulles emeses per dia (a) i taxa de fulles emeses acumulat per setmana (b) en ambdós tractaments; *Aqua4-D* (blau) i control (vermell). Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 18 plates per tractament. Les lletres diferents impliquen diferències significatives entre tractaments ( $p$ -valor $<$ 0,05).

Els resultats obtinguts al final de l'experiment mostraren que en tots els paràmetres no existien diferències significatives entre ambdós tractaments excepte en la biomassa de l'arrel. Malgrat tot, encara que no fos significatiu, les plantes tractades presentaren valors superiors a les no tractades en tots els paràmetres excepte la taxa de creixement i biomassa de l'arrel (Taula 2).

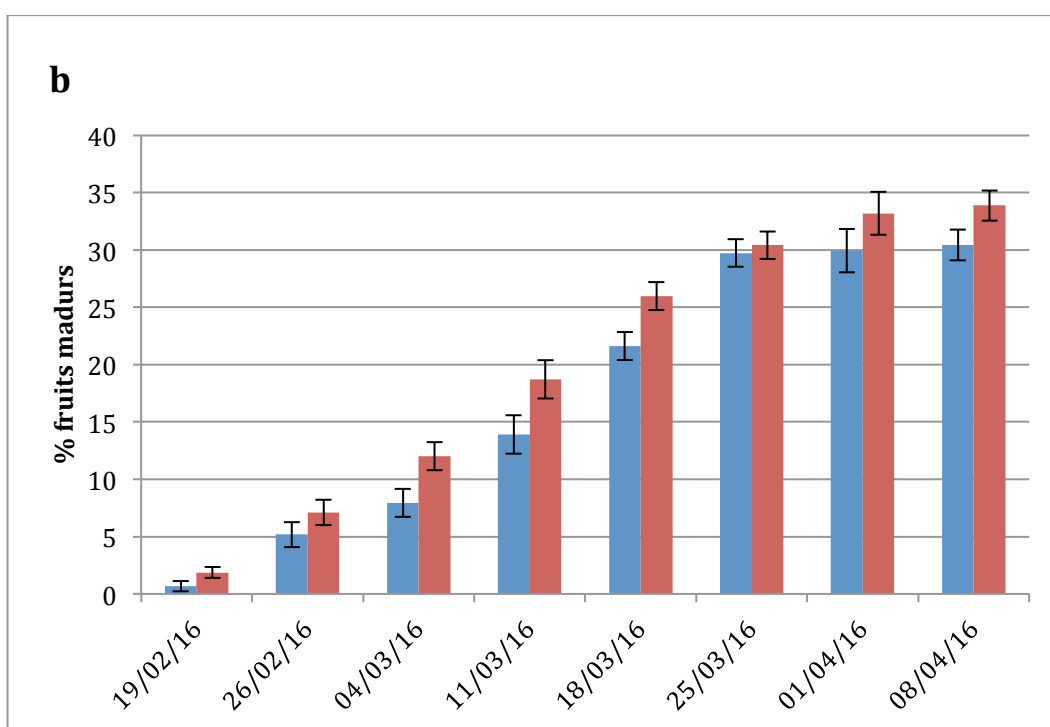
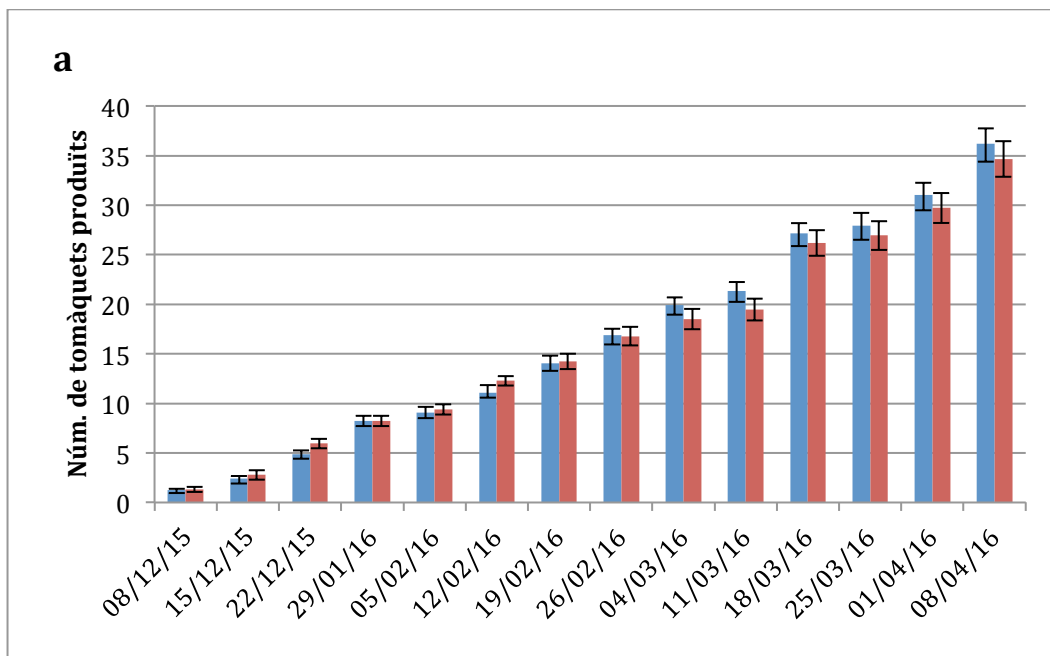
**Taula 2.** Mitjanes dels valors de la taxa de creixement, taxa de fulles emeses i biomassa de les diferents parts de la planta mesurats al final de l'experiment. Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 10 plantes per tractament.

