

# **APLICACIONES DEL RIEGO DEFICITARIO PARA LA MEJORA EN LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS Y BIOSALUDABLES EN EL CULTIVO DE CÍTRICOS**

**TESIS DOCTORAL**







UNIVERSIDAD DE SEVILLA  
FACULTAD DE BIOLOGÍA  
DEPARTAMENTO DE GENÉTICA

## **TESIS DOCTORAL**

**“APLICACIONES DEL RIEGO DEFICITARIO PARA LA MEJORA EN  
LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS Y BIOSALUDABLES EN  
EL CULTIVO DE CÍTRICOS**

Julio Frías Martínez

Directores:

Dr. José Luis Muriel Fernández

Dra. Ana Aguado Puig

Sevilla, Julio de 2017





UNIVERSIDAD DE SEVILLA

**CONFORMIDAD DE SOLICITUD DE AUTORIZACION DE DEPÓSITO  
DE TESIS DOCTORAL POR EL/LA DIRECTORA DE LA TESIS**

“APLICACIONES DEL RIEGO DEFICITARIO PARA LA MEJORA EN LAS  
PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS Y BIOSALUDABLES EN EL CULTIVO DE  
CÍTRICOS

presentada por D. Julio Frías Martínez, en satisfacción de los requisitos necesarios para optar al grado de Doctor en Ciencias Biológicas, y dirigida por los Drs. Ana Aguado Puig e José Luis Muriel Fernández del Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria y Pesquera (IFAPA); dan su conformidad para que sea presentada ante la Comisión de Doctorado.

Los directores:

Fdo.: Ana Aguado Puig

Fdo.: José Luis Fernández

Los tutores:

Fdo: Francisco Ramos Morales

Fdo: Luis Corrochano Pelaéz

El doctorando.: Julio Frías Martínez

A mi mujer Yolanda y a mis hijos

# *Agradecimientos*

En estos agradecimientos no tendría folios suficientes para agradecer con palabras las personas que a continuación nombro. Confío en que están cada una de esas personas que en algún momento de mi vida han aportado su granito de arena para poder llegar a buen puerto esta Tesis. Desde estas líneas me gustaría agradecer:

Al Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera de Andalucía (IFAPA), por ayudarme en todo momento al desarrollo y medición de esta Tesis; y en especial al Director del Centro “Las Torres-Tomejil” D. Fernando Romero Muñoz, porque no tengo palabras para agradecerle todos los buenos consejos que me ha dado y sigue dándome cada vez que lo veo.

A la Universidad de Sevilla y en especial a Rosario y Alfonso por ayudarme en todo momento y estar siempre disponibles para cualquier imprevisto que me haya podido surgir.

A mis directores de Tesis, José Luis Muriel Fernández, por su amistad, por su confianza en mi trabajo, y por todos los conocimientos que me he llevado a largo de estos años de formación.

A mi amigo Iván Fco.García Tejero, por todo el tiempo que me has dedicado, por la presión que me aguantas, por todo y por tu ayuda inestimable siempre que me ha hecho falta.

A mi amiga y tutora Ana Aguado Puig, que podría escribir un libro agradeciéndole toda la ayuda prestada y no sólo como tutora sino como psicóloga de mi Tesis. Sin ella esto no hubiera llegado a buen puerto.

Una especial mención a mis amigos y compañeros de trabajo Jose Luis, Paco, Manolo que cada vez que los he llamado han estado ahí. Nunca fallan. Gracias por entenderme incluso en los momentos más intensos míos.

A mis suegros y cuñados por apoyarme y ayudarme en todo lo que he necesitado.

A mis hijos Julio, Álvaro y Marta por preocuparse que esto fuese para delante y llegase donde ha llegado. Sois maravillosos, sois los mejores y sois únicos.

Y como no, por último, a mi mujer Yolanda. Siempre apoyando, siempre positiva, siempre haciendo familia hasta en los momentos de más soledad. En fin siempre ahí. Te quiero y siempre te querré. Gracias. Esta Tesis te la dedico porque es fruto de un gran esfuerzo y aquí está.





# APLICACIONES DEL RIEGO DEFICITARIO PARA LA MEJORA EN LAS PROPIEDADES ORGANOLÉPTICAS Y BIOSALUDABLES EN EL CULTIVO DE CÍTRICOS

## INDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FOTOS</b>	<b>X</b>
<b>RESUMEN</b>	<b>XII</b>
<b>1. INTRODUCCION</b>	<b>1</b>
1.1. ANTECEDENTES	1
1.2. AGUA Y AGRICULTURA EN ANDALUCÍA	2
1.2.2. Características climáticas de Andalucía Occidental	6
1.2.3. El cultivo de cítricos en la agricultura Andaluza	7
1.2.4. La citricultura ecológica en Andalucía	10
1.2.5. Problemática actual de la citricultura andaluza	11
1.2.6. Evolución del mercado citrícola español	12
1.3. OPTIMIZACION DEL USO DEL AGUA EN LA CITRICULTURA	20
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>25</b>

<b>3. MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>27</b>
3.1. LOCALIZACIÓN, DESCRIPCIÓN Y CLIMATOLOGÍA DE LAS PARCELAS DE ENSAYO	27
3.2. DESCRIPCION DE TRATAMIENTOS DE RIEGO	35
3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL	35
3.4. CARACTERES ANALIZADOS	38
3.4.1. Potencial hídrico	38
3.4.2. Producción y parámetros asociados	40
3.4.2.1. Producción	40
3.4.2.2. Peso de los frutos	41
3.4.2.3. Calibre transversal y longitudinal	42
3.4.2.4. Dureza de fruto	42
3.4.2.5. Grosor de cáscara	43
3.4.2.6. Peso de cáscara y peso y volumen de zumo	43
3.4.2.7. Rendimiento en zumo	44
3.4.3. Caracteres internos del fruto	44
3.4.3.1. Sólidos solubles(Grados Brix)del zumo de naranja	44
3.4.3.2. Acidez del zumo de naranja	45
3.4.3.3. Índice de madurez	46
3.4.3.4. Cuantificación de Vitamina C (ácido ascórbico) en el zumo de naranja	47
3.4.3.5. Cuantificación de Flavonoides (hesperidina) en el zumo de naranja	48

3.4.3.6. Incidencia de pudrición de frutos	49
3.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICOS	50
<b>4. RESULTADOS Y DISCUSION</b>	<b>51</b>
4.1. DOTACIONES HÍDRICAS Y RESPUESTA FISIOLÓGICA A LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS ENSAYADOS	51
4.2. EFECTOS DE DÉFICIT HÍDRICO EN LOS CARACTERES EXTERNOS DE LA FRUTA EN EL MOMENTO DE LA RECOLECCIÓN Y TRAS 60 DÍAS EN CÁMARA	57
4.2.1. Peso de los frutos	58
4.2.2. Calibre transversal	63
4.2.3. Calibre longitudinal	68
4.2.4. Dureza	73
4.2.5. Espesor de cascara	78
4.2.6. Peso de cascara	83
4.3. EFECTOS DE DÉFICIT HÍDRICO EN LOS CARACTERES INTERNOS DE LA FRUTA EN EL MOMENTO DE LA RECOLECCIÓN Y TRAS 60 DÍAS EN CÁMARA	89
4.3.1. Peso del zumo	89
4.3.2. Volumen de zumo	93
4.3.3. Rendimiento de zumo	97
4.3.4. Contenido de azúcares	101
4.3.5. Acidez	105
4.3.6. Índice de madurez	109
4.3.7. Vitamina C	113
4.3.8. Flavonoides	117

4.3.9. Incidencia en pudrición	121
4.4. PRODUCCIÓN	125
<b>5. CONCLUSIONES</b>	<b>129</b>
<b>6. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>131</b>

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estrategias hacia una agricultura sostenible y productiva en la Unión Europea. Política Agraria Común “Horizonte 2020” (García-Tejero y col., 2015)	5
Figura 2. Importancia en % de los principales países respecto a la producción mundial	7
Figura 3. Comparativa estimación de producciones de las dos principales comunidades autónomas productoras cítricas Comunidad Valenciana Andalucía 2008-2016. (MAGRAMA 2015)	9
Figura 4. Distribución de la superficie cítrica andaluza por provincias (ESYRCE 2016)	9
Figura 5. Localización de las parcelas de los ensayos en tres localidades. A: Ensayo de producción de producción integrada en Palma del Río (Córdoba). B: Ensayos de producción integrada y producción ecológica en El Campillo y Nerva (Huelva)	27
Figura 6. Evolución de las Temperaturas mínimas y máximas para los ensayos 1 (producción ecológica) y 2 producción integrada) en los años 2010, 2011 y 2012	29
Figura 7. Evolución de las Temperaturas mínimas y máximas en el ensayo 3 (producción integrada) en los años 2010, 2011 y 2012	33
Figura 8. Plano del diseño experimental en bloques al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones	36
Figura 9. Cromatograma de vitamina C. En el cromatograma se observa la absorvancia en mAU y el tiempo en minutos en el que se detecta el pico de ácido ascórbico	47
Figura 10. Cromatograma del flavonoides hesperidina. En el cromatograma se observa la absorvancia en mAU y el tiempo en minutos en el que se detecta el pico de hesperidina	48

Figura 11. Peso medio del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	60
Figura 12. Peso medio del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	61
Figura 13. Peso medio del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	62
Figura 14. Calibre transversal del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	65
Figura 15. Calibre transversal del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	66
Figura 16. Calibre transversal del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	67
Figura 17. Calibre longitudinal del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	70
Figura 18. Calibre longitudinal del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	71
Figura 19. Calibre longitudinal del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	72
Figura 20. Dureza del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	75
Figura 21. Dureza del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	76
Figura 22. Dureza del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	77
Figura 23. Espesor de cáscara del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	80
Figura 24. Espesor de cáscara del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	81
Figura 25. Espesor de cáscara del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	82

Figura 26. Peso de cáscara del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	84
Figura 27. Peso de cáscara del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	85
Figura 28. Peso de cáscara del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	86
Figura 29. Peso de zumo del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	90
Figura 30. Peso de zumo del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	91
Figura 31. Peso de zumo del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	92
Figura 32. Volumen de zumo del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	94
Figura 33. Volumen de zumo del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	95
Figura 34. Volumen de zumo del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	96
Figura 35. Rendimiento de zumo del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	98
Figura 36. Rendimiento de zumo del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	99
Figura 37. Rendimiento de zumo del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	100
Figura 38. Grados Brix del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	102
Figura 39. Grados Brix del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	103
Figura 40. Grados Brix del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	104
Figura 41. Acidez del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	106



Figura 42. Acidez del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	107
Figura 43. Acidez del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	108
Figura 44. Índice de madurez del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	110
Figura 45. Índice de madurez del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	111
Figura 46. Índice de madurez del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	112
Figura 47. Vitamina C del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	114
Figura 48. Vitamina C del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	115
Figura 49. Vitamina C del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	116
Figura 50. Flavonoides del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	118
Figura 51. Flavonoides del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	119
Figura 52. Flavonoides del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara	120
Figura 53. Datos de producción correspondientes al ensayo 1	126
Figura 54. Datos de producción correspondientes al ensayo 2	127
Figura 55. Datos de producción correspondientes al ensayo 3	128

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Consumo hídrico de distintas materias expresado en litros (Arreguin-Cortes y col.,2007)	1
Tabla 2. Índice madurez mínimo exigido para poder recolectar según variedad46	
Tabla 3. Condiciones de trabajo para la visualización y cuantificación de vitamina C (ácido ascórbico) y flavonoides (hesperidina) en HPLC	49
Tabla 4. Balance del agua y dotaciones hídricas aportadas en el ensayo 1 durante los distintos estados fenológicos del cultivo y para cada año de estudio	51
Tabla 5. Balance del agua y dotaciones hídricas aportadas en el ensayo 2 durante los distintos estados fenológicos del cultivo y para cada año de estudio	53
Tabla 6. Balance del agua en el ensayo 3 para los periodos de riego durante los distintos estados fenológicos del cultivo	53
Tabla 7. Evolución del potencial hídrico en el ensayo 1 en los diferentes tratamientos ensayados durante los periodos de estrés considerados	54
Tabla 8. Evolución del potencial hídrico en el ensayo 2 en los diferentes tratamientos ensayados durante los periodos de estrés considerados	55
Tabla 9. Evolución del potencial hídrico en el ensayo 2 en los diferentes tratamientos ensayados durante los periodos de estrés considerados	55

## INDICE DE FOTOS

Foto 1. Síntomas de <i>P. digitatum</i> y <i>P. italicum</i>	16
Foto 2. Conidióforos y conidiosporas de <i>Penicillium</i> sp	16
Foto 3. Espora de <i>A. citri</i>	17
Foto 4. Pudrición producida por <i>A. citri</i> en cámara fría	17
Foto 5. Conidióforos y conidias de <i>B. cinérea</i>	17
Foto 6. Síntomas de pudrición del fruto por <i>B. cinérea</i>	17
Foto 7. Hifas con esporangios de <i>R. nigricans</i>	18
Foto 8. Podredumbre blanda en los frutos ocasionada por <i>R. nigricans</i>	18
Foto 9. Parcela de ensayo de producción ecológica (ensayo 1) de la variedad Navelina en la localidad de Nerva (Huelva)	30
Foto 10. Parcela de ensayo de producción integrada (ensayo 2) de la variedad Navelina en la localidad de El Campillo (Huelva)	31
Foto 11. Parcela de ensayo de producción integrada (ensayo 3) de la variedad Navelina en la finca Sotogordo en localidad de Palma del Río (Córdoba)	34
Foto 12. Detalle de gomas de riego en “V” con grifos manuales	37
Foto 13. Cámara de presión Scholander	38
Foto 14. Estados fenológicos y fecha de los periodos de riego deficitario controlado en los distintos tratamientos de las parcela	39
Foto 15. Cajas de naranjas recolectadas de un árbol	41
Foto 16. Báscula Mettler Toledo de 30 kg	41
Foto 17. Balanza de precisión para el pesado de fruta en laboratorio	42
Foto 18. Pie de rey, medidor del calibre del fruto	42

Foto 19. Durómetro con soporte Baxlo	43
Foto 20. Medida del espesor de corteza	43
Foto 21. Exprimidor de zumos Lomi	44
Foto 22. Balanza Acculab con capacidad de pesaje de hasta 5 Kg	44
Foto 23. Refractómetro digital Mod. Atago	45
Foto 24. Medición de acidez en el zumo de naranja	45
Foto 25. Deterioro del fruto por pudrición causada principalmente por <i>Penicillium</i> spp	50
Foto 26. Cajas de 25 frutos de naranjas después de 60 días en cámara fría	50

## RESUMEN

Los caracteres de producción en Kg/Ha, peso y tamaño de fruto, grosor de cáscara, peso, volumen y rendimiento de zumo, así como parámetros de calidad con propiedades organolépticas y nutraceuticas (grados brix, acidez, índice de madurez, vitamina C y flavonoides) fueron valorados en condiciones de riego al 100 % de la capacidad evapotranspirativa y comparado con dos sistemas de riego deficitario al 25%, uno con aporte de abono y otro no. Los momentos de aplicación de ahorro hídrico fueron durante la maduración y en el envero del fruto.

La valoración de todos estos caracteres se realizaron tanto en la fruta recién cosechada, como en fruta almacenada en cámara fría después de 60 días de almacenamiento. Los sistemas de producción fueron básicamente dos: producción integrada (en dos localidades, Córdoba y Huelva) y producción ecológica (en Rio Tinto, Huelva), durante tres años consecutivos (2010, 2011 y 2012). Las estrategias de riego deficitario moderado proporcionaron una mejora de la calidad de la fruta en términos de grados brix y vitamina C principalmente tanto en el momento de la cosecha como después de 30 días en cámara fría respecto al tratamiento control. La producción no sufrió disminución significativa respecto al control, al igual que sus caracteres externos asociados (calibre y peso de fruto y grosor de cáscara). Los caracteres internos de fruto (peso y volumen de zumo e índice de madurez) tampoco mostraron diferencias significativas respecto al control. Si se observó que la fruta almacenada disminuye los valores de todos los caracteres analizados, pero los grados brix y la vitamina C se siguen manteniendo significativamente superiores al control. Durante el almacenamiento en cámara fría, la fruta procedente de árboles que habíaa sido sometida a estrés hídrico durante los momentos anteriormente mencionados, mostraron un porcentaje de podredumbre significativamente inferior a los frutos de árboles control.



# 1. INTRODUCCION

## 1.1. ANTECEDENTES

El uso del agua ha crecido durante los últimos años a nivel mundial más del doble, en comparación al crecimiento poblacional, provocando que en determinadas regiones exista escasez creciente de agua y siendo cada vez más difícil responder a las necesidades mínimas para el consumo humano. El crecimiento de la población ha causado una gran demanda de un recurso limitado aunque renovable como es el agua, dificultando su disponibilidad sobretodo en zonas áridas y semiáridas (FAO., 2013)

Si bien se puede pensar que las actividades domésticas utilizan una gran cantidad de agua, éstas sólo representan el 4% del consumo total en las actividades diarias (Arreguin-Cortés., 2007). En este sentido, la mayor demanda de agua proviene de la agricultura, que utiliza aproximadamente el 70% de las extracciones de agua dulce (FAO., 2013), y que dependen en gran medida de las necesidades hídricas del cultivo en cuestión (Tabla 1).

MATERIAL	CONSUMO HIDRICO
PATATA (100 gr)	25 litros
HUEVO ( 40 gr)	90 litros
NARANJA ( 100 gr)	50 litros
MANZANA (100 gr)	70 litros
CERVEZA (250 ml)	75 litros
VASO LECHE (200ml)	200 litros
HAMBURGUESA (150gr)	2.400 litros

Tabla 1. Consumo hídrico de distintas materias expresado en litros.

(Arreguin-Cortes y col., 2007).

La agricultura necesita una media de 7.400 millones de litros de agua de riego diarios, produciéndose diariamente una media de 23,7 millones de toneladas de alimentos, 19,5 millones de toneladas entre frutas y verduras, cereales, raíces y tubérculos, 2,1 millones de litros de leche y 1,1 millones de toneladas de carne. (Unver., 2015).

En el año 2050 harán falta anualmente 1 billón de toneladas de cereal y 200 millones de toneladas de carne más para poder suplir las necesidades de alimentos mundiales (Unver., 2015) lo que obligará a implementar todas las estrategias y herramientas posibles para conseguir un uso cada vez más eficiente de la gestión del agua. Por tanto, uno de los principales retos a día de hoy en la agricultura consistirá en poder obtener alimentos en cuantía suficiente para satisfacer las necesidades de la población humana, en un contexto de respeto y sostenibilidad medioambiental (Unver., 2015).

## **1.2. AGUA Y AGRICULTURA EN ANDALUCÍA**

### **1.2.1. Características del regadío andaluz**

La agricultura de regadío es uno de los principales elementos generadores de riqueza para Andalucía, tanto desde el punto de vista social como económico, ya que constituye el 63% del empleo agrícola y supone el 64% del valor de la producción agraria. En Andalucía existen a día de hoy 1.176.588 ha destinadas al regadío, representando el 24,3% de la superficie total agraria andaluza (4.845.000 ha) y el 33% de la superficie agraria española destinada al regadío; con un incremento notable a partir del año 1995 (ARA, 2011). La agricultura andaluza de regadío tiene una importancia vital por su contribución a la generación de empleo y riqueza y su impacto positivo en el medio ambiente. Así, el regadío aporta el 60% de la producción final agraria (4.570 millones de euros), un 50% del empleo agrario andaluz (155.000 Unidades de Trabajo Agrario), lo que supone el 15% del empleo total regional.



A día de hoy, el sector agrario se enfrenta a nuevos retos, siendo la búsqueda de nuevos cultivos o variedades con una elevada capacidad de adaptación a situaciones de déficit hídrico una de las alternativas para conservar la agricultura como una actividad sostenible tanto en términos económicos como medioambientales (García-Tejero y col., 2014). Esta situación se hace especialmente complicada en regiones áridas y semiáridas de muchos países de la cuenca Mediterránea, caracterizados por una creciente falta de recursos hídricos, un clima progresivamente más cálido y seco, y un incremento en la competencia entre los sectores productivos por un recurso tan escaso como limitado como es el caso del agua (García-Tejero y col., 2011a). En este sentido y de acuerdo con la última comunicación de la comisión al Parlamento Europeo y al Consejo de la Unión sobre la cooperación de innovación europea “Productividad y Sostenibilidad agrícolas” (COM, 2012), es necesario abrir nuevos frentes en la investigación encaminados a una gestión más sostenible de los recursos naturales para implementar una producción competitiva y sostenible de alimentos como adaptación al cambio climático.

El incremento en la productividad y la competitividad de la agricultura requerirá en todo caso de una mejora en la eficiencia del uso de los recursos naturales, en relación con los criterios medioambientales de la Unión Europea. Así, se puede esperar una reducción del consumo de agua, una mejor utilización de los recursos hídricos y un mejor uso del suelo, con importantes impactos sobre la gestión del territorio (García-Tejero y col al., 2014). Por todo ello, los principales retos a los que deberán enfrentarse productores, legisladores y el conjunto de la comunidad científica serán la búsqueda cambios significativos en el patrón de cultivos, introduciendo nuevas especies capaces de maximizar la rentabilidad de la producción agraria, aumentar el margen de beneficios, y haciendo frente a todas las restricciones del sistema (incertidumbre de los precios de comercialización y producción, dotaciones de riego, restricciones, comercialización, etc.). Se espera por lo tanto que en un futuro cercano las nuevas políticas agrícolas y de aguas induzcan un cambio en las orientaciones productivas actuales, lo que supondrá

una disminución notable de los cultivos tradicionales con grandes consumos de agua, y un aumento importante en cultivos de bajos insumos y elevada rentabilidad (COM, 2007). Para ello, será más necesario aún fortalecer la investigación y el desarrollo, conjuntamente con una correcta transmisión de los conocimientos adquiridos, todo enfocado hacia una agricultura más competitiva y sostenible con el medio ambiente. En este sentido, las políticas agrícolas en el ámbito nacional y regional, en consonancia con la legislación medioambiental vigente deberán recoger los objetivos y prioridades en la Nueva Política Agraria Común “Europa 2020”. Así, estas políticas irán orientadas a afrontar los nuevos retos en términos de salud, cambio demográfico y bienestar; seguridad alimentaria y agricultura sostenible, acción sobre el clima, eficiencia de recursos y materias primas; todo ello mediante el liderazgo en tecnologías industriales, acceso a las nuevas tecnologías de la información y comunicación. Con todo ello será posible la creación de un cinturón económico que permita diversificar la actividad económica de la UE, especialmente de regiones periféricas como es el caso de Andalucía transformando al sector agroalimentario en un sector competitivo, fuerte, generador de empleo y capaz de afrontar los nuevos retos de la sociedad; siendo la investigación, innovación y la formación continuada, las bases fundamentales de este nuevo sistema de producción (Figura 1).



Figura 1. Estrategias hacia una agricultura sostenible y productiva en la Unión Europea. Política Agraria Común "Horizonte 2020".  
(García-Tejero y col., 2015)

De las 3.550.368 hectáreas de cultivo existentes en el territorio andaluz, 1.064.771 hectáreas están en riego (ESYRCE.2015) Destaca como principal sistema el riego localizado, que en el año 2015 llegó a las 789.595 hectáreas suponiendo el 74.6% del total de los distintos sistemas de riego y el 44,04% respecto al total nacional. En segundo lugar, se sitúa riego por gravedad con 183.938 hectáreas (18.80%), 72.937 hectáreas en aspersion (13.05%) y por último el riego automotriz con 18.300 hectáreas (5.98%) (ESYRCE.2015)

En cuanto al origen del agua, en Andalucía el 59,4% corresponde a aguas superficiales, frente al 41,6% de aguas subterráneas. Si analizamos las zonas regables, la cuenca del Guadalquivir ocupa el 72% de la superficie regada de Andalucía siendo la principal provincia Sevilla con un 23% del total de la superficie de riego (ARA.2011)

Los cultivos con mayor superficie regada son el olivar, cereales de grano, algodón, naranjo, arroz y maíz. Estos cinco cultivos representan el 73% del total de la superficie regada durante el año 2015 (ESYRCE.2015)

Sin embargo, si analizamos los cultivos con mayores necesidades hídricas, en primer lugar se sitúa el arroz, seguido de cultivos de invernadero, frutales, algodón, frutales subtropicales, situándose los cítricos en séptimo lugar con una media de 4.983 m<sup>3</sup>/ha.

### **1.2.2. Características climáticas de Andalucía Occidental**

El clima de Andalucía Occidental está caracterizado por su falta de precipitaciones y una alta tasa de evapotranspiración (alrededor de los 1.600 mm). Las precipitaciones, además de escasas cuentan con una elevada variabilidad intra e interanual, quedando distribuidas normalmente en los meses de otoño y comienzos de primavera; lo que obliga a un aporte de agua vía riego en la mayoría de los cultivos leñosos y de verano (Perea y col., 2006).

Las temperaturas más elevadas suelen registrarse a lo largo de los meses de julio y agosto, llegando a sobrepasar los 40° C de máxima; y las mínimas, registradas principalmente durante el mes de enero, rara vez bajan de los 0° C.

Los principales modelos de Cambio Climático indican que la esorrentía media anual y la disponibilidad de agua será menor en las cuencas del Sur de Europa a medida que la temperatura aumente y las precipitaciones disminuyan. De esta manera, Andalucía se sitúa como una región de elevado riesgo de sufrir sequías de forma más intensas y frecuentes debido a su geolocalización y a su economía agrícola, que consume el 80% de los recursos hídricos disponibles (Vargas Molina,2013)

Esta situación de falta de agua en la región es característica de nuestra climatología, lo que nos obliga a establecer estrategias de gestión del riego para optimizar nuestros escasos recursos hídricos de manera eficiente y así buscar un

equilibrio entre producción y la situación deficitaria hídrica en la que nos encontramos. (Mínguez y col, 2005).

### **1.2.3. El cultivo de cítricos en la agricultura Andaluza**

Los cítricos tienen un origen de países asiáticos con clima tropical, siendo por tanto especies que requieren de un ambiente húmedo tanto en suelo como en la atmósfera para su correcto desarrollo. Se estiman sus necesidades hídricas entre 3.000 y 7.000 m<sup>3</sup>/ha y año, lo que supone una pluviometría anual de 700 a 1200 mm. El cultivo necesita en determinados periodos fenológicos un aporte alto de agua que contrasta con la climatología mediterránea típica de la zona de Andalucía (alternancia de épocas muy secas con otras de lluvias abundantes además de temperaturas altas durante los veranos acompañado vientos secos y cálidos). De esta manera se hace necesario el apoyo del riego para intentar evitar condiciones de estrés hídrico. (Agustí, 2003).

La producción mundial de cítricos fue durante la campaña 2013/14 con un total de 121,27 millones de toneladas sitúa a la naranja en primer lugar (57%) seguido de la mandarina (26%), el limón (11%) y por último el pomelo (6%) (Sanfeliu Feliu,2016).

El mayor productor mundial de cítricos es China (24%), seguido de Brasil (16%), Estados Unidos (8%), India (6%), Méjico (6%) y España (5%).

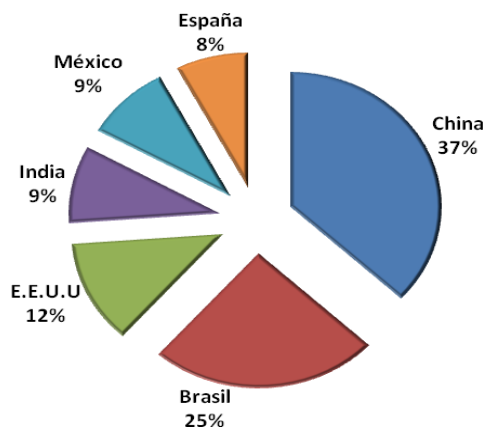


Figura 2. Importancia en % de los principales países respecto a la producción mundial.

En este sentido, España se sitúa como la sexta productora de cítricos a nivel mundial y la primera a nivel europeo, con un 50% del total de las naranjas producidas en la UE, seguido de Italia. Entre los dos países producen un 85% del total de las naranjas cultivadas en Europa.

Las exportaciones españolas siguen liderando el comercio mundial de cítricos (4,1 millones de toneladas exportadas en la última campaña 2015), representando en torno al 35 % del total. Las mandarinas y las naranjas son los principales productos de exportación (Álvarez Ramos, 2016).

La superficie cultivada de cítricos en España ha desarrollado un aumento a lo largo de la última década, aunque en el año 2011 sufrió una ligera disminución del 0.5%. El naranjo sigue siendo el cultivo más representativo de su género, con el 49% del total de la superficie; seguido del mandarino (37%), el limonero (12,4 %) y el pomelo (0,6 %) (Aznar Sánchez et col, 2015).

La Comunidad autónoma con más superficie citrícola es Valencia (54,1 %), aunque Andalucía sigue creciendo y alcanza casi el 30% de la producción nacional. Este panorama está cambiando, ya que Andalucía debido a su climatología y por el tamaño de sus extensiones ha seguido incrementando la superficie citrícola en los últimos años frente a una disminución de la Comunidad Valenciana.