	Taxa de creixement (cm)	Taxa de fulles emeses	Biomassa tija (g)	Biomassa fulles (g)	Biomassa arrel (g)	Biomassa total (g)
<b>Aqua-4D</b>	198,79 $\pm$ 7,131	21,7 $\pm$ 1,335	0,051 $\pm$ 0,001	0,086 $\pm$ 0,007	0,021 $\pm$ 0,001	0,159 $\pm$ 0,007
<b>Control</b>	213,32 $\pm$ 13,229	19,2 $\pm$ 1,333	0,049 $\pm$ 0,01	0,082 $\pm$ 0,003	0,022 $\pm$ 0,001	0,154 $\pm$ 0,004
<b>p-valor</b>	0,186	0,149	0,28	1	0,029	0,577

### ○ Producció

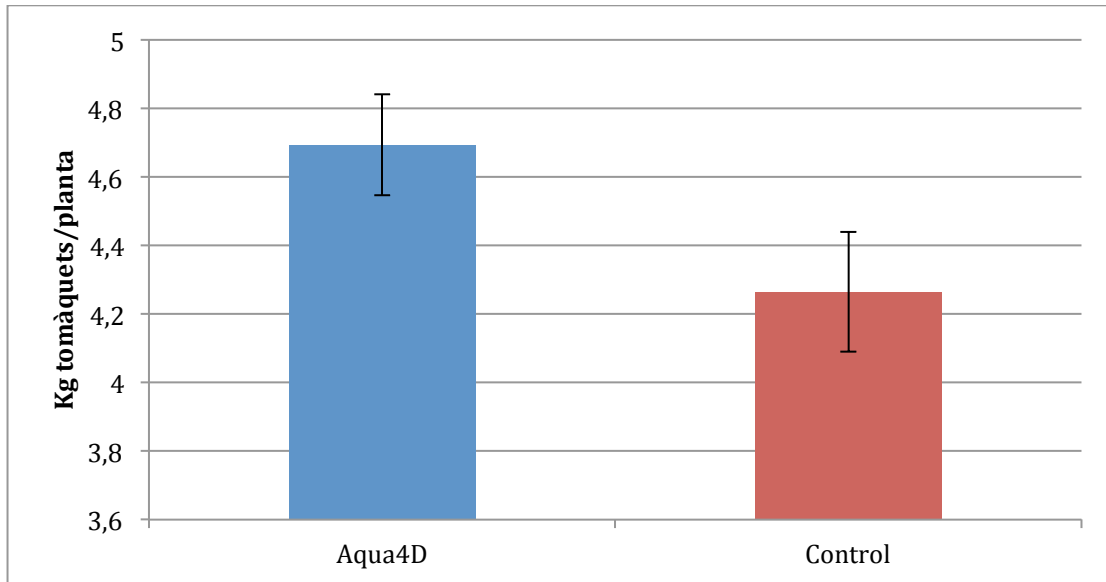
Pel que fa el nombre de tomàquets produïts, no es van apreciar diferències entre tractaments, tot i així les plantes tractades al final de l'estudi van presentà un valor

mitjà 4,14% superiors que les plantes no tractades (Figura 7a). Respecte el percentatge de tomàquets madurs tampoc hi va haver diferències entre tractaments. Malgrat l'anterior, al final de l'estudi es van anotar un valor mitjà 10,2 % superior a les plantes control envers a les plantes tractades (Figura 7b).



**Figura 7.** Núm. mitjà de tomàquets produïts (a) i percentatge mitjà de fruits madurs (b) en ambdós tractaments; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 18 plantes per tractament. Les mesures es van agafar un cop per setmana.

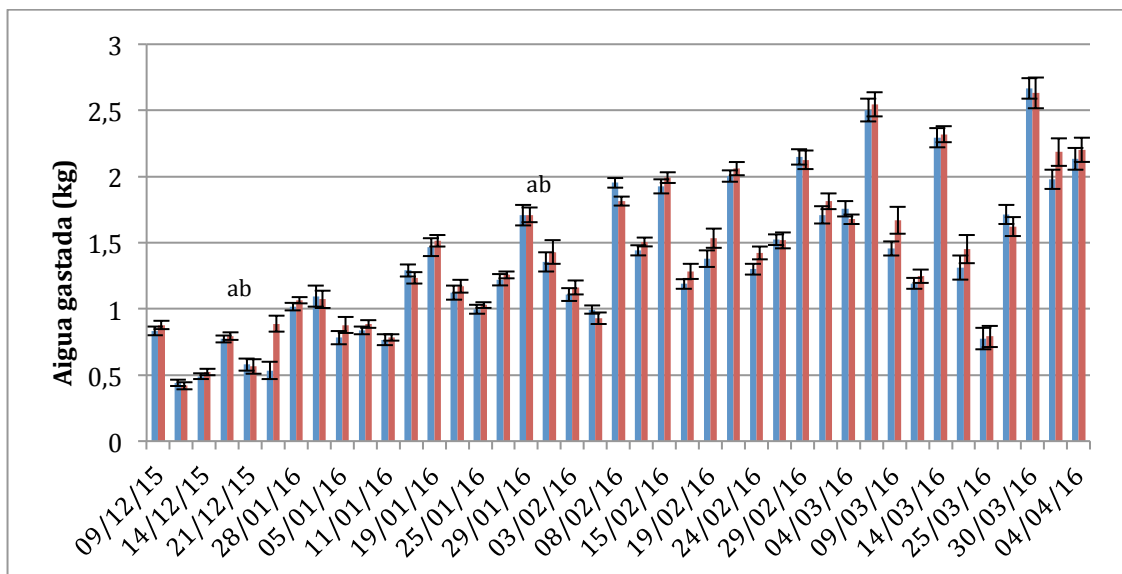
Pel que fa a la producció total per planta, no es van observar diferències significatives entre tractaments. Malgrat això, les plantes no tractades presentaren un valor mitjà 9,16% superior a les plantes no tractades: 4,69 kg/planta en el cas de l'aigua tractada vs 4,26 kg/planta en el cas de l'aigua no tractada (Figura 8).



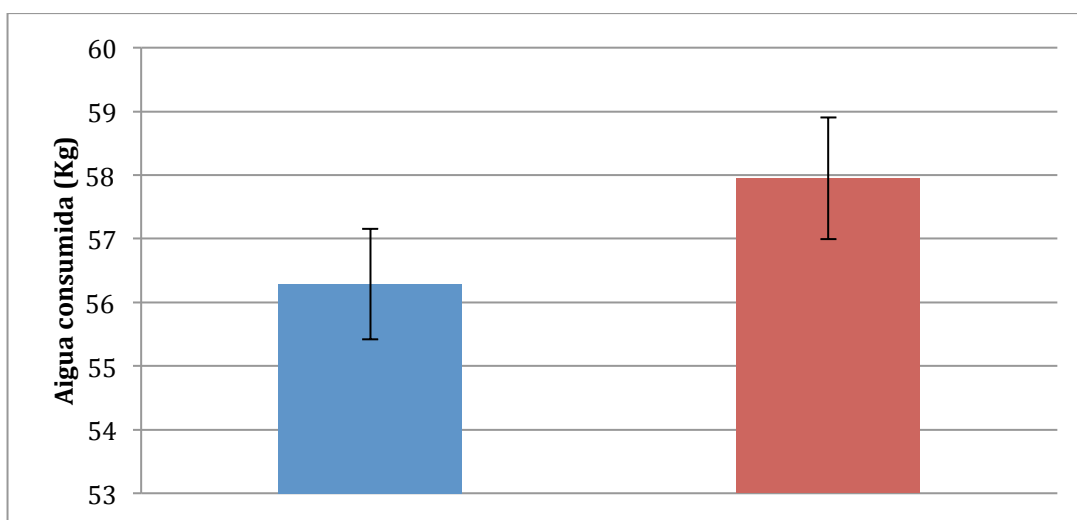
**Figura 8** Mitjana dels Kg de tomàquets produïts per planta en ambdós tractaments; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 18 plantes per tractament. Les mesures es van agafar el final de l'experiment.

### 4.3 Aigua consumida

Els valors obtinguts mostren que no hi ha diferències significatives entre tractament excepte els dies 24/12/15 i 08/02/16, en els quals hi havia diferències significatives entre tractaments (Figura 9). Tot i que no hi hagué diferències significatives en els dies mesurats, les plantes tractades van gastar un 2,86% menys d'aigua total que les plantes control (Figura 10).



**Figura 9.** Consum mitjà d'aigua en Kg en ambdós tractaments; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Les mesures es van agafar tres cops per setmana. Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 18 plates per tractament. Les lletres diferents impliquen diferències significatives entre tractaments ( $p$ -valor $<0,05$ )



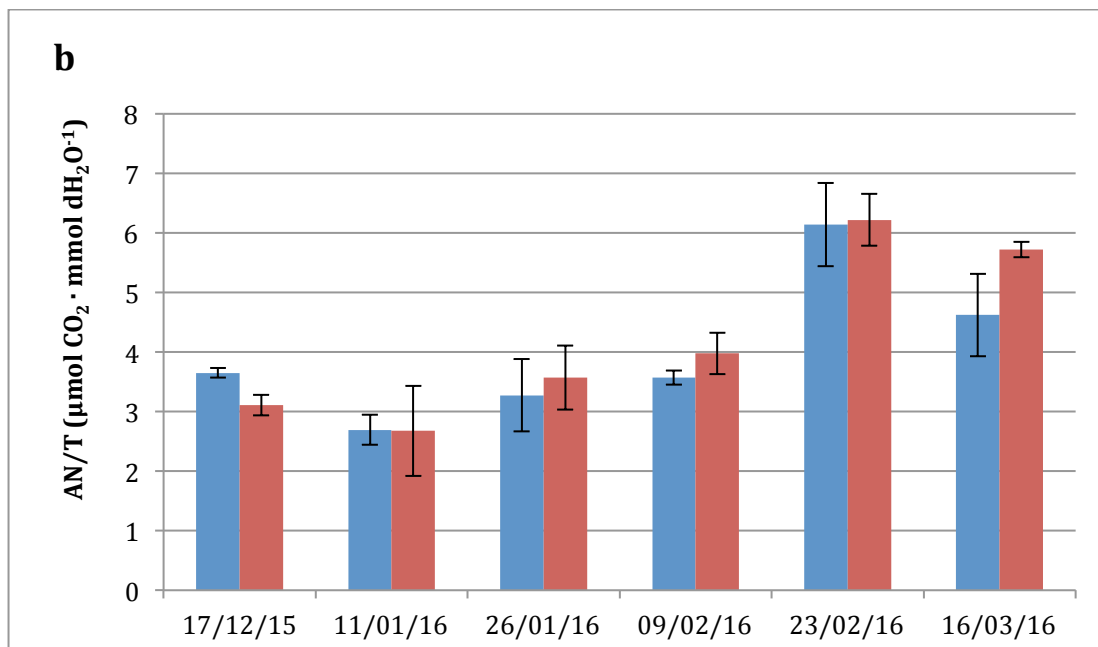
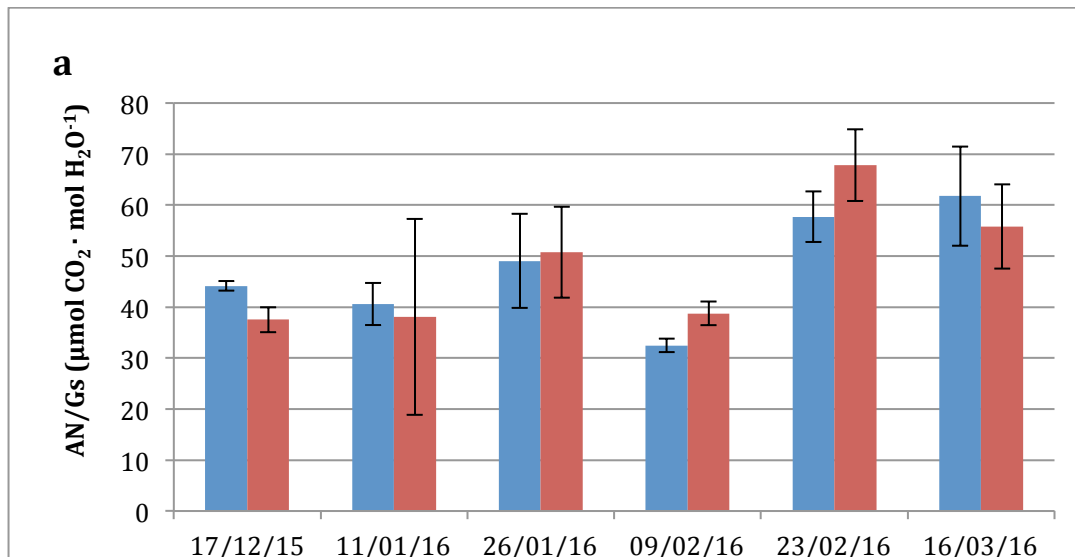
**Figura 10.** Consum total d'aigua en Kg en ambdós tractaments; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 18 plates per tractament.