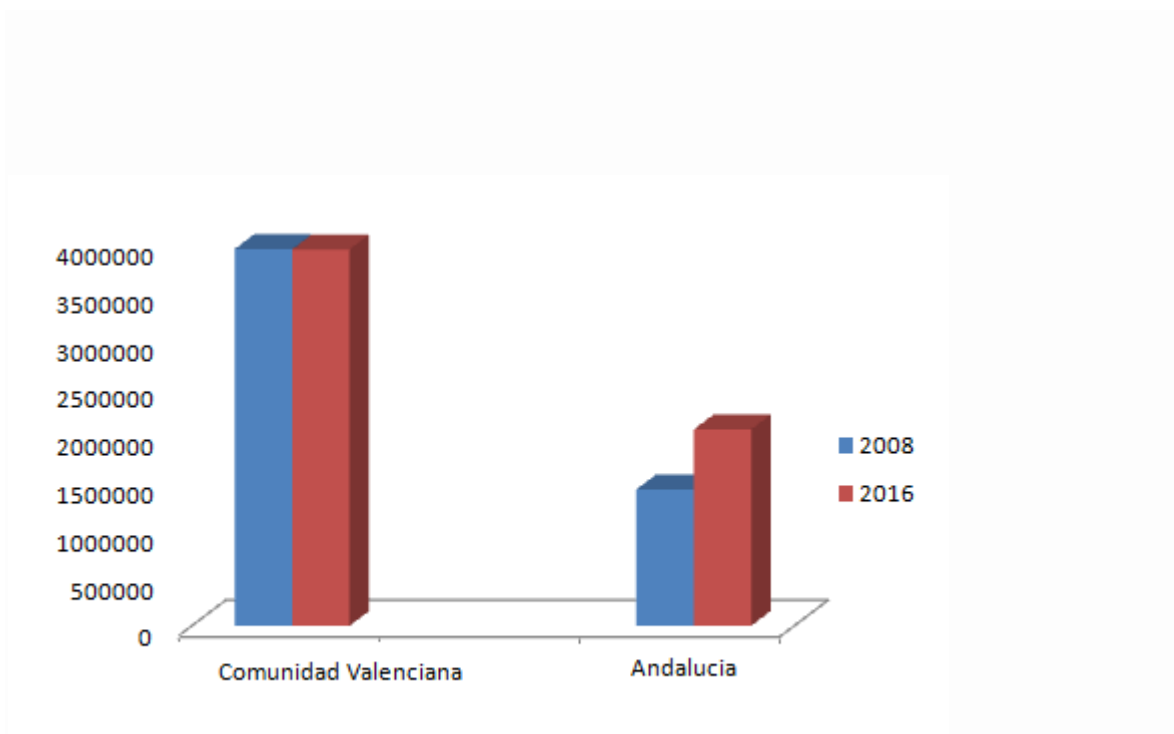


Figura 3. Comparativa estimación de producciones de las dos principales Comunidades autónomas productoras cítricas: Comunidad Valenciana y Andalucía 2008-2016. (MAGRAMA 2015).

En cuanto a la distribución dentro de Andalucía, la provincia de Sevilla se sitúa como la principal productora de cítricos con el 34,52% de la producción y junto a Huelva (24,03%) y Córdoba (13,9 %) representan cerca del 73% del total de producción andaluza.

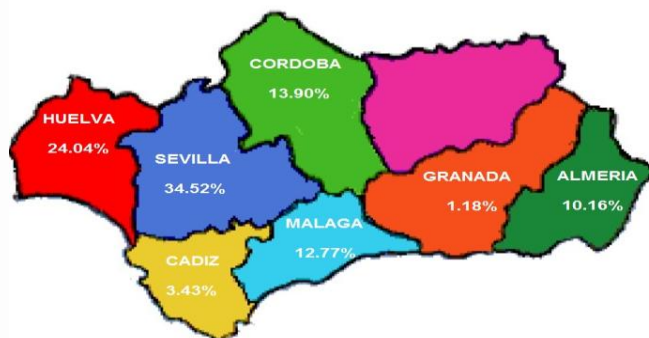


Figura 4. Distribución de la superficie cítrica andaluza por provincias (ESYRCE 2016)

A nivel provincial, Sevilla con 22.857 ha es la mayor productora de naranja de la Comunidad Andaluza. Huelva tiene 10.791 ha y en tercer lugar Córdoba con 7.665 Has de naranja dulce. Cabe resaltar que la provincia de Huelva con más del 40% de la superficie andaluza es la principal productora de mandarina con 6.446 Has de las 14.675 ha declaradas. Le siguen Sevilla (3.457 ha), Almería (2.280 ha) y Málaga (1.657 ha). Por último, cabe destacar las 4.029 ha de limón en Málaga que junto con Almería (1.257ha) suponen casi la totalidad de la producción andaluza para dicha especie (Aznar Sánchez J., 2015).

A nivel varietal las más significativas son el grupo Navel de media estación (Navel y Lane Late) con 15.372 ha, seguido de Navelina (12.870 ha), Valencia Late (8.443 ha), Salustiana (7.841 ha) y Navel tardías (3.853 ha) (Eraso Ruiz et col, 2014).

#### **1.2.4. La citricultura ecológica en Andalucía**

España tiene una superficie de 1.968.570 hectáreas de agricultura ecológica, de las cuales 1.011.076 hectáreas corresponden a Andalucía, siendo la primera Comunidad autónoma en superficie cultivada en ecológico con el 51% del total de la superficie española (Agricultura ecológica,2015). En segundo lugar se sitúa Castilla La Mancha con 365.567 hectáreas y representando el 18% del total y en tercer lugar Cataluña con 142.022 hectáreas (7%).

En la última década los cítricos ecológicos han sufrido un incremento significativo en superficie pasando de 2.605 ha en 2009 a 8.245 ha en 2015, lo que supone un incremento del 316% (Arenas et col., 2009).

A nivel citrícola, de las 8.245 ha presentes en España, 4.993 están en Andalucía, 1.540 ha en la Comunidad Valenciana y 1.445 ha en Murcia, representando estas tres Comunidades el 96% del total de la superficie citrícola ecológica.

La distribución provincial andaluza se reparte mayoritariamente entre Almería



(40.7%), Málaga (27%), Huelva (18%) y Sevilla (12.5%). A nivel varietal, la naranja ecológica supone el 60% del total de la superficie y los limones el 20%, distribuido de manera principal entre Almería y Málaga. La mandarina ecológica ocupa el tercer lugar con un 14% de la superficie distribuida entre Málaga, Huelva y Almería.

Los sistemas de producción ecológicos mejoran la competitividad de las explotaciones ante una demanda cada vez mayor de productos respetuosos con el medio ambiente (Domínguez Gento et col.,2003).

Si analizamos la superficie ecológica por cultivos permanentes, también destacan el olivar, los frutos secos y los viñedos que concentran el 81% de la superficie. Los cítricos suponen en conjunto el 10% de la superficie ecológica.

Se sabe algo sobre el sistema de riego que se utiliza en ecológico y qué ventajas tiene este trabajo sobre el uso eficiente del agua en este tipo de sistema de producción.

### **1.2.5. Problemática actual de la citricultura andaluza**

En España, el mayor incremento en producción citrícola se ha producido en Andalucía, que ha pasado de ocupar una superficie de cultivo de 49.668 hectáreas en 2002 a 84.607 ha en 2015. (ESYRCE, 2015). Esto supone un incremento del 58.3%. La reforma del algodón y la falta de rentabilidad del mismo obligaron al sector agrícola a su diversificación, optando por los cultivos de frutales (cítricos y olivo) (Arenas y col., 2008)

Aún así, en los cinco últimos años no ha habido un crecimiento en plantaciones significativo ya que la rentabilidad del cultivo ha estado varios años a la baja (ESYRCE, 2015).

En cuanto a las variedades de la Comunidad andaluza, a diferencia de otros países, la mayoría son variedades con aptitud para su consumo en fresco. Si bien

a principios del 2000 se realizaron muchas plantaciones de mandarinas y de variedades tardías como Lane Late, Navel Powell, grupo Valencia, etc., con mejor aptitud para zumo (ESYRCE,2015) sigue existiendo una gran cantidad de superficie destinada al cultivo de la variedad Navelina con menor aptitud para la obtención de zumos de calidad debido principalmente a su temprana recolección, que impide tener un mejor rendimiento y unas mejores cualidades organolépticas (Arenas et col.,2010). Tras la publicación de la reforma de la Organización Común de Mercado (OCM donde la subvención se destinaba a la superficie y no a la producción, las explotaciones cítricas orientaron su producción a variedades que pudiesen ser rentables para la industria, ya que la calidad del zumo iba a ser uno de los parámetros a estimar.

Así entre el período comprendido entre 2005 a 2008 se vendieron 1.804.375 plantas de naranjas tempranas frente a 1.937.607 plantas de naranjas tardías. Sin embargo en el período 2009 a 2013 por cada planta de naranja temprana vendida (1.561.411 plantas) se vendió un 70% de variedades tardías (2.683.808 plantas) (ESYRCE., 2015).

#### **1.2.6. Evolución del mercado cítrico español**

España es uno de los principales exportadores hortofrutícolas dentro de la Unión Europea. La exportación hortofrutícola española ha ido incrementando progresivamente a lo largo de los últimos años. Si bien en el año 2001 el valor de la exportación se situaba en 6.000 millones de euros, en el 2015 se ha duplicado dicha cifra llegando casi a los 12.000 millones de euros. La tendencia del sector es seguir incrementando las ventas en los países donde se tiene presencia, y a su vez abrir nuevos mercados en países extracomunitarios que actualmente suponen un 8% de las exportaciones

En 2008 se exportaron 5,43 millones de toneladas de fruta cuyo valor en mercado fue de 4.637 millones de euros. En 2015, el valor de la exportación se incrementó a 7,58 millones de toneladas de fruta cuyo valor ascendió a 7.063 millones de

euros. El mercado cítrico ha incrementado significativamente su volumen y ventas pasando de 3,06 millones de toneladas a 4,10 millones de toneladas entre 2008 y 2015. A nivel económico el valor en millones de euros pasó de 1.90 a 3.20 entre el mismo periodo (Álvarez Ramos J., 2016).

El aforo de producción de naranjas y mandarinas en España para la campaña 2016/17 se ha situado en torno a 7,10 millones de Tm. En Andalucía se sitúa en 2,05 millones de toneladas cuyo destino principal será para el mercado en fresco; y alrededor del 70% de la producción se destinará a la exportación, principalmente a Europa (CAPDR, 2016).

Existen dos grandes problemas dentro del sector cítrico andaluz. El primero es el poco peso a la hora de decidir del sector productor frente al comercializador, donde la mayoría de las empresas comercializadoras provienen de fuera de la Comunidad andaluza. Este problema viene agravado por la competencia con terceros países (Sudáfrica y Magreb), que producen a menor precio obligando a ajustar los costes de cultivo así como a producir fruta de mayor calidad para poder competir en el mercado actual. (Eraso Ruiz, 2016).

En estudios de mercado realizados en España se observa que la compra de fruta por parte del consumidor español se realiza principalmente por calidad tanto por sabor como por salud y seguridad alimentaria. Por lo tanto, las grandes cadenas demandan cada vez frutas con el menor número de residuos pesticidas (Iglesias Castellarnau, 2013).

A su vez, el mercado global y en particular el europeo, están exigiendo cada vez cítricos de mayor calidad con un precio de venta económico, obligando al sector a ajustar los costes y a optimizar las prácticas culturales (Eraso Ruiz., 2014)

Conforme a los estudios realizados por el Ministerio de Agricultura y la Consejería de Agricultura, el umbral de rentabilidad neto de la naranja dulce se sitúa en torno a los 0.15-0.20 euros/Kg. Si se observa que durante la campaña 2016/17 el precio medio de venta de la naranja temprana se situó en 0.17 euros/Kg, se puede concluir que es necesario un ajuste en los distintos "inputs" o gastos del cultivo.

(<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController>,2016)

Frente a las empresas comercializadoras, es importante analizar cuáles son los principales costes de cultivo y cuáles de ellos se pueden ajustar para conseguir un precio competitivo. Al observar los costes de cultivo de la naranja dulce, el 55% son de insumos y 45% corresponde a la mano de obra. El agua, energía y combustible representan el 55% de los insumos y el 30% respecto al total.

Los fertilizantes suponen un 13% y aplicaciones fitosanitarias un 10% respecto al total.(<http://www.juntadeandalucia.es/agriculturaypesca/observatorio/servlet/FrontController?action=Costes&ec=subsector&subsector=21&table=3945>, 2016).

Cada año el incremento de costes es mayor debido al incremento en precios tanto en insumos como en mano de obra. Así en la campaña 2011/12 los costes medios totales con recolección se estimaban en 7996.5 euros/Hectárea frente a los 8864.9 euros/Hectárea de la campaña 2014/15, lo que supone un incremento del 11%.

En la Agricultura ecológica los costes por kilo de naranja producido son más elevados frente a la agricultura convencional. Si se analiza el dato de la materia prima, éste supone un mayor coste en agricultura convencional (3.3% respecto a la agricultura ecológica). Sin embargo la mano de obra con un 11.2% más y el resto de costes con un 2% de incremento, son superiores en agricultura ecológica.

Las producciones medias varían según el sistema de producción. En agricultura convencional el coste por Kilogramo de naranja para una producción de 30.000 Kg/Hectárea es de 0.15 euros/Kg y en agricultura ecológica para una producción significativamente menor (25.000 Kg/Hectárea) el coste por kilo es de 0.18 euros/Kg (Raigón M.D., 2000).

El segundo de los grandes problemas de la citricultura es la conservación y el transporte de la fruta. En cuanto a la conservación, los cítricos requieren en la mayoría de los casos de un almacenamiento previo en cámara por varios motivos entre los que destacan el mantenimiento de la calidad del fruto hasta su comercialización.

El consumo en fresco representa una gran parte de la salida comercial del cítrico. Para mantener la calidad del mismo se utilizan distintas medidas como desverdización para adelantar la fruta en el mercado, la frigoconservación, la aplicación de ceras comerciales, los tratamientos cuarentenarios por frío exigidos por países importadores, el uso de atmósferas insecticidas con alto contenido en CO<sub>2</sub>, fungicidas de síntesis como ortofenilfenato sódico, tiabendazol, imazalil o guazantina, la aplicación de radiaciones ionizantes, el desarrollo de recubrimientos naturales y otros tratamientos térmicos, químicos y biológicos (Wilson y Wisniewski, 1989; Rodov et al., 1992; Lurie, 1998; Paull y Chen, 2000; Palou et al., 2001; Ben-Yehoshua y Porat, 2005).

La podredumbre afecta a un porcentaje entre 3 y 6% de los frutos cosechados, e incluso un 8-12% cuando hay una climatología anómala (Tuset, 1987).

Entre las medidas utilizadas para su control se encuentra el uso continuado de los fungicidas de síntesis que presenta desventajas como la aparición de cepas resistentes, las restricciones regulatorias sobre residuos en países importadores de cítricos y su condición de no ser respetuoso con la salud y el medio ambiente (Artés, 2000; Smilanick et al., 2006).

Entre las medidas utilizadas para mejorar la vida postcosecha, el almacenamiento de los frutos de cítricos en frío entre 0°C y 2,2°C, disminuye tanto la germinación de esporas como el crecimiento de patógenos y retrasa la senescencia del fruto, proporcionando una resistencia fisiológica al fruto frente al ataque microbiano.

Aún así, a 0°C se puede producir un crecimiento significativo de *Botrytis* sp., *Alternaria* sp. o *Penicillium italicum* (Martinez-Javega, 1995) y a temperaturas mínimas de 4,5°C de *Rhizopus* sp. (Tuset, 1999)

*P. digitatum* (moho verde) y *P. italicum* (moho azul) son los que producen mas comúnmente el podrido de fruta en los almacenes.