#### 4.4 Eficiència amb l'ús de l'aigua (EUA)

##### ○ A nivell foliar

En ambdós casos no hi va haver diferències significatives entre tractaments, no obstant les plantes no tractades presentaren valors mitjans superiors a les plantes tractades, 1'05% superior en el cas de AN/Gs i 5,23% superior en el cas de AN/T (Figura 11).

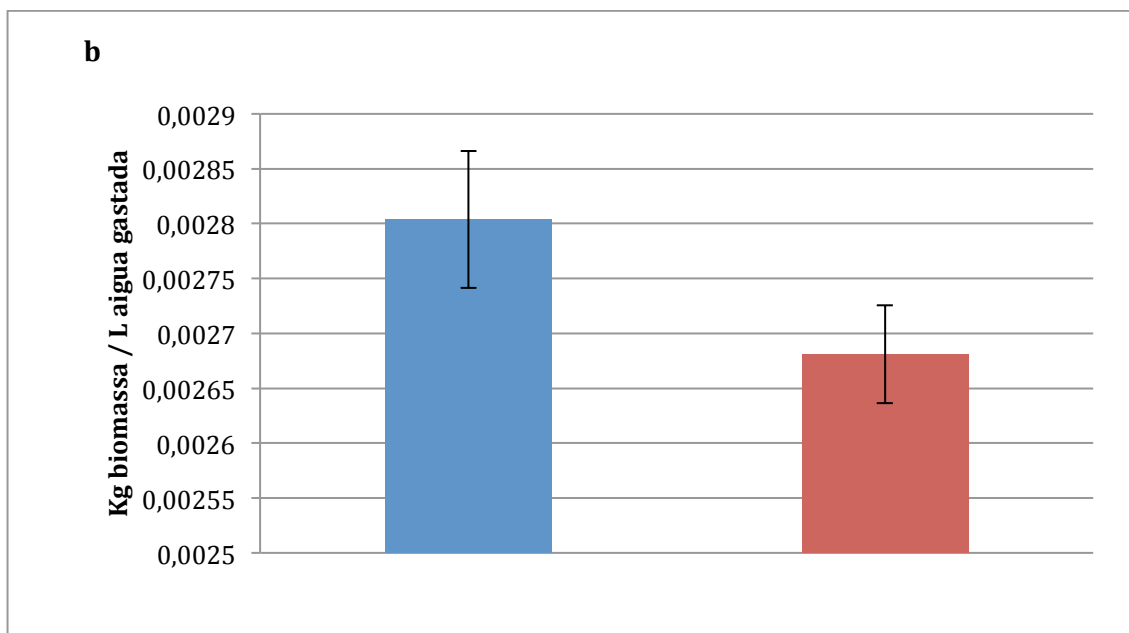
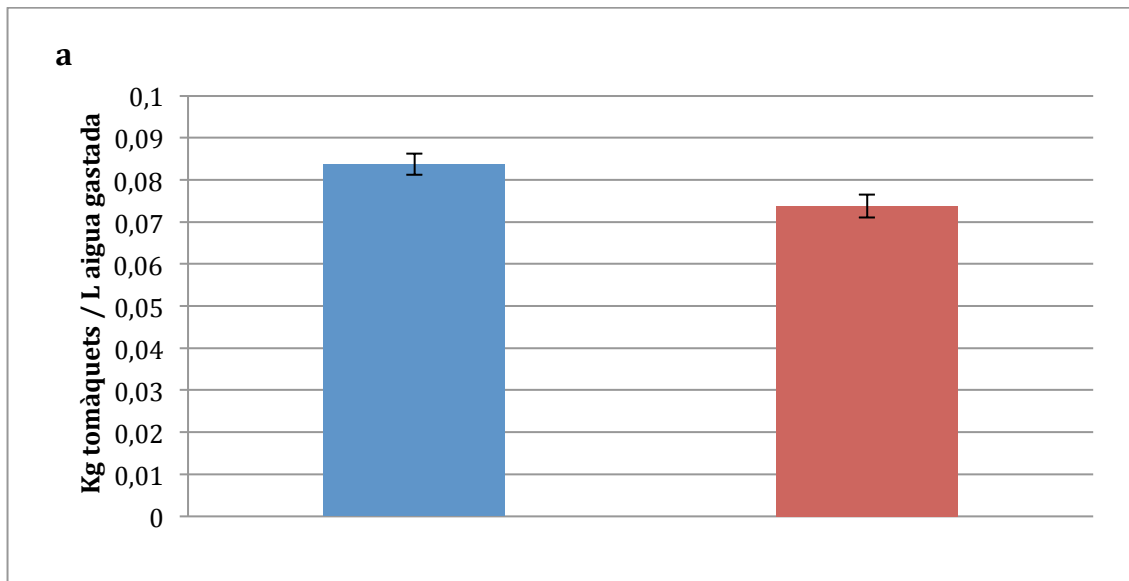




**Figura 11.** Avaluació de la eficiència de l'ús de l'aigua ("AN/Gs" (a) i "AN/T" (b)) en ambdós tractaments; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 6-8 plantes per tastament. Les mesures van ser agafades un cop per setmana.

#### ○ A nivell de planta sencera

En ambdós casos no hi va haver diferències significatives entre tractaments, malgrat les plantes no tractades presentaren uns valors mitjans lleugerament superiors que les tractades (Figura 12). En el cas de kg tomàquets/litres aigua gastada les plantes tractades van presentar un valor 11'81% superior a les no tractades (Figura 12a) i en el cas de kg biomassa/litres aigua gastada les plantes tractades van presentar un valor 4,38% superior a les no tractades (Figura 12b).



**Figura 12.** Avaluació de la eficiència de l'ús de l'aigua ("Kg biomassa/litres aigua gastada" (a) i "kg tomàquets/litres aigua gastada" (b)) en ambdós tractaments; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Les mesures van ser preses el final de l'experiment. Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 18 plantes per tastament.