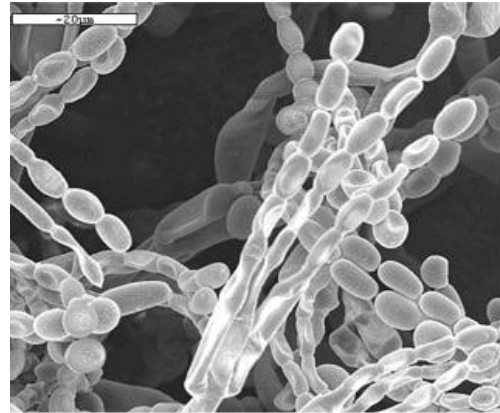


Foto 1. Síntomas de *P. digitatum* y *P. italicum*

Foto 2. Conidióforos y conidiosporas de *Penicillium* sp.

La contaminación de los frutos se produce por las esporas depositadas en las heridas de la piel. En el caso de *P. italicum*, las hifas pueden atravesar la piel del fruto sano y producirse la contaminación por contacto.

*P. digitatum* se desarrolla a una temperatura de 20°C y *P. italicum* entre 3 y 32°C, necesitando ambas especies de una humedad relativa alta.

*Alternaria citri* también produce podrido en cítricos. Sus esporas son transportadas por el viento, llegando a los pedúnculos u ombligos de los frutos pequeños, donde se quedan latentes o si las condiciones de humedad y temperatura son adecuadas, penetran en el interior del fruto, pudiendo producir la pudrición de la parte interna del mismo. Durante la conservación en cámara fría (con temperaturas cercanas a 0°C) se puede observar unas manchas marrón oscura en la piel.



Foto 3. Espora de *A. Citri*

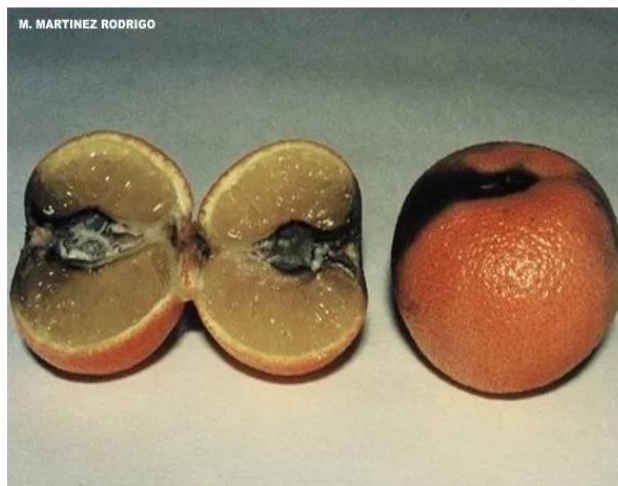


Foto 4. Pudrición producida por *A. citri* en cámara fría

*Botritis cinerea* infecta a los frutos de cítricos frecuentemente en condiciones de cámara fría por humedad excesiva y falta de aireación. La superficie del fruto se cubre de una masa de conidias de aspecto algodonoso de color oscuro.



Foto 5. Conidióforos y conidias de *B. cinérea*.

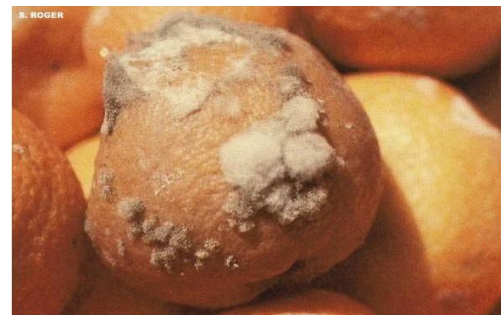
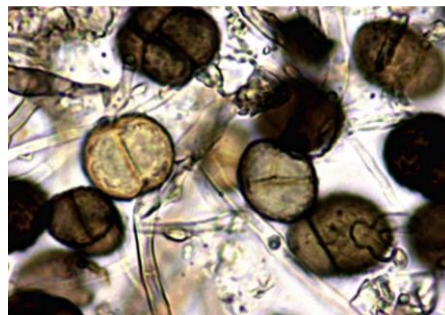


Foto 6. Síntomas de pudrición del fruto por *B. cinerea*

*Rhizopus nigricans* produce una podredumbre blanda en los frutos. La causa principal de esta pudrición es la falta de cuidado con el manejo de la fruta en la cámara, produciendo heridas que proporcionan al hongo una vía de entrada. Para infectar necesita una herida. Su temperatura óptima de crecimiento se encuentra entre los 25-26°C, siendo la mínima de alrededor de 4,5-5°C y la máxima entre 32-



33°C. Sus esporas son susceptibles a las bajas temperaturas y no pueden desarrollarse por debajo de los 2°C.

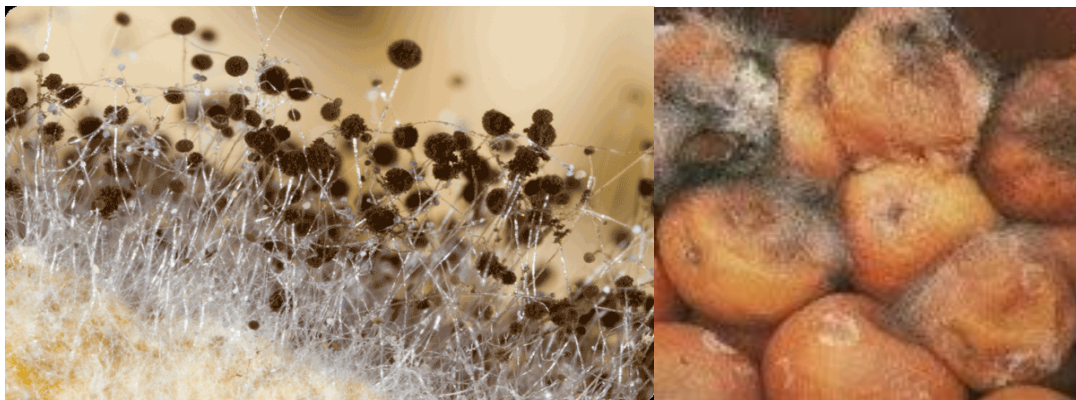


Foto 7. Hifas con esporangios de *R. nigricans*.

Foto 8. Podredumbre blanda en los frutos ocasionada por *R. nigricans*.

(<http://www.tecnicoagricola.es/enfermedades-o-patogenos-mas-importantes-en-postcosecha-de-citricos/2017>)

Puesto que la frigoconservación no es suficiente, es una motivación de esta tesis mejorarla mediante la aplicación de medidas culturales, respetuosa con el medio ambiente, como es la restricción del aporte de agua con y sin aporte de abonado durante el cultivo para conseguir frutos con una vida postcosecha mas larga durante la conservación en frío y con a una menor incidencia de enfermedades fúngicas, sin olvidar que deben mantener también la calidad comercial (pérdida de peso y firmeza), sensorial (grados Brix, índice de madurez, pH y acidez) y funcional (vitamina C y flavonoides) de los frutos hasta que éstos lleguen al consumidor.

Según Kader (2002), la calidad es 'una combinación de características, atributos o propiedades que dan al producto el valor de alimento para el consumo humano'. Este término está relacionado tanto con la aceptación organoléptica y nutricional, como con su aspecto externo.



La calidad nutricional es un componente de la calidad global muy valorado por el consumidor. Existen muchos ensayos clínicos y estudios epidemiológicos que demuestran que el consumo de frutas y verduras es beneficioso para la salud y previene procesos degenerativos, accidentes cerebro y cardiovasculares y disminuye la tasa de incidencia y mortalidad de cáncer. En particular, los cítricos son una gran fuente de vitaminas, caracterizándose por su alto contenido en vitamina C, principal responsable de la capacidad antioxidante de los cítricos junto con su riqueza en compuestos polifenólicos como por ejemplo los flavonoides.

Las bajas temperaturas disminuyen la posibilidad de aparición de patógenos en la fruta, a pesar de que a 0°C pueden aparecer hongos como *Penicillium italicum*, *Botrytis* sp, o *Alternaria* sp (Martinez-Javega., 1996). Por otro lado, a través del almacenamiento, el frío reduce la respiración de la fruta y retrasa la senescencia de los mismos, además también disminuye la infección por patógenos postcosecha.

Otro motivo son los programas de cuarentena que consiste en aplicaciones a los que se someten los frutos destinados a otros países para evitar la entrada de patógenos o insectos. El ejemplo más conocido es la aplicación de frío para el control de las moscas del Mediterráneo. En España se recomienda 16 días a temperatura de pulpa inferior a 2°C (Martinez-Javega, 1996).

Sin embargo, uno de los mayores problemas del sector es que no se puede almacenar la fruta más allá del corto plazo de forma generalizada, este matiz obliga a recolectar y comercializar la fruta cuando llegue su fecha, no permitiendo así especular con el precio. La fruta entra en cámara con la finalidad de mantener la calidad comercial siendo necesaria la realización de tratamientos postcosecha para su mantenimiento. La calidad de los cítricos es una mezcla de características, atributos y propiedades que le da valor al cítrico como un alimento. Determinados parámetros como índice de madurez, porcentaje de zumo, firmeza, tamaño, daños y podredumbres son usados por los distintos países para establecer los parámetros y normas de calidad. En el mercado actual la alimentación saludable y de alta calidad es tenida en cuenta por parte de la sociedad a la hora de su

consumo. Parámetros como la Vitamina C y los flavonoides son muy valorados como elementos beneficiosos por parte del consumidor (Martinez-Jávea., 2004).

En cuanto a anticipar el futuro del sector citrícola andaluz, se deberían buscar nuevas vías de mercado: incrementando la oferta varietal y las ventas en países de la UE. Otra mejora es el incremento en la exportación a nuevos países extracomunitarios que actualmente suponen un 8% de la cifra global de exportación (Álvarez Ramos., 2016).

La mejora en oferta varietal ya es un hecho. Se están introduciendo nuevas variedades para tener nuevas ventanas de mercado. Variedades extratempranas como la *Clemenrubí* o tardías como las naranjas *Navel Powell*, *Chislett* o híbridos como *Nadorcot* han incrementado la oferta para el mercado (ESYRCE 2015).

Sin embargo para el sector citrícola, el aumento de las exportaciones dentro o fuera de la Unión Europea sigue suponiendo una dificultad de venta: el coste y la pérdida en calidad durante el almacenamiento y transporte (Pérez Aparicio., 2007). Por lo tanto, cualquier mejora en la estabilidad de la fruta en cámara ayudaría a reducir dicho gasto o conseguir mejor calidad de la fruta en el destino.

En este sentido, el optimizar el uso de los recursos hídricos y los fertilizantes para mejorar la calidad final de la fruta en recolección y en cámara sería uno de los objetivos principales para la permanencia y competitividad actual y futura del cultivo.

### **1.3. OPTIMIZACION DEL USO DEL AGUA EN LA CITRICULTURA.**

La falta de disponibilidad de recursos hídricos junto con el alto coste del riego, está obligando a un cambio en la mentalidad para la gestión óptima de los recursos hídricos. Se trata en este sentido de obtener producciones económicamente rentables pero con dotaciones de riego inferiores a las óptimas requeridas por los cultivos.

Entre dichas técnicas está la denominada Riego Deficitario. El riego deficitario se puede definir como aquella estrategia de suministro de agua, que aún no llegando a cubrir las necesidades óptimas del cultivo, no llega a producir reducciones importantes ni en la cantidad y calidad de la cosecha (Torrecillas et col., 1996) (Gasque., 2016)

Dentro de las distintas estrategias aplicadas a día de hoy, podríamos hablar del riego deficitario de forma sostenida (García-Tejero y col., 2010a); o riego deficitario controlado (RDC) (García-Tejero y col., 2010b) donde la restricción se aplica sólo en determinados momentos del ciclo fenológico, fundamentalmente en aquellos donde el cultivo se muestra menos sensibles al déficit hídrico, o bien los efectos en la producción final son mínimos. La elección de una u otra estrategia dependerá de la fisiología del cultivo, de las condiciones edafoclimáticas y de las disponibilidades del suministro de agua por parte del agricultor. En este sentido, la aplicación de una determinada estrategia de RDC consistirá en reducir los aportes hídricos en determinados periodos fenológicos en los que un déficit hídrico no afecte de manera significativa a la producción y calidad de la misma; cubriéndose total o parcialmente las necesidades hídricas de la planta durante el resto del ciclo de cultivo (Torrecillas et col., 2016)

Para poder aplicar diferentes estrategias de RDC correctamente es necesario determinar el grado de susceptibilidad en los distintos periodos fenológicos al déficit hídrico. Estudios realizados en Andalucía (en la Vega del Guadalquivir) por García-Tejero y col. en el 2010a, b han demostrado que los recortes de riego en distintas fases del cultivo afectan de manera diferente a la producción y calidad de la naranja. Así, por ejemplo una restricción de agua del 55% en las fases de floración y crecimiento de fruto y del 70% en maduración producen una merma del 20% en producción frente al control.

El RDC considera que las restricciones de agua deben aplicarse en función de la fase de desarrollo en la que se encuentre el cultivo, minimizando la repercusión en la producción y calidad del producto cosechado.

Una cuestión importante a la hora de definir las posibles estrategias deficitarias en el cultivo de cítricos, es el conocimiento de las diferentes fases de evolución del fruto: *floración y cuajado (primavera)*, *crecimiento del fruto* y *maduración o envero del fruto*.

De acuerdo con algunos autores como Doorenbos y Kassam (1979) o García-Tejero y col. (2010b), restricciones de agua durante la primera fase del cultivo (floración y cuajado) pueden implicar una menor producción provocado por una mayor caída de fruta durante el mes Junio, aunque dicho efecto estará muy determinado por el nivel de precipitaciones en primavera y el cuajado inicial del fruto (Doorenbos., 1979) (García Tejero et col., 2010)

Por otra parte, restricciones de agua durante el periodo de crecimiento del fruto y a final del ciclo del cultivo (maduración y envero) pueden reducir en parte el tamaño del fruto pero en menor medida, pudiendo incluso llegar a recuperar su tamaño normal en función del grado de stress aplicado (Coen y Goell, 1988). (González-altozano y Castel 2003<sup>a</sup>, 2003b, 2000, 1999).

Los trabajos realizados por García-Tejero y col. (2010b) en la variedad Navel mostraban que el déficit de agua, jugaba un papel muy importante en la calidad del fruto, tanto en sus parámetros cualitativos como morfológicos. Así, la reducción del volumen del agua disminuía la rotura o colapso (breakdown) del albedo, pudiendo estar relacionado con la reducción del tamaño del fruto, pero aumentaba los grados Brix y disminuía la acidez, pudiendo ser interesante desde el punto de vista de la producción de zumo, más que el consumo de fruto fresco. (García-Tejero y col. 2010).