## 4.5 Qualitat

### ○ Paràmetres de qualitat del fruit

Per tal de valorar les dimensions dels fruits es van prendre mesures de pes, alçada i diàmetre el final de cada collita. En tots els paràmetres els fruits de plantes regades amb aigua tractada van presentar valors superiors als procedents de

plantes regades amb aigua no tractada, no obstant sols en el cas del diàmetre les diferències entre tractaments foren significatives (Taula 3).

**Taula 3.** Mitjanes dels paràmetres presos en els fruits un cop agafades les collites. Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 18 plantes per tastament. Les lletres diferents impliquen diferències significatives entre ambdós tractaments (p-valor<0,05).

	<b>Pes (Kg)</b>	<b>Alçada (cm)</b>	<b>Diàmetre (cm)</b>
<b>Aqua-4D</b>	0,132 $\pm$ 0,004	4,876 $\pm$ 0,151	6,21 $\pm$ 0,102 a
<b>Control</b>	0,127 $\pm$ 0,008	4,738 $\pm$ 0,082	5,875 $\pm$ 0,081b
<b>p-valor</b>	0,563	0,292	0,03

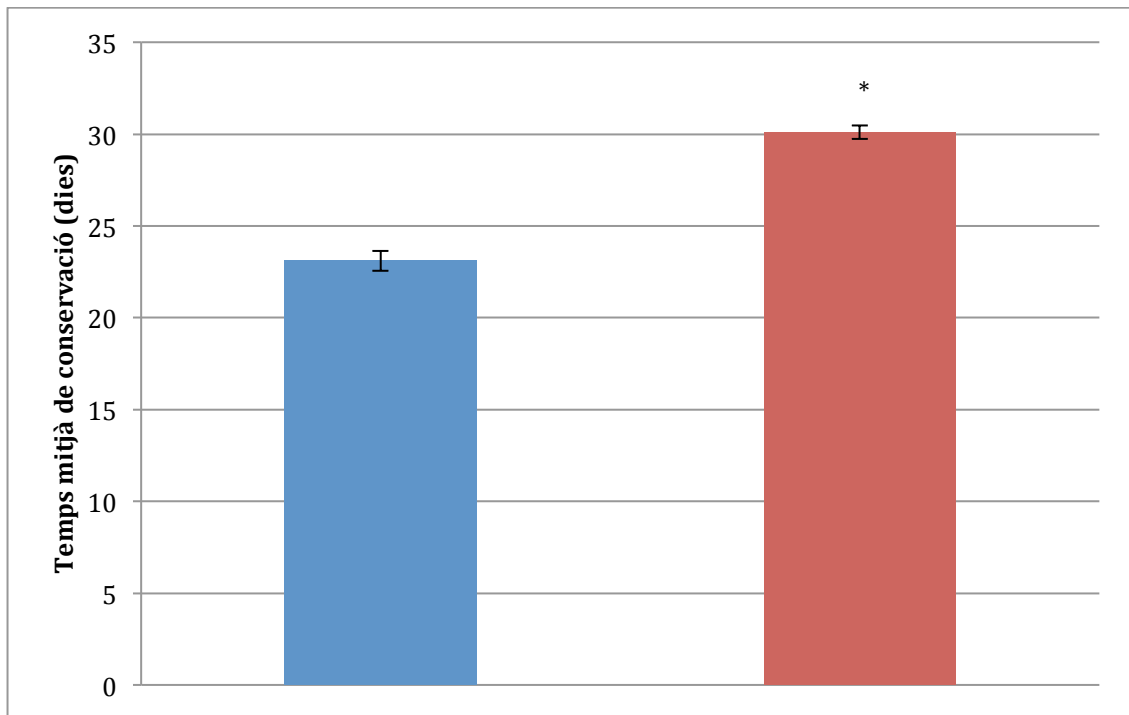
Pel que fa els altres paràmetres en tots els casos excepte el pH i el paràmetre de color a\*, les plates tractades van presentar valors superiors a les plantes no tractades. No obstant, sols en els casos de duresa, fermesa, acidesa titurable i L\* les diferències van ser significatives entre tractaments (Taula 4). La major acidesa no es va correlacionar amb un menor contingut de sòlids solubles.

**Taula 4.** Mitjana de diferents paràmetres de qualitat en ambdós tractaments. Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 10 tomàquets per tractament. Les mesures es varen agafar el final de cada collita, els valors representats a la taula són la mitjana de les dues collites. Les lletres diferents impliquen diferències significatives entre ambdós tractaments (p-valor<0,05).

	<b>Fermesa (kg/cm2)</b>	<b>Duresa (shores)</b>	<b>Sòlids solubles (°Brix)</b>	<b>pH</b>	<b>Acidesa tituable (g ac. cítric/100ml)</b>	<b>L*</b>	<b>a*</b>	<b>b*</b>
<b>Aqua-4D</b>	1,104 $\pm$ 0,056 a	53,612 $\pm$ 1,559 a	4,58 $\pm$ 0,093	4,178 $\pm$ 0,036	0,067 $\pm$ 0,004a	36,996 $\pm$ 0,439 a	30,852 $\pm$ 0,551	17,601 $\pm$ 0,39
<b>Control</b>	0,793 $\pm$ 0,046 b	41,577 $\pm$ 0,963 b	4,25 $\pm$ 0,166	4,248 $\pm$ 0,023	0,048 $\pm$ 0,001 b	35,497 $\pm$ 0,305b	32,03 $\pm$ 0,61	17,355 $\pm$ 0,495
<b>p-valor</b>	< 0,001	< 0,001	0,103	0,104	0,002	0,013	0,169	0,393

#### o Durabilitat fruit

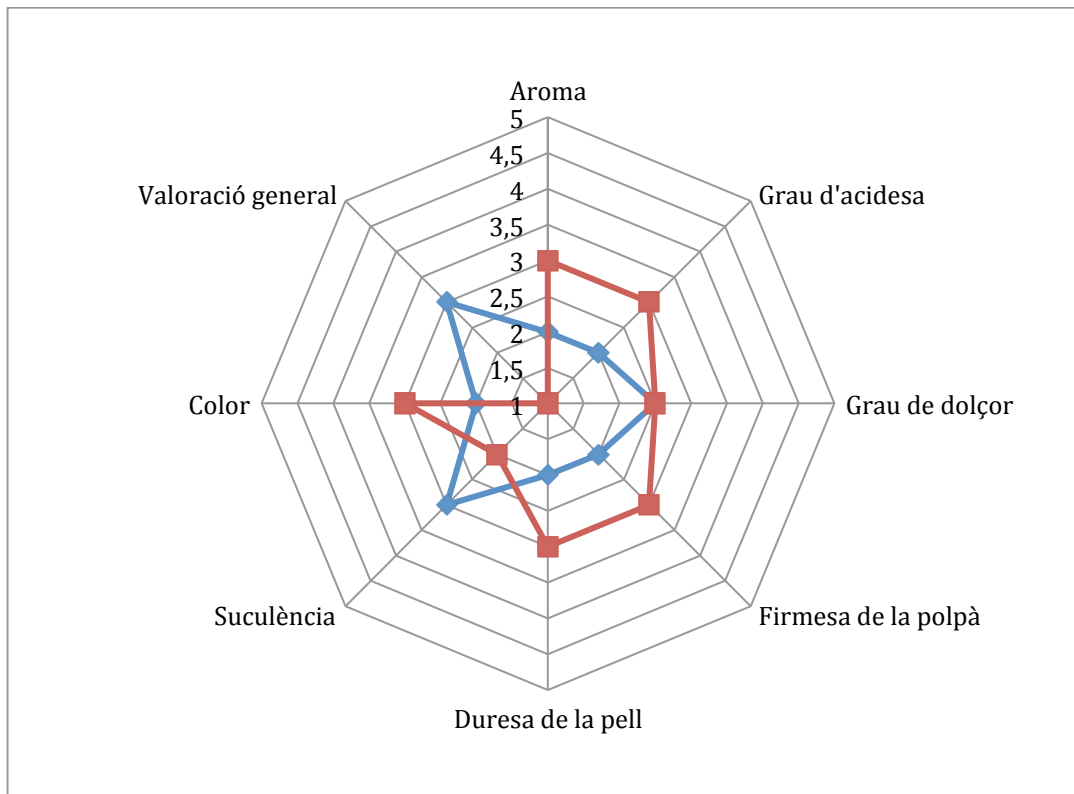
Les plantes no tractades presentaren un temps mitjà de conservació 22,5% superior a les plantes tractades; 30,1 dies en plantes no tractades vs 23,1 dies en plantes tractades (Figura 13). D'acord el anàlisi estadístic les diferències entre tractament foren significatives (p-valor de 0,003).



**Figura 13.** Temps mitjà de conservació en dies en ambdós tractaments; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Els valors són la mitjana  $\pm$  error estàndard de 30 tomàquets per tastament. L'asterisc (\*) impliquen diferències significatives entre tractaments ( $p$ -valor $<0,05$ ).

#### ○ Anàlisi sensorial

Pel que fa a l'acceptabilitat (valoració general), aroma i suculència, les valoracions va ser més òptimes en els tomàquets no tractats que en els tractats. En el cas del color les valoracions va ser més òptimes en els fruits tractats, tot i que, els tomàquets no tractats presentaren valoracions adequades. Respecte a la fermesa de la polpa i duresa de la pell, les valoracions foren més òptimes en els tomàquets tractats, cosa que va coincidir amb els resultats químics. Pel que fa a l'acidesa, els tomàquets no tractats presentaren una valoració més òptima, de fet els testadors van valorar que els tomàquets tractats tenien un accés d'acidesa. Finalment pel que fa a la dolçor és igual a ambdós tractaments, cosa que també coincideix amb els resultats químics.



**Figura 12.** Paràmetres avaluats per valorar la qualitat dels fruits; *Aqua-4D* (blau) i control (vermell). Els resultats van ser avaluats en cinc punts que van del 1 al 5, seguint les explicacions donades a la metodologia.

## 5. DISCUSSIÓ

En la majoria dels paràmetres estudiats no s'han trobat diferències significatives entre tractaments. Els resultats d'intercanvi de gasos mostraren assimilacions de carboni similars per ambdós tractaments, el que es reflectí en taxes de creixement similars i absència de diferències en la producció de biomassa final per planta (sense fruit). L'anterior no concorda amb l'estudi dut a terme per Esitken i Turan (2004), en el qual es mostren evidències en que el camp magnètic afecten positivament al creixement de les tomaqueres i fregaries. A l'anterior s'hi suma l'estudi dut a terme per Selim i El-Nady (2011), en el qual es va estudiar com efecte els camps magnètics sobre l'eficiència amb l'ús de l'aigua i el creixement en tomaqueres sota condicions de hivernacle. Per dur-ho a terme les plantes d'ambdós tractaments van ser sotmeses a quatre nivells de capacitat de camp (100% (control) 80%, 60% i 40%), on es va reportar un augment significatiu en l'altura, pes fresc i pes sec dels diferents òrgans en les plantes tractades respecte a les no tractades. Els efectes positius van ser més destacats en els nivells de capacitats de camp de 60% i 40%. Aquest estudi suggereix que els efectes dels tractaments magnètics actuen com a factors de protecció contra el dèficit d'aigua. L'estudi anterior remarca la importància que té el dèficit d'aigua sobre l'actuació

de l'aigua magnètica, tant que ha major dèficit d'aigua els resultats són més representatius. En el present estudi no s'ha valorat l'efecte de l'aigua magnetitzada en condicions de sequera, però en condicions òptimes de reg, els resultats d'EUA tant a nivell de fulla com a nivell de planta no mostren un efecte positiu significatiu del reg amb aigua *Aqua-4D*. La manca de diferències entre tractament respecte la eficiència en l'ús d'aigua era d'esperar ja que tampoc hi ha hagut diferències en l'intercanvi de gasos, biomassa i productivitat. No obstant, l'estudi d'aquest paràmetre en condicions de dèficit hídric es un camp a explorar.