Por tanto, una optimización del aporte de agua pasa directamente por un recorte en los niveles de transpiración del cultivo, a través de una disminución del agua aportada. La posibilidad de conocer el límite de reducción de agua sin producir efectos negativos ni en el desarrollo vegetativo ni en la producción y calidad en campo y en cámara, sería un dato muy interesante para optimizar las explotaciones destinadas a la citricultura (Aguado et col., 2016)

Sin embargo, un factor determinante que no se ha tenido en cuenta en la mayoría de los trabajos anteriores ha sido mantener el aporte nutricional durante los periodos de ahorro de agua, de manera que las principales estrategias de ahorro de agua han sido evaluadas desde una perspectiva de la producción, tratando de comprometer lo menos posible la producción final, pero haciendo poco hincapié en los efectos provocados en los parámetros nutricionales más importantes para el cultivo de cítricos (caso de la vitamina C o los flavonoides).

Por último, las prácticas de cosecha y postcosecha pueden ser factores determinantes para la conservación y calidad final de los frutos cítricos. En este sentido se deben cuidar las etapas del proceso, comenzando con la cosecha, para impedir el deterioro de la calidad de los frutos durante la postcosecha. La susceptibilidad de los frutos al desarrollo de alteraciones fisiológicas y patológicas depende de la variedad, condiciones climáticas o la fertirrigación aplicada (Agustí, 2003). En este sentido, frutos sometidos a transporte o a una larga estancia en la cámara son más susceptibles de presentar podredumbres. Resulta por lo tanto determinante estudiar la influencia de las estrategias deficitarias (con y sin aporte de abono) en condiciones de campo sobre la susceptibilidad a patógenos por en los frutos durante su vida postcosecha en la cámara de frío.



## 2. OBJETIVOS

Tras el análisis de la problemática actual en el sector de los cítricos en Andalucía donde la escasez de agua en agricultura, el incremento de los costes de cultivo, la mayor exigencia en calidad y precio de la fruta por parte de los países importadores y la creciente competencia de terceros países, es necesario una mayor tecnificación y manejo de los inputs de las explotaciones buscando una mejora de la calidad de la cosecha con un ahorro significativo de costes.

Este trabajo de investigación pretende avanzar hacia una mejora de la productividad y la calidad de los cítricos (obtención de cítricos con óptimas propiedades organolépticas y saludables) mediante el uso de estrategias de riego deficitario y fertilización. Para ello, los objetivos específicos considerados en los dos sistemas de producción de naranjas considerados (integrada y ecológica) en la presente Tesis Doctoral son:

- 1) **Conocer las diferencias productivas** y de calidad bajo dos sistemas de producción diferenciados: integrada y ecológica.
- 2) **Conocer la influencia de los distintos tratamientos de riego y fertilización sobre la productividad y la calidad del fruto:** características organolépticas y saludables de la fruta.
- 3) **Conocer la incidencia y severidad de los patógenos en postcosecha** en fruta conservada en cámara y cultivada bajo distintas condiciones de riego y fertilización.

- 4) **Elaboración de un calendario de recomendaciones** para la gestión eficiente de los recursos hídricos limitados.
  
- 5) **Establecer los umbrales de estrés** en los diferentes periodos fenológicos del cultivo como punto de partida para la gestión sostenible de dotaciones hídricas deficitarias.



### 3. MATERIAL Y MÉTODOS

#### 3.1. LOCALIZACIÓN, DESCRIPCIÓN Y CLIMATOLOGÍA DE LAS PARCELAS DE ENSAYO

El presente trabajo de investigación se realizó durante tres años consecutivos (2010 – 2012) en tres plantaciones comerciales de naranjos (*Citrus Cinensis* L. Osb. cv. Navelina) sobre patrón Citrange Carrizo (*Citrus sinensis* L. Obs x *Poncirus Trifoliata* L. Raf.), en dos localizaciones diferentes (Córdoba y Huelva) y bajo dos sistemas de producción diferenciados (control integrado y ecológico) (Figura 5).



A: Ensayo de producción integrada ubicado en la provincia de Córdoba, en la localidad de Palma del Río, finca “Sotogordo”



B: Ensayos de producción integrada y ecológica ubicado en la provincia de Huelva, en la localidad de El Campillo y Nerva respectivamente

Figura 5. Localización de las parcelas de los ensayos en tres localidades. A: Ensayo de producción integrada en Palma del Río (Córdoba). B: Ensayos de producción integrada y producción ecológica en El Campillo y Nerva (Huelva)

## **Ensayos 1 (producción ecológica) en Nerva y 2 (producción integrada) en El Campillo (Huelva).**

Las parcelas experimentales se localizaron en la provincia de Huelva, cercanas al término municipal de Río Tinto; en plena producción y bajo condiciones óptimas de manejo; sin restricciones en aportaciones nutricionales y con unas dotaciones hídricas medias por campaña de 5000 m<sup>3</sup>/ha, dependiendo de las precipitaciones, evapotranspiración y disponibilidad de agua de riego.

El clima de la zona de estudio se caracteriza por ser estacional, de tipo mediterráneo: con otoños e invierno suaves, normalmente con temperaturas mínimas superiores a los 0 °C y precipitaciones repartidas principalmente entre los meses de octubre a mayo. Los veranos son especialmente calurosos, con temperaturas máximas que llegan a superar en ocasiones los 40 °C. La pluviometría media anual y evapotranspiración acumulada es de 600 y 1.400 mm, respectivamente, existiendo un importante déficit hídrico que se acumula especialmente en los meses de primavera y verano.

Durante el periodo de estudio, el año 2010 fue especialmente generoso en cuanto a las precipitaciones, registrándose 1.380 mm, seguido de año 2011 con 816 mm y el año 2012, con 504 mm.

En cuanto a las temperaturas, durante los años 2010 y 2012 se registraron más de quince días con temperaturas por encima de los 38 °C, mientras que durante el año 2011, tan sólo dos días se registraron valores por encima de dicho umbral (Figura 6). Las temperaturas invernales fueron suaves, no llegando a bajar de 0 °C, excepto en los años 2010 y 2012, que tuvieron tres días con temperaturas mínimas inferiores a dicho umbral por debajo de 0 °C (Figura 6).

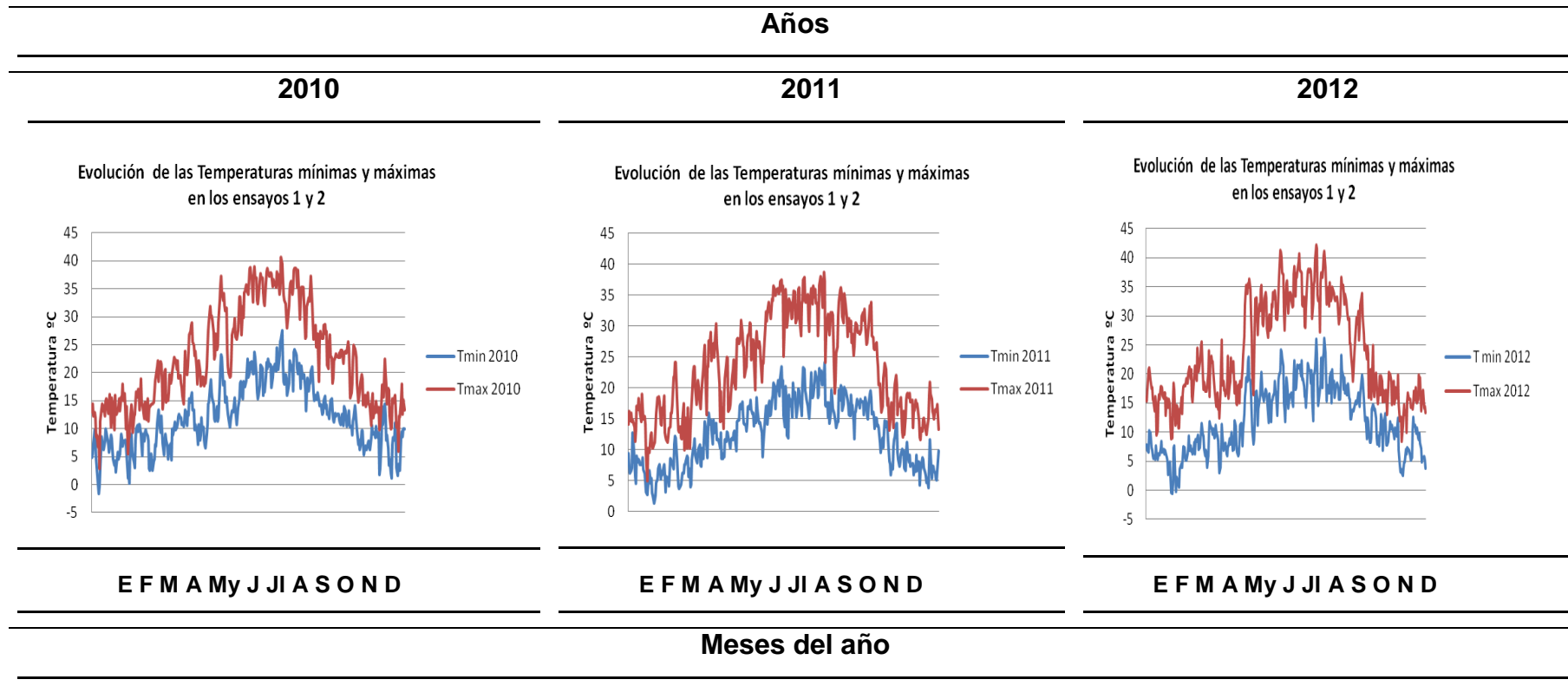


Figura 6. Evolución de las Temperaturas mínimas y máximas para los ensayos 1 (producción ecológica) y 2 (producción integrada) en los años 2010, 2011 y 2012

**El ensayo 1** (producción ecológica) se localizó en el término municipal de Nerva (37°42'41.72" N; 6°32'10.74"W) sobre una superficie de 0,8 ha, dentro de una parcela comercial en producción bajo un sistema de producción ecológica, en árboles de 12 años de edad y marco de plantación de 6 x 4,5 m. El sistema de riego fue localizado, con dos ramales por fila de árboles y emisores autocompensantes de caudal 1.6 L/h a 0.75 m de distancia uno de los ramales y de 1.2 L/h a 0.50 m de distancia el otro. La altura media de los árboles era de 3 m y un diámetro de copa de 3.5 m. Los árboles estaban plantados en terrazas de 6 m de ancho, con una altura entre terrazas de aproximadamente 1 m y una pendiente media de 15°. El abonado a lo largo del ciclo del cultivo tuvo un equilibrio nutricional de N P K Ca: 150-100-75-130 kg/ha.



Foto 9. Parcela de ensayo de producción ecológica (ensayo 1) de la variedad Navelina en la localidad de Nerva (Huelva).



**El ensayo 2** (producción integrada), se localizó en el término municipal de El Campillo (37°44'46.21" N; 6°38'19.62" W) sobre una superficie de 0,8 ha, dentro de una plantación comercial en condiciones de producción en control integrado, sobre árboles de 12 años de edad, y un marco de plantación de 6 x 4.75 m. El sistema de riego utilizado fue localizado, con dos líneas de goteo por fila de árboles y emisores autocompensantes de caudal 2.1 L/h a 0.75 m en uno de los ramales y 1.6 L/h a 0.75 m. La altura media de los árboles fue de 3 m, con un diámetro de copa de 3.5 m. El abonado a lo largo del ciclo del cultivo tuvo un equilibrio nutricional de N P K Ca: 200-140-200-230 kg/Ha.



Foto 10. Parcela de ensayo de producción integrada (ensayo 2) de la variedad Navelina en la localidad de El Campillo (Huelva).

### **Ensayo 3 (producción integrada) en Palma del Río (Córdoba)**

La parcela experimental se localizó en una finca comercial de naranjos de 6 años de edad, en el término municipal de Palma del Río (Córdoba) (37°40'47.86" N; 5°21'46.21" W) bajo condiciones óptimas y sin restricciones en fertirrigación con un aporte hídrico medio anual a través del riego localizado estimado en 3.000 m<sup>3</sup>/ha en función de las precipitaciones, evapotranspiración y disponibilidad de agua de riego.

El clima donde se sitúa la parcela está clasificado como mediterráneo, con una precipitación media de 475 mm distribuida principalmente entre los meses de noviembre a febrero. Las temperaturas invernales no suelen bajar de 0°C con veranos especialmente calurosos, superando temperaturas por encima de los 40 °C. La evapotranspiración anual acumulada es de 1.600 mm existiendo un déficit hídrico de 1.100 mm.

Durante los años del ensayo, el 2010 fue el año de mayor pluviometría, con 1.165 mm. El resto de años, la pluviometría total fue similar: 537 mm en 2011 y 533 en 2012.

Las temperaturas máximas por encima de 40 °C se registraron durante más de diez días en los años 2010 y 2012, frente al año 2011 donde sólo hubo tres días en donde se registraron temperaturas superiores a dicho valor. Durante los meses de invierno, las temperaturas fueron especialmente bajas durante el año 2012 llegando a alcanzar valores por debajo de los -7 °C durante el mes de febrero. El resto de años, si bien hubo temperaturas por debajo de 0 °C, éstas se alcanzaron en días puntuales (Figura 7).

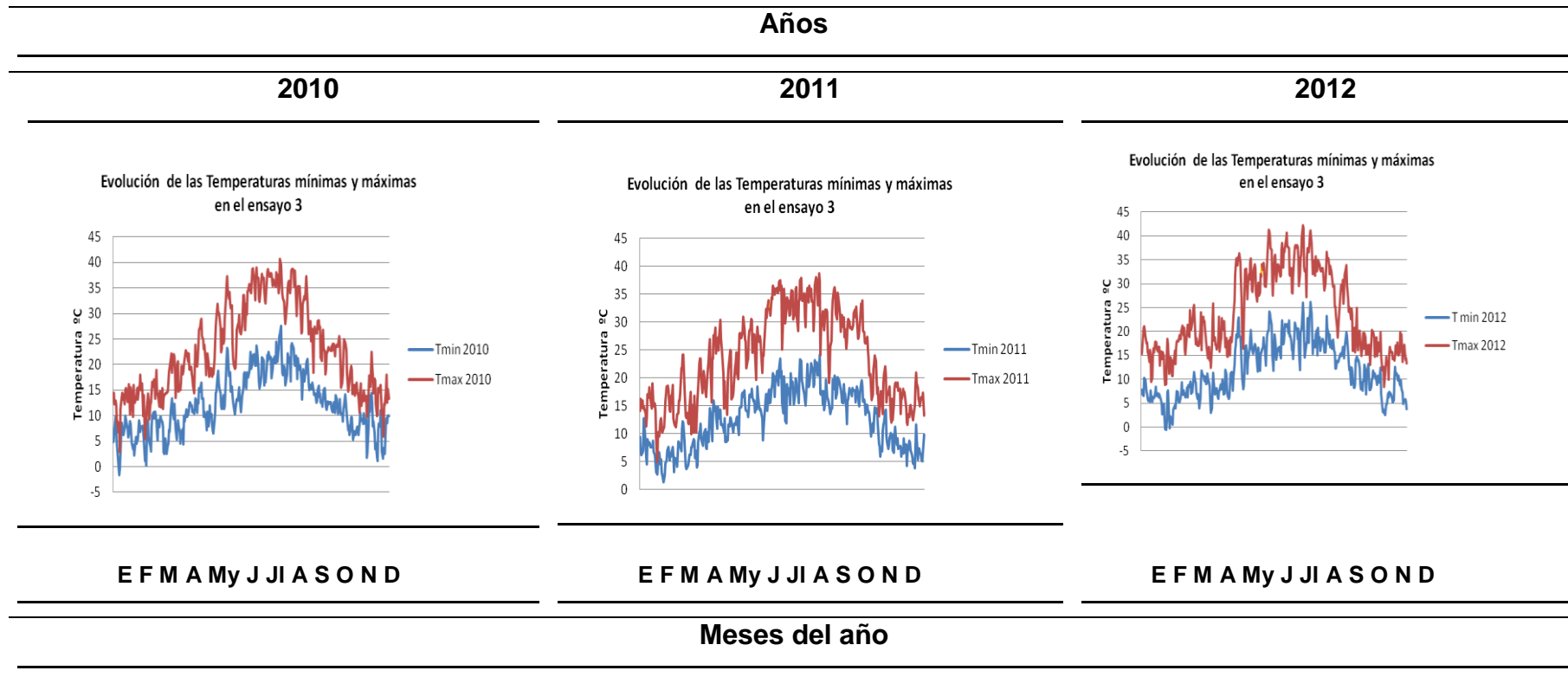


Figura 7. Evolución de las Temperaturas mínimas y máximas en el ensayo 3 (producción integrada) en los años 2010, 2011 y 2012

Los árboles de 5 años de edad, se encuentran distribuidos en un marco de plantación de 6 x 4 m y un sistema de riego localizado con de dos ramales por fila de árboles, con goteros autocompensantes de caudal 2.3 L/h y 5.33 goteros/árbol. La altura media de los árboles era de 1.70 m, con un diámetro de copa de 1.8 m. La superficie total controlada fue de 0.8 ha, y el abonado a lo largo del ciclo del cultivo tuvo un equilibrio nutricional de 120-70-120 kg/ha.



Foto 11. Parcela de ensayo de producción integrada (ensayo 3) de la variedad Navelina en la finca Sotogordo en localidad de Palma del Río (Córdoba).



### 3.2. DESCRIPCIÓN DE TRATAMIENTOS DE RIEGO

Teniendo en cuenta la diversidad inicial de cada uno de los ensayos, se plantearon tres tratamientos de riego en cada uno de ellos, para poder evaluar la influencia de éstos en los diferentes caracteres estudiados.

1) Fertirrigación convencional (**Control**): Los árboles sometidos a dicho tratamiento fueron regados cubriendo el 100% de su demanda evapotranspirativa y abonados conforme a sus necesidades, siguiendo las prácticas culturales de la finca donde se ubicaba el ensayo, sin restricción de ningún tipo.

2) Riego deficitario controlado (RDC) sin aporte de abono (**SSA**): Se aportó un 75% de la evapotranspiración del cultivo (ETc) durante los periodos de crecimiento de fruto (julio), maduración y envero (septiembre), suponiendo dicho aporte un ahorro de agua del 25% durante dichos periodos con respecto al tratamiento control, además de la reducción de abono, ya que la fertilización se realizaba a través del sistema de riego.

3) Riego deficitario controlado (RDC) con aporte de abono (**SCA**): Se aplicaron los mismos aportes que en el tratamiento SSA, pero manteniendo los niveles de fertilización del tratamiento control, de forma que en este caso, las reducciones fueron exclusivamente en base a las necesidades hídricas pero sin restricciones nutricionales.

### 3.3. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño experimental fue de bloques al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones para cada uno de ellos. La unidad experimental constaba de tres filas con cinco árboles por fila, siendo los tres árboles centrales los que fueron

utilizados para todos los caracteres estudiados, y el resto como borde para evitar la influencia de los tratamientos colindantes. La unidad experimental fue de 405 m<sup>2</sup> en los ensayos 1 y 2; y de 360 m<sup>2</sup> para el caso del ensayo 3 (Figura 8)

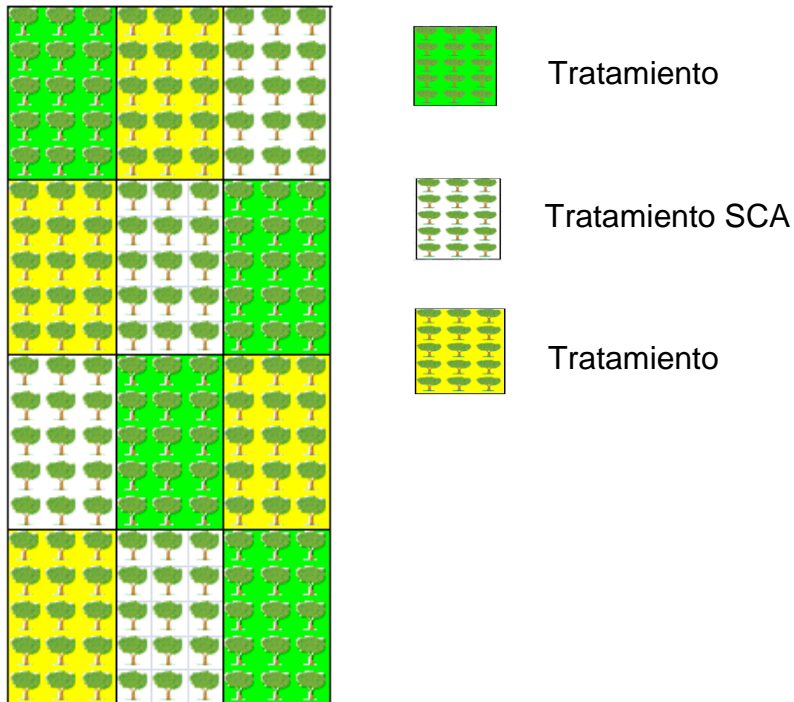


Figura 8. Plano del diseño experimental en bloques al azar con tres tratamientos y cuatro repeticiones.

Para poder llevar a cabo la diferenciación en los distintos tratamientos de riego, se dispusieron gomas de riego paralelas a las que inicialmente estaban instaladas por parte de la finca mediante la instalación de empalmes de las gomas de riego en forma de “V” con cuatro grifos manuales (dos para cerrar el riego de la parcela y dos para abrir las gomas del riego deficitario controlado). Este sistema iba unido al sistema de riego de la parcela para permitir abrir y cerrar el sistema a voluntad (Foto 12). La descripción de las cintas de riegos instaladas son las descritas en el apartado 4.1., siendo diferentes según las fincas, pero suponían un 25% menos de caudal respecto a los goteros de los tratamientos control.

Finalmente se instaló un caudalímetro al principio de cada uno de los bloques de los tratamientos con objeto de controlar la cantidad de agua aplicada en cada uno de los tratamientos.



Foto 12. Detalle de gomas de riego en "V" con grifos manuales

Para la corrección de abonado en el tratamiento SCA, se usó un sistema de inyección tipo venturi que permitía realizar las correcciones en las dosis de abonado de forma semanal en las diferentes repeticiones de dicho tratamiento.

La dosificación del riego fue calculada mediante el producto de la  $ET_0$  y el coeficiente de cultivo ( $K_c$ ) (Doorenbos y Pruitt, 1977), además de un coeficiente de reducción ( $K_r$ ) directamente relacionado con el índice de cobertura de la parcela (Ferreeres et al. 1981), y unos requerimientos de lavado (RL) (Mass y Hoffman, 1977).

Los datos climáticos se obtuvieron de las estaciones agroclimáticas cercanas a las parcelas de ensayo e integradas la red de estaciones agroclimáticas de la Junta de Andalucía. Las estaciones seleccionadas fueron las situadas en Palma del Río (Córdoba) SW España ( $37^{\circ} 43' 32''$  N,  $05^{\circ} 13' 37''$  W) En El Campillo (Huelva) SW España ( $37^{\circ} 39' 39''$  N,  $06^{\circ} 35' 57''$  W).

### 3.4. CARACTERES ANALIZADOS

#### 3.4.1. Potencial hídrico

Se realizó un seguimiento del potencial hídrico foliar usando una cámara de presión tipo Scholander (Soil Moisture Equipment Corp., Sta. Barbara, CA, USA), siguiendo el procedimiento descrito por Schölander y col. (1965) (Foto 13), para lo cual se seleccionaron hojas totalmente desarrolladas y extendidas.

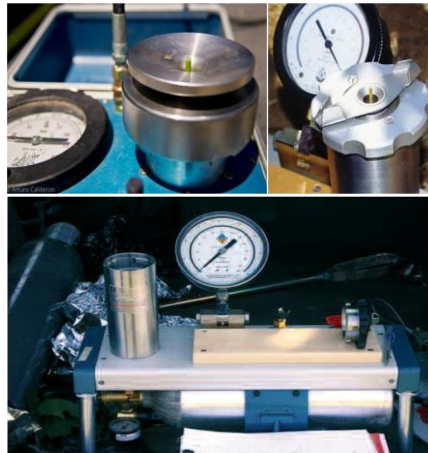


Foto 13. Cámara de presión Scholander

Los periodos de muestreo se hicieron coincidir con los momentos en donde se aplicaron las restricciones de riego en los tratamientos de estrés; al inicio, mediados y al final de los mismos (Foto 14).

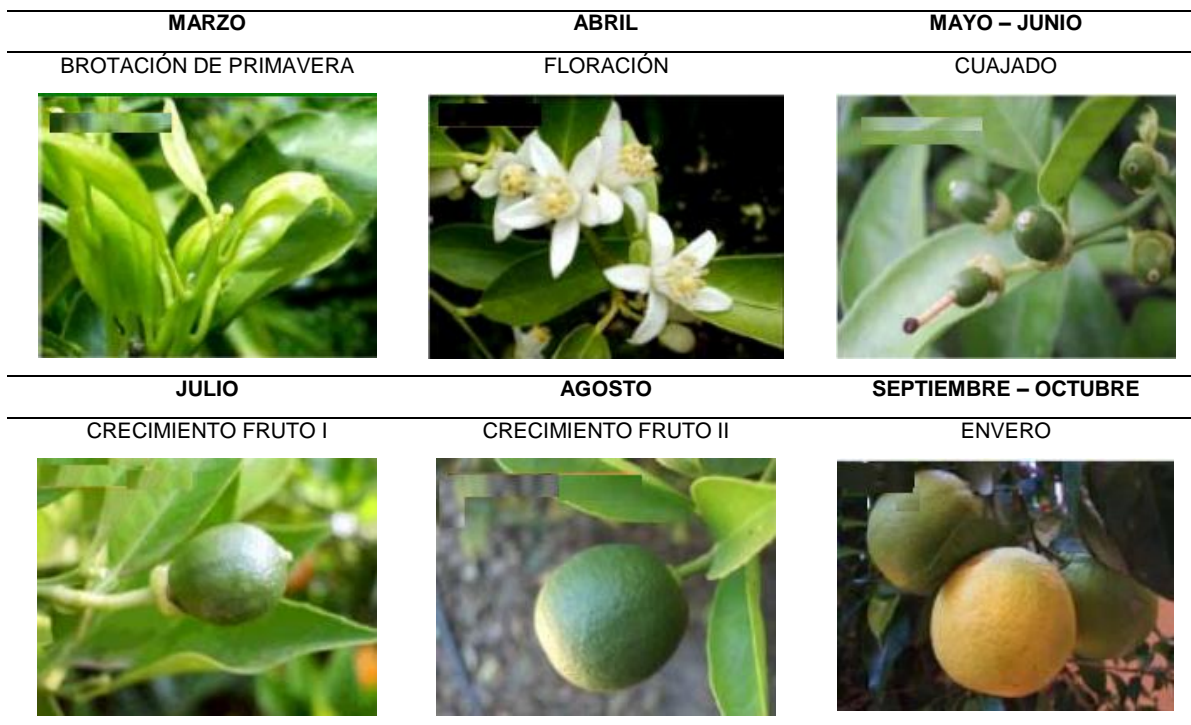


Foto 14. Estados fenológicos y fecha de los periodos de riego deficitario controlado en los distintos tratamientos de las parcelas.

Las medidas se hicieron en tres hojas por árbol monitorizado y en tres árboles por parcela experimental. Las hojas muestreadas estaban completamente sanas, maduras y expandidas, y situadas en la cara norte del árbol, siempre sombreadas. Las mediciones se llevaron a cabo a mediodía, entre las 12:00 y 14.00 h, situando la cámara de presión lo más cerca posible del árbol donde se iba a realizar la medición con el fin de que los datos obtenidos fuesen lo más estables posibles.

El potencial hídrico del cultivo es una medida referida a la fuerza con la que el agua es retenida en los tejidos de la planta. Este potencial está directamente relacionado con la disponibilidad de agua en el suelo y caracteriza cualitativa y cuantitativamente el estado hídrico de la planta. (García-Tejero y col., 2014).

La medida del potencial hídrico es relativamente sencilla, de manera que una

parte de la planta (normalmente una hoja o brote), se introduce en una cámara de presión en cuyo interior se bombea gas (normalmente nitrógeno seco). Cuando la presión en el interior de la cámara se iguala con la presión del agua en el interior de la hoja, se observa desde el exterior una pequeña humectación de la parte del peciolo que ha quedado fuera de la cámara de presión.

Esta medida cuenta con la ventaja de ser directa, fácil de realizar y relativamente económica. Sin embargo, requiere de un número de repeticiones importantes y por tanto una elevada cantidad de trabajo.

### **3.4.2. Producción y parámetros asociados**

El carácter producción en Kg/Ha se estimó en el momento de la cosecha. Los caracteres peso de los frutos, calibre transversal y longitudinal, dureza de fruto, grosor y peso de cáscara, peso y volumen de zumo y rendimiento en zumo, fueron medidos tanto en el momento de la cosecha como en la fruta almacenada en cámara fría después de un mes.

#### **3.4.2.1. Producción**

La producción (Kg/Ha) se evaluó a través del peso de los frutos por árbol muestreado. Se pesaron el total de frutos de tres árboles por tratamiento y repetición (Foto 15), utilizándose para los pesajes una báscula de 30 kg (Mettler Toledo Modelo 30 Kg) con precisión de  $\pm 10$  g. (Foto 16). Este carácter se midió en el momento de la cosecha.



Foto 15. Cajas de naranjas recolectadas de un árbol.



Foto 16. Báscula Mettler Toledo de 30 kg.

#### **3.4.2.2. Peso de los frutos**

Se tomaron 30 frutos de cada tratamiento y repetición, eligiendo para ello frutos orientados en los cuatro puntos cardinales. La recogida de frutos se realizó en el momento de la recolección. Los frutos se pesaron (gr) en laboratorio en una balanza de precisión modelo Acculab, con precisión de  $\pm 0,01$  Kg (Foto 17). Esta medida se repitió en la fruta almacenada en cámara fría después de un mes.