En el cas de la producció es va observar que malgrat les plantes tractades produeixen un major nombre de tomàquets el nombre de madurs és menor, cosa que implica que els tomàquets de plantes tractades presenten una maduració més tardana. Una de les explicacions seria a que malgrat i que les diferències entre tractament no son significatives, les plantes tractades presenten una taxa de creixement menor a les no tractades i per tant aquestes darreres inicien la maduració del fruit més prest. Per altre banda també es podria relacionar amb els paràmetres de qualitat, ja que les plantes tractades presenten uns fruits en major acidesa titrable, duresa i ferma. Al ser uns fruits amb una major duresa i ferma fa pensar que els processos de maduració han sigut sensiblement diferents.

Respecte el consum de l'aigua, els resultats tampoc coincideixen amb els que ens ofereix l'empresa "Aqua-4D Water Solutions SA". Segons les dades publicades en la pagina web de l'empresa anterior les plantes amb tractament amb *Aqua-4D* consumeixen entre un 20-30% menys d'aigua. En aquest estudi no hi ha hagut diferències significatives entre tractaments, a més la diferència és de 2,33% superior en les plantes tractades envers a les no tractades (Aqua4D-Water Solutions SA, 2016).

Pel que fa els paràmetres de qualitat s'han obtingut diferències significatives en tots els paràmetres excepte pH, sucres i el paràmetres de color  $a^*$  i  $b^*$ . L'anterior pot a ser degut a que les plantes tractades capten millor els nutrients disponibles els sòl, cosa que es veu repercutida el fruit. L'esmentat prèviament concorda amb els resultats de Hachicha (2016) en els cultius de blat de moro. Respecte a l'efecte del tractament *Aqua-4D* sobre paràmetres de qualitat no ha estat massa estudiat amb anterioritat, sols tenim l'estudi dut a terme per Marei et al. (2014) on es mostrà un efecte positiu dels camps magnètics sobre el pes del fruit, fotosíntesis i durabilitat en cultius de cogombre. Concretament la durabilitat dels cogombres tractats fou una setmana més que els no tractats. Els següents paràmetres també van ser estudiats en aquest estudi, no obstant les diferències entre tractaments no van ser significatives excepte la durabilitat, tot i que en aquest estudi el resultat ha estat invers. Caldria esperar que els fruits tractats presentessin un temps mitjà de conservació major els no tractats degut a que tenen una major ferma de la polpa i una major duresa de la pell. No obstant, els resultats obtinguts no concorden amb

el mencionat anteriorment, el que fa pensar que hi ha altres factors que fan que els fruits tractants es podreixin més ràpidament.

En general destaca la falta de coincidència amb resultats d'estudis previs. En aquest sentit s'ha de tenir en compte que al present estudis les plantes creixeren en condicions controlades en cossiòl i sense cap limitació ni d'aigua ni de nutrients. Les petites diferències trobades (encara que no significatives) posen de manifest l'interès d'estudiar l'efecte d'aquest tractament de l'aigua en condicions de camp i més desfavorables (sequera, p.e.).

Malgrat tot, un resultat que es presenta aquí per primer cop és la valoració per part del consumidor. En aquest sentit els tomàquets no tractats han presentat una valoració final més òptima que els tomàquets tractats, a pesar que la valoració dels paràmetres de manera individual ha estat més òptima en els tomàquets tractats. Això pot a ser degut a que els tastadors han valorat més positivament els paràmetres de suculència i sabor respecte els altres. Amés l'excés d'acidesa actua alterant el sabor i per tant disminuint la valoració final.

## 6.CONCLUSIONS

1. Malgrat les plantes tractades amb *Aqua-4D* presenten valors superiors en els paràmetres de creixement, intercanvi de gasos i biomassa respecte a les no tractades, les diferències no són estadísticament significatives.
2. Les plantes tractades amb *Aqua-4D* no presenten valors significativament superiors de producció a les no tractades. No obstant, les plantes tractades presenten una maduració dels fruits més tardana que les plantes no tractades.
3. Les plates tractades amb *Aqua-4D* presenten valors significativament més alts en l'eficiència en l'ús de l'aigua que les plantes control.
4. Quant a qualitat del fruit, els tomàquets tractats en *Aqua-4D* tenen acidesa, ferma i duresa superiors els tomàquets no tractats.
5. Pel que fa al tast, els tomàquets no tractats són més apreciats, amb una valoració final més òptima que la dels tomàquets tractats.
6. Els fruits no tractats presenten un temps mitjà de conservació major que els fruits tractats.

## **7. AGRAÏMENTS**

Aquest Treball de Fi de Máster ha estat possible gràcies a l'ajuda i suport de l'equip de Fisiologia Vegetal del Departament de Biologia de la UIB, especialment a Josefina Bota Salort, Hipólito Medrano Vicens, Esther Hernández Montes i Hanan El aou-ouad.



## 8. REFERÈNCIES

- Aqua4D-Water Solutions SA. (2016). AQUA4D IRRIGATION. Technopole 5, 3960 Sierre, Suïça. <https://www.aqua4d-irrigation.com>
- Bacon, M. (Ed.). (2009). *Water use efficiency in plant biology*. John Wiley & Sons.
- Bai, Y., & Lindhout, P. (2007). Domestication and breeding of tomatoes: what have we gained and what can we gain in the future?. *Annals of botany*, 100(5), 1085-1094.
- Bates, B., Kundzewicz, Z. W., Wu, S., Palutikof, J., Lozán, J. L., Grassl, H., ... & Sala, O. E. (2008). *El cambio climático y el agua* (No. 363.73874 C175ci). PNUMA, Ginebra (Suïça). Organización Meteorológica Mundial, Ginebra (Suïça).
- Bernacchi, C. J., & VanLoocke, A. (2015). Terrestrial ecosystems in a changing environment: a dominant role for water. *Annual review of plant biology*, 66, 599-622.
- Cantwell, M. (2006). Report to the California tomato commission tomato variety trials: Postharvest evaluation for 2005. *UCCE Fresh market tomato statewide report. California, USA*, 3.
- Dagoberto, G. F., Angel, D. S. T., & Lilita, S. P. (2002). Effect of magnetic treatment of onion (*Allium cepa*) seeds on the germination and growth of seedlings. *Aliment*, 39(337), 181-186
- Esitken, A., & Turan, M. (2004). Alternating magnetic field effects on yield and plant nutrient element composition of strawberry (*Fragaria x ananassa* cv. Camarosa). *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B-Soil & Plant Science*, 54(3), 135-139.
- Espino, M. M., Cacho, A. V., & Losada, M. H. P. (2005). Estrategias de riego deficitario en melocotón temprano. *Vida rural*, (206), 38-42.
- FAOSTAT (2013) <http://faostat3.fao.org/faostat-gateway/go/a/download/Q/CC/E..>
- Fluck, R. C., & Halsey, L. H. (1973). Impact forces and tomato bruising. *Florida Agricultural Experiment Station Journal Series*, 5109, 239-242.
- Gierson, D., & Kader, A. A. (1986). Fruit ripening and quality. In *The tomato crop* (pp. 241-280). Springer Netherlands.
- Hachicha, M., Kahlaoui, B., Khamassi, N., Misle, E., & Jouzdan, O. (2016). Effect of electromagnetic treatment of saline water on soil and crops. *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences*.
- Hoagland, D. R., & Arnon, D. I. (1950). The water-culture method for growing plants without soil. *Circular. California Agricultural Experiment Station*, 347(2nd edit).