Foto 17. Balanza de precisión para el pesado de fruta en laboratorio.

### 3.4.2.3. Calibre transversal y longitudinal

La medición del diámetro ecuatorial y transversal de los frutos se realizó con un calibre digital (Mitutoyo CD-15D) con una precisión de  $\pm 0,01$  mm (Foto 18).

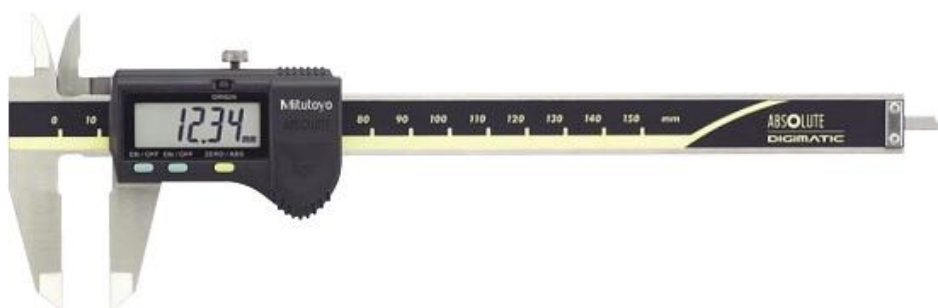


Foto 18. Pie de rey, medidor del calibre del fruto

### 3.4.2.4. Dureza de fruto

Se midieron todos los frutos recolectados con un durómetro con soporte Baxlo. El durómetro permite hacer mediciones no destructivas de frutas blandas que no deban ser atravesadas ni dañadas. Las unidades de medida son PSI (libra-fuerza por pulgada cuadrada), realizándose tres medidas por fruto en tres zonas diametralmente opuestas.





Foto 19. Durómetro con soporte Baxlo.

#### **3.4.2.5. Grosor de cáscara**

Tras el corte de los frutos por la zona ecuatorial del fruto, se realizaron sobre una de las dos mitades la medición del grosor de la corteza en milímetros, en un punto al azar, con un medidor de calibre digital (Mod. Mitutoyo CD-15D).



Foto 20. Medida del espesor de corteza.

#### **3.4.2.6. Peso de cáscara y peso y volumen de zumo**

La extracción de zumo se efectuó manualmente, por medio de un exprimidor (Mod. 4, 220V, Lomi). Una vez extraído, se pesó la cáscara del fruto (gr), el zumo (gr) en una probeta de 1 litro en una balanza Acculab de 5 Kg y se midió el volumen del zumo pesado en la probeta (mL).



---

Foto 21. Exprimidor de zumos Lomi.

---



---

Foto 22. Balanza Acculab con capacidad de pesaje de hasta 5 kg.

---

### 3.4.2.7. Rendimiento en zumo

Finalmente se obtuvo **el rendimiento** en peso de zumo a partir de la relación entre el peso de zumo y el peso total de la naranja (gr/mL).

### 3.4.3. Caracteres internos del fruto

#### 3.4.3.1. Sólidos solubles (Grados Brix) del zumo de naranja

Para la estimación del contenido en azúcares se consideró el valor de los sólidos solubles totales (SST), ya que del 75 al 85% de los mismos son azúcares (Agustí, 2003). En este estudio, para la determinación de los sólidos solubles totales se tomó una pequeña muestra y se midió mediante un refractómetro digital Mod. Atago de lectura automática referida a 20 °C.



Foto 23. Refractómetro digital Mod. Atago

#### 3.4.3.2. Acidez del zumo de naranja

La acidez total del zumo viene expresada como el número de gramos de ácidos contenidos en un litro del mismo. En el caso del zumo de los cítricos el ácido cítrico es el más representativo (Agustí, 2003).

Para la determinación de la acidez titulable (AT) se realizó una valoración ácido-base, neutralizando la acidez del zumo filtrado con hidróxido sódico (NaOH) 0,1 N hasta llegar a un pH final de 7. (Foto 24).



Foto 24. Medición de acidez en el zumo de naranja.

### 3.4.3.3. Índice de madurez

El índice de madurez es uno de los parámetros que permite definir el momento óptimo de recolección ya que existe un valor mínimo de azúcares para poder llevar a cabo la misma.

Las normas de calidad de los cítricos establecidas en el Reglamento CEE Nº1799/01 y sus posteriores modificaciones, Reglamento 2010/2002 y 2173/2003, así como los acuerdos adoptados por la Interprofesional Citrícola Española (Intercitrus) establecen unos mínimos de índice de madurez dependiendo el tipo de variedad (Tabla 2 ).

<b>VARIETADES DE CÍTRICOS</b>	<b>INDICE DE MADUREZ (<i>mínimo comercial</i>)</b>
<b>SATSUMAS</b>	<b>6.5</b>
<b>CLEMENTINAS</b>	<b>7</b>
<b>FORTUNE</b>	<b>8</b>
<b>ORTANIQUE</b>	<b>7.5</b>
<b>HIBRIDOS</b>	<b>7</b>
<b>NARANJAS</b>	<b>6.5</b>

Tabla 2. Índice de madurez mínimo exigido para poder recolectar según variedad.

El cálculo se realizó a través de la relación entre los sólidos solubles totales (SST) y la acidez titulable (AT).

### 3.4.3.4. Cuantificación de Vitamina C (ácido ascórbico) en el zumo de naranja

La extracción de vitamina C de las muestras de zumo se llevó a cabo partiendo de 10 mL de zumo de naranja, el cual fue agitado vigorosamente en un vortex y centrifugado a 10.000 rpm y 4 °C durante 15 minutos. Se tomó 1 mL del sobrenadante añadiéndose posteriormente 200  $\mu$ L de 1,4-Dithiothreitol (DTT). Posteriormente se dejó incubando en oscuridad durante 1 h a temperatura ambiente. Pasado este tiempo se filtró con una jeringa de 1mL y una malla de 0.45  $\mu$ m directamente a un vial de 1.5 mL para su utilización en Cromatografía Líquida de Alta Resolución (HPLC). Todas las muestras se prepararon por triplicado (tres replicas técnicas por cada muestra biológica).

La cuantificación de vitamina C se realizó usando HPLC – Shimadzu, modelo RF-20AX, con los siguientes accesorios: Columna CLC-C18 SHIMPACK de diámetro interno 4,6 mm, longitud 150 mm y tamaño de partícula de 5  $\mu$ m. Detector de Arreglo de Diodos (245 nm) y autosampler (inyector automático).

La curva de calibración de vitamina C se realizó preparando distintas concentraciones de ácido ascórbico: 0.1, 0.5, 1, 2 y 5 mg/mL, obteniendo sus cromatogramas y finalmente la recta de calibración en la que se enfrentan el área de las gráficas de los cromatogramas y las concentraciones de los distintos puntos (Figura 9). Las condiciones de trabajo están descritas en la Tabla 3.



Figura 9. Cromatograma de vitamina C. En el cromatograma se observa la absorbancia en mAU y el tiempo en minutos en el que se detecta el pico de ácido ascórbico.

### 3.4.3.5. Cuantificación de Flavonoides (hesperidina) en el zumo de naranja

La extracción de flavonoides se realizó mezclando 10 mL de zumo con 10 mL de una solución de Dimetilsulfoxido (DMSO) y Metanol (1:1). Se agitó la mezcla en un vortex y se centrifugó a 12.000 r.p.m. durante 15 minutos a 4 °C. Posteriormente se filtró con una jeringa de 1 mL y una malla de 0.45 µm directamente al vial de 1.5 mL para su utilización en HPLC.

La cuantificación de hesperidina se llevó a cabo mediante HPLC, y la columna descrita en el apartado anterior. Todas las muestras se prepararon también por triplicado (tres replicas técnicas por cada muestra biológica). La recta de calibración se obtuvo con la preparación de distintas concentraciones de hesperidina (0.1, 0.2, 0.3 y 0.4 mg/L). El cromatograma se puede observar en la Figura 10. Las condiciones para el análisis y extracción se muestran en la Tabla 3.

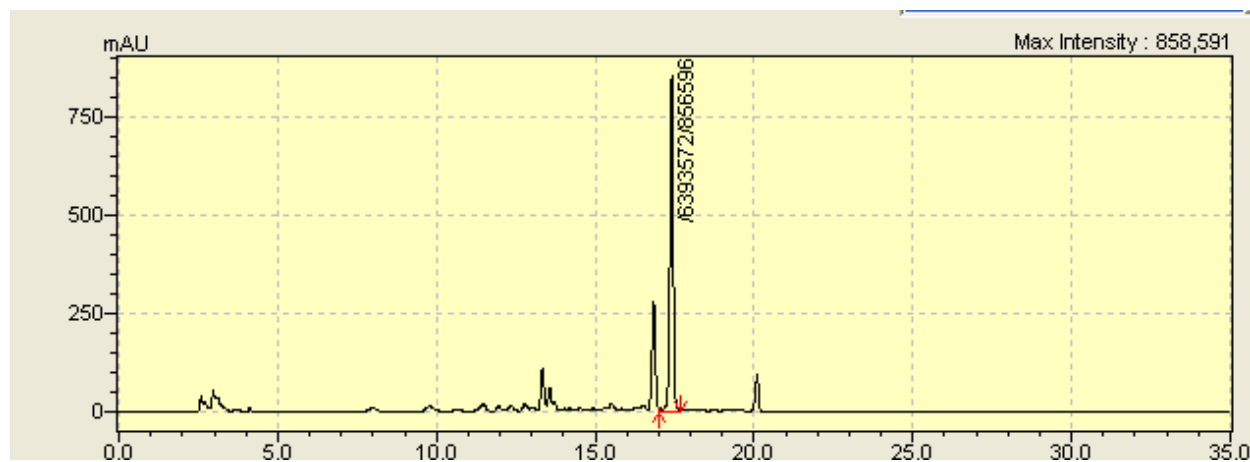


Figura 10. Cromatograma de flavonoides hesperidina. En el cromatograma se observa la absorbancia en mAU y el tiempo en minutos en el que se detecta el pico de hesperidina.

	<b>Vitamina C (ácido ascórbico)</b>	<b>Flavonoides (hesperidina)</b>
Fase Móvil	95% Agua con 0.6% de ácido acético 5% Metanol	Acetonitrilo Agua
Tasa de Flujo	1 mL/min	1 mL/min
Volumen de Muestra	5 µL	5 µL
Método	Isocrático: 6 minutos por muestra	Gradiente: 0-2 min: 10% acetonitrilo/90% agua 2-30 minutos: 75% acetonitrilo/25% agua 31-35 minutos: 10% acetonitrilo/90% agua 35 minutos por muestra
Tiempo de retención	4 minutos	17.56 minutos

Tabla 3. Condiciones de trabajo para la visualización y cuantificación de Vitamina C (ácido ascórbico) y flavonoides (hesperidina) en HPLC.

#### 3.4.3.6. Incidencia de pudrición de frutos

La pudrición se define como el deterioro del fruto debido a la presencia de patógenos (*Penicillium italicum* y *P. digitatum*, principalmente) (Foto 25).

Se realizó un análisis de la incidencia de podredumbres ocasionadas por *Penicillium* spp. en fruta almacenada en cámara. Se introdujo una bandeja con 25 frutos por tratamiento y repetición en cámara frigorífica durante 60 días (Foto 26). La incidencia se valoró como el porcentaje de frutos afectados en cada bandeja o caja.



Foto 25. Deterioro del fruto por pudrición causada principalmente por *Penicillium* spp



Foto 26. Cajas de 25 frutos de naranjas después de 60 días en cámara fría.

### 3.5. ANALISIS ESTADISTICO

Los datos fueron chequeados para conocer si cumplían los requisitos para el análisis de varianza (distribución normal, homogeneidad e independencia). Se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) para comprobar los efectos estadísticos significativos de las variables independientes. Las fuentes de variación del ANOVA fueron los años de estudio (2010, 2011 y 2012), las distintas parcelas de ensayo (2 de producción integrada y una ecológica), los tratamientos (Control, SSA y SSC) y las repeticiones. En el análisis de la varianza se ha estudiado la interacción entre los años, las parcelas y los tratamientos. Cuando se ha observado una interacción significativa, se ha llevado a cabo un análisis de varianza de cada año y de cada parcela, siendo en ese caso la fuente de variación los tratamientos y las repeticiones. Cuando en el ANOVA los valores de F fueron significativos, las medias fueron comparadas por el test de Tukey con una significación de  $P \leq 0.05$ . Los datos son presentados como la media para cada tratamiento. Los datos de porcentaje fueron transformados ( $\arcsine \sqrt{Y/100}$ ). Los análisis estadísticos fueron realizados con el software Statistix 9.0.



## 4. RESULTADOS Y DISCUSION

### 4.1. DOTACIONES HÍDRICAS Y RESPUESTA FISIOLÓGICA A LOS DIFERENTES TRATAMIENTOS ENSAYADOS

Las tablas 1, 2 y 3 muestran las condiciones hídricas en los diferentes ensayos planteados, así como las dotaciones aportadas en cada uno de los tratamientos diseñados y año de estudio.

En este sentido, en cuanto al ensayo 1, (Huelva), bajo control ecológico) (Tabla 4) cabe destacar la elevada variabilidad interanual en las condiciones climáticas del ensayo. En este sentido, durante los dos primeros años las lluvias primaverales fueron más intensas que durante el año 2012, lo que provocó una entrada en riego más tardía. Los valores de evapotranspiración del cultivo fueron especialmente altos durante el año 2012, lo que provocó que durante este año, las dotaciones hídricas fueran sensiblemente superiores a los dos años anteriores de estudio. Así mismo, durante el año 2012 las lluvias otoñales tempranas provocaron que los riegos se suprimieran relativamente pronto en comparación con las anteriores campañas de estudio.

Tabla 4. Balance del agua y dotaciones hídricas aportadas en el ensayo 1 durante los distintos estados fenológicos del cultivo y para cada año de estudio.

	2010				2011				2012			
	Estado fenológico				Estado fenológico				Estado fenológico			
	Floreación	Crecimiento	Maduración	Total	Floreación	Crecimiento	Maduración	Total	Floreación	Crecimiento	Maduración	Total
PR(mm) <sup>1</sup>	70	93	24	214	77	91	37	205	80	95	39	202
DDA(días) <sup>2</sup>	93-163	164-267	268-292	88-304	93-170	171-262	263-297	93-300	91-168	168-263	264-303	91-294
ETc(mm) <sup>3</sup>	149,52	432,83	43,94	626,28	162,38	390,52	31,02	583,91	188,39	448,89	65,03	703,31
Precipitación (mm)	130,96	23,52	29,44	183,92	183,84	15,20	15,49	214,53	112,48	0,80	76,96	190,24
Déficit (mm) <sup>4</sup>	-18,96	-409,31	-14,50	-442,76	21,46	-375,32	-15,53	-369,39	-75,91	-448,09	11,94	-513,07
CONTROL	20,00	410,00	13,00	443,00	20,00	380,00	13,00	413,00	80,00	470,00	13,00	563,00
SCA	20,00	320,00	8,00	348,00	20,00	270,00	8,00	298,00	80,00	350,00	8,00	438,00
SSA	20,00	320,00	8,00	348,00	20,00	270,00	8,00	298,00	80,00	350,00	8,00	438,00

<sup>1</sup>Periodo de riego, <sup>2</sup>Día del año, <sup>3</sup>Evapotranspiración estimada, <sup>4</sup>Déficit anual de agua (ETc – Lluvia)

Durante el año 2010, el tratamiento Control recibió el 100% de sus necesidades hídricas, una vez considerada la precipitación efectiva, mientras que los tratamientos deficitarios tuvieron un recorte cercano a los 100 mm, lo que supuso un recorte del 22% con respecto al control.