- Kader, A. A., Kasmire, R. F., Mitchell, F. G., Reid, M. S., Sommer, N. F., & Thompson, J. F. (1985). Postharvest technology of horticultural crops. *Special Publication, Division of Agriculture and Natural Resources, University of California*, (3311).
- Khadi, B. M., Goud, J. V., & Patil, V. B. (1987). Variation in ascorbic acid and mineral content in fruits of some varieties of chilli (*Capsicum annuum* L.). *Plant Foods for Human Nutrition*, 37(1), 9-15.
- Marei, A., Rdaydeh, D., Karajeh, D., y Abu-Khalaf, N. (2014). Efecto del uso de agua salobre magnética sobre las características de regadío Cultivo Pimiento (*Capsicum annuum* L.) en bajo Jordán / Banco West Valley.
- Martinez, E., Carbonell, M. V., & Florez, M. (2002). Magnetic biostimulation of initial growth stages of wheat (*Triticum aestivum*, L.). *Electromagnetic Biology and Medicine*, 21(1), 43-53.
- Medrano Gil, H., Bota Salort, J., Cifre Llompart, J., Flexas Sans, J., Ribas Carbó, M., & Gulías León, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas.
- Mohsenin, N. N. (1986). Physical properties of plant and animal materials Gordon and Breach Publishers. *New York*.
- Moon, J. D., & Chung, H. S. (2000). Acceleration of germination of tomato seed by applying AC electric and magnetic fields. *Journal of electrostatics*, 48(2), 103-114.
- Moretti, C. L., Sargent, S. A., Huber, D. J., Calbo, A. G., & Puschmann, R. (1998). Chemical composition and physical properties of pericarp, locule, and placental tissues of tomatoes with internal bruising. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 123(4), 656-660.
- Mosin, O., & Ignatov, I. (2014). Basic Concepts of Magnetic Water Treatment. *European Journal of Molecular Biotechnology*, 4(2).
- Nelson, G. C., Rosegrant, M. W., Koo, J., Robertson, R., Sulser, T., Zhu, T., ... & Magalhaes, M. (2009). *Cambio climático: el impacto en la agricultura y los costos de adaptación*. IFPRI.
- Paduchuri, P., Gohokar S., Thamke B & Subhas M. (2010). Transgenic tomatoes. *Int J Adv Biotechnol Res* 2:69-72. <http://www.bipublication.com>
- Perez, K., Mercado, J., & Soto-Valdez, H. (2004). Note. Effect of storage temperature on the shelf life of Hass avocado (*Persea americana*). *Food science and technology international*, 10(2), 73-77.
- Picha, D. H., & Hall, C. B. (1982). Effect of potassium fertilization and season on fresh market tomato quality characters [*Lycopersicon esculentum*, plant nutrition]. *HortScience*.
- Pittman, U. J. (1977). Effects of magnetic seed treatment on yields of barley, wheat, and oats in southern Alberta. *Canadian Journal of Plant Science*, 57(1), 37-45.

- Purohit, M., Srivastava, S., & Srivastava, P. S. (1998). Stress tolerant plants through tissue culture. *Plant tissue culture and molecular biology: application and prospects*. Narosa Publishing House, New Delhi, 554-578.
- Rai, M. K., Kalia, R. K., Singh, R., Gangola, M. P., & Dhawan, A. K. (2011). Developing stress tolerant plants through in vitro selection—an overview of the recent progress. *Environmental and Experimental Botany*, 71(1), 89-98.
- Raiola, A., Rigano, M. M., Calafiore, R., Frusciante, L., & Barone, A. (2014). Enhancing the health-promoting effects of tomato fruit for biofortified food. *Mediators of inflammation*, 2014.
- Sánchez-Blanco, M. J., & Torrecillas, A. (1995). Aspectos relacionados con la utilización de estrategias de riego deficitario controlado en cultivos leñosos. *Riego Deficitario Controlado. Fundamentos y Aplicaciones. Colección Cuadernos VALUE*, 1, 43-63
- Selim, A. F. H., & El-Nady, M. F. (2011). Physio-anatomical responses of drought stressed tomato plants to magnetic field. *Acta Astronautica*, 69(7), 387-396.
- Socorro, A., & Carbonell, M. V. (2002). Magnetic treatment of wheat seeds (*Triticum aestivum*) as a growth stimulating technique. *Alimentaria*, 39(337), 167-170.
- Sørensen, J. N., Johansen, A. S., & Kaack, K. (1995). Marketable and nutritional quality of leeks as affected by water and nitrogen supply and plant age at harvest. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 68(3), 367-373.
- Strašák, L., Vetterl, V., & Šmarda, J. (2002). Effects of low-frequency magnetic fields on bacteria *Escherichia coli*. *Bioelectrochemistry*, 55(1), 161-164.
- Wu, Z., Sun, S., Wang, F., & Guo, D. (2011). Establishment of regeneration and transformation system of *Lycopersicon esculentum* microtom. *British Biotechnology Journal*, 1(3), 53.