Durante el año 2011, el tratamiento Control recibió un 112% de sus necesidades de riego, mientras que los deficitarios, fueron regados con un 28% menos de agua que el tratamiento control.

Finalmente, en el año 2012, los aportes hídricos fueron, proporcionalmente similares a las campañas anteriores, recibiendo el tratamiento control un 110% de sus necesidades de riego, mientras que los deficitarios fueron sometidos a una restricción del 22%.

En cuanto al ensayo 2 (El Campillo (Huelva), Tabla 5), las dotaciones hídricas recibidas por los diferentes tratamientos fueron relativamente dispares para los tres años de estudio. En este sentido, en los dos primeros años, al igual que había ocurrido en el ensayo 1, y estar próximos entre sí, las lluvias otoñales fueron especialmente intensas en el 2012, aunque ello no pudo evitar que se realizaran aportaciones de riego, principalmente con objeto de cumplir las necesidades de abonado, lo que generó una campaña de riego primaveral más tardía. Las necesidades hídricas son muy parecidas respecto al ensayo 1 si bien en el último año (2012) hubo dos días de intensa lluvia que hizo que no se generase déficit hídrico durante el último periodo de maduración.

En cuanto a las dotaciones hídricas aplicadas, el tratamiento Control recibió durante los años 2010, 2011 y 2012 el 102, 111 y 118% de sus necesidades hídricas; mientras que los tratamientos deficitarios estuvieron sometidos a recortes del 20, 16 y 15% respectivamente.

Tabla 5. Balance del agua y dotaciones hídricas aportadas en el ensayo 2 durante los distintos estados fenológicos del cultivo y para cada año de estudio.

	2010				2011				2012			
	Estado fenológico				Estado fenológico				Estado fenológico			
	Floración	Crecimiento	Maduración	Total	Floración	Crecimiento	Maduración	Total	Floración	Crecimiento	Maduración	Total
PR(mm) <sup>1</sup>	75	97	31	206	82	86	41	209	80	95	40	200
DDA(días) <sup>2</sup>	88-163	164-261	262-293	78-162	92-167	168-264	265-296	92-296	80-163	164-267	268-308	91-294
ETc (mm) <sup>3</sup>	171,58	419,77	96,58	647,93	189,23	411,64	28,34	609,21	194,75	479,71	80,20	734,66
Precipitación (mm)	145,12	16,16	37,12	198,40	183,84	15,20	11,68	210,72	112,05	1,28	123,04	236,37
Déficit (mm) <sup>4</sup>	-26,46	-403,61	-19,46	-449,53	14,61	-396,44	-16,66	-398,49	-82,70	-478,43	62,85	-498,29
CONTROL	30,00	410,00	20,00	460,00	20,00	400,00	20,00	440,00	80,00	490,00	20,00	590,00
SCA	30,00	320,00	15,00	365,00	20,00	340,00	10,00	370,00	80,00	410,00	10,00	500,00
SSA	30,00	320,00	15,00	365,00	20,00	340,00	10,00	370,00	80,00	410,00	10,00	500,00

<sup>1</sup>Periodo de riego, <sup>2</sup>Día del año, <sup>3</sup>Evapotranspiración estimada, <sup>4</sup>Déficit anual de agua (ETc – Lluvia)

Por último, en el ensayo 3 (Palma del Río (Córdoba)), las precipitaciones durante el periodo de floración fueron generosas durante los tres años de estudio, si bien fue durante el año 2012 cuando se registraron las mayores precipitaciones en el periodo de maduración del fruto.

En términos generales, el tratamiento Control recibió el 101, 102 y 113%, mientras que los tratamientos deficitarios fueron sometidos a recortes globales entre el 17 y el 21%, dependiendo de la campaña.

A pesar de que los recortes hídricos no se prolongaron a lo largo de todos los periodos deficitarios, en términos medios se consiguieron ahorros cercanos a los 1.000 m<sup>3</sup>/ha con la importancia que ello podría suponer en términos de medioambientales, ahorro energético e incremento de la productividad del agua.

Tabla 6. Balance del agua en el ensayo 3 para los periodos de riego durante los distintos estados fenológicos del cultivo.

	2010				2011				2012			
	Estado fenológico				Estado fenológico				Estado fenológico			
	Floración	Crecimiento	Maduración	Total	Floración	Crecimiento	Maduración	Total	Floración	Crecimiento	Maduración	Total
PR(mm) <sup>1</sup>	82	87	28	203	75	86	42	215	89	92	38	198
DDA(días) <sup>2</sup>	88-168	169-236	237-285	80-235	91-166	167-255	256-296	91-296	78-167	168-260	261-299	83-283
ETc (mm) <sup>3</sup>	217,82	314,22	70,93	602,98	178,20	322,44	124,05	624,69	217,98	348,11	84,22	650,31
Precipitación (mm)	135,52	5,28	83,28	194,08	151,84	16,64	18,08	186,56	94,24	0,00	109,60	203,84
Déficit (mm) <sup>4</sup>	-82,30	-308,95	-17,65	-408,90	-28,36	-305,80	-105,97	-438,13	-123,74	-348,11	25,38	-446,47
CONTROL	85,00	310,00	20,00	415,00	25,00	310,00	110,00	445,00	125,00	350,00	30,00	505,00
SCA	85,00	230,00	10,00	345,00	25,00	250,00	75,00	350,00	125,00	270,00	20,00	415,00
SSA	85,00	230,00	10,00	345,00	25,00	250,00	75,00	350,00	125,00	270,00	20,00	415,00

<sup>1</sup>Periodo de riego, <sup>2</sup>Día del año, <sup>3</sup>Evapotranspiración estimada, <sup>4</sup>Déficit anual de agua (ETc – Lluvia)

Los recortes hídricos aplicados durante los periodos de crecimiento de fruto y envero provocaron una respuesta fisiológica acorde con los mismos. Así, en el ensayo 1, durante el periodo de estrés aplicado en periodo de crecimiento de fruto (Tabla 7), se localizaron diferencias significativas a los 15 días de restricción entre el tratamiento control y los deficitarios, siendo aún más patentes a los 30 días de restricción y antes de aplicar la recuperación. Durante el segundo periodo de estrés, aplicado en el periodo de maduración, nuevamente se detectaron diferencias entre el tratamiento control y los deficitarios, aunque en este caso tan sólo en el primero de los años de estudio. Al igual que había ocurrido durante el primero de los periodos, estas diferencias fueron especialmente patentes a los 30 días de aplicar el recorte de riego, con valores de potencial que superaron en algunos casos los -2.0 MPa.

Tabla 7. Evolución del potencial hídrico en el ensayo 1 en los diferentes tratamientos ensayados durante los periodos de estrés considerados

ENSAYO 1		1º STRESS			2º STRESS		
AÑO	TRATAMIENTO	CIERRE	15 DIAS	APERTURA	CIERRE	15 DIAS	APERTURA
2010	CONTROL	-0.8a	-0.8a	-1.0a	-1.2a	-1.6a	-1.5a
	SCA	-0.8a	-1.0b	-1.4b	-1.3a	-1.8b	-2.0b
	SSA	-0.8a	-1.1b	-1.4b	-1.1a	-1.7b	-1.8b
2011	CONTROL	-0.9a	1.0a	-1.1a	-1.3a	-1.7a	-1.4a
	SCA	-0.8a	1.3b	-1.6b	-1.2a	-1.6a	-2.3b
	SSA	-0.8a	-1.4b	-1.7b	-1.3a	-1.6a	-2.3b
2012	CONTROL	-0.9a	-1.3a	-2.0a	-1.6a	-2.0a	-1.8a
	SSA	-1.0a	-1.4a	-2.5b	-1.5a	-1.9a	-2.2b
	SCA	-0.9a	1.3a	-2.2b	-1.6a	-2.0a	-2.4b

En cuanto a la evolución de los potenciales en el ensayo 2 durante los periodos de estrés, nuevamente se pudieron apreciar diferencias entre el tratamiento control y el deficitario a los 15 días de aplicación, mostrando una mayor sensibilidad el tratamiento SSA. Tal y como había ocurrido en el ensayo 2, fue al final de dichos periodos de estrés cuando se alcanzaron las máximas diferencias entre tratamientos.

Tabla 8. Evolución del potencial hídrico en el ensayo 2 en los diferentes tratamientos ensayados durante los periodos de estrés considerados

ENSAYO 2		1º STRESS			2º STRESS		
AÑO	TRATAMIENTO	CIERRE	15 DIAS	APERTURA	CIERRE	15 DIAS	APERTURA
2010	CONTROL	-1.1a	-1.1a	-1.1a	-1.1a	-1.1a	-1.2a
	SCA	1.0a	-1.2a	-1.5b	-1.1a	-1.3b	-1.7b
	SSA	-1.1a	-1.4b	-1.8b	-1.1a	-1.3b	-1.7b
2011	CONTROL	-1.3a	-1.4a	-1.6a	-1.0a	-1.3a	-1.3a
	SCA	-1.3a	-1.5a	-1.9b	-1.0a	-1.5b	-2.0b
	SSA	-1.3a	-1.6b	-2.0b	-1.0a	-1.7b	-2.1a
2012	CONTROL	-1.6a	-1.6a	-1.9a	-1.4a	-1.7a	-1.6a
	SCA	-1.7a	-1.9b	-2.3b	-1.4a	-1.7a	-2.0b
	SSA	-1.5a	-1.9b	-2.3b	-1.3a	-1.7a	-2.0b

Por último, en cuanto a los valores obtenidos en el ensayo 3, nuevamente volvieron a aparecer diferencias entre tratamientos a los 15 días de aplicar el recorte hídrico, observándose una tendencia del tratamiento SSA a una mayor sensibilidad al recorte hídrico.

Tabla 9. Evolución del potencial hídrico en el ensayo 3 en los diferentes tratamientos ensayados durante los periodos de estrés considerados

ENSAYO 3		1º STRESS			2º STRESS		
AÑO	TRATAMIENTO	CIERRE	15 DIAS	APERTURA	CIERRE	15 DIAS	APERTURA
2010	CONTROL	-0.9a	-1.0a	-1.0a	-1.3a	-1.4a	-1.5a
	SCA	-0.9a	-1.1a	-1.4b	-1.3a	-1.5a	-2.0b
	SSA	-1.0a	-1.3b	-1.4b	-1.4a	-1.4a	-1.9b
2011	CONTROL	-0.9a	-1.0a	-1.0a	-1.3a	-1.5a	-1.8a
	SCA	-0.9a	-1.2b	-1.5b	-1.2a	-1.7b	-2.2b
	SSA	-0.9a	-1.4b	-1.7b	-1.3a	-1.8b	-2.3b
2012	CONTROL	-0.7a	-1.3a	-1.3a	-1.4a	-1.6a	-1.9a
	SCA	-0.6a	-1.3a	-1.6b	-1.4a	-1.9b	-2.4b
	SSA	-0.7a	-1.4a	-1.8b	-1.5a	-1.9b	-2.6b

El resultado de este trabajo ha sido la búsqueda de la mejora de la calidad organoléptica y de las propiedades de los cítricos a través al manejo del riego deficitario en distintos estados fenológicos del cultivo sin afectar a la producción. El trabajo ha demostrado que en épocas donde el agua es un bien escaso

(Caballero P,2011, Fereres et al., 2007) a través del ahorro hídrico en determinados estados fenológicos se puede conseguir un incremento en determinados parámetros sin mermar la producción. A su vez el trabajo demuestra que en un mercado donde la tendencia creciente es la exportación de naranja de calidad (Arenas et al, 2013) a través del uso de estrategias de riego deficitario se puede incrementar determinados parámetros sin afectar a la calidad final. Dentro de las distintas técnicas de cultivo destaca la agricultura ecológica que sigue incrementando su superficie siendo Andalucía de especial relevancia por su superficie superando a países enteros en número de hectáreas como Suecia o Grecia (Arenas et al, 2009). El riego deficitario permite un ahorro de agua por lo que se traduce en un ahorro energético reduciendo los costes de cultivo y disminuyendo los riesgos por contaminación por percolación. (Vélez, 2011)

Para estos estudios se seleccionaron dos períodos claves como fue el período del crecimiento de fruto durante el verano y el período de maduración durante el otoño, ya que se tuvieron en cuenta las fases más críticas del cultivo del cítrico que se dividen en floración, cuajado, crecimiento y maduración (Agustí et al 2003). No se realizó ningún tipo de riego deficitario durante la primavera ni durante la floración con el fin de evitar que pudiese afectar a la producción. Estudios previos realizados (González-Altozano y Castel, 2003) proponen que un ahorro hídrico en determinados períodos puede afectar a la floración y fertilidad de la planta, pudiendo llegar a abortar flores y/o caída de frutos durante el cuajado. Esto puede provocar que haya un menor número de frutos por árbol con la consecuente peor calidad, que genera el denominado destrío (fruta no comercial).(Passaro et al, 2012; Tudela,D. , 1992 ;Barbera, G., 1988). Otros estudios demuestran que estrategias de riego deficitario durante la primavera puede afectar a la brotación durante esa época (Erner, 1989).

Existen una amplia diversidad de trabajos acerca de las distintas estrategias de ahorro hídrico en condiciones semi-áridas (Panigrahi P., 2014). En la mayoría de los estudios realizados en riego deficitario se lleva a cabo una restricción de agua durante las fases de floración y maduración del fruto ya que produce un efecto

menos negativo en la producción que el riego deficitario en crecimiento de fruto (Pérez-Pérez et al, 2014, García- Tejero et al, 2010). Sin embargo existen estudios que demuestran que el uso de las restricciones de agua durante el crecimiento del fruto mejora la productividad del agua siempre y cuando el estrés provocado sea moderado (Pedrero et al., 2014). En nuestros resultados se pone en evidencia que a través de un estrés moderado en el crecimiento del fruto y en maduración no afecta negativamente a ninguno de los parámetros de calidad externa y/o interna. Estudios previos describen que el periodo más adecuado para aplicar el riego deficitario es durante el verano (González- Altozano et al, 1999). Sin embargo otros autores a través del empleo de un riego deficitario al 50% de la ETc y al 25% de la ETc durante los meses de mediados de Julio a mediados de Septiembre (Ballester 2014) ponen de manifiesto que parámetros como el peso de frutos se ve afectado siendo mayor en el tratamiento control. A diferencia del estudio anteriormente nombrado, en las mediciones realizadas en recolección en los distintos campos de ensayo, se pone de manifiesto que en ninguno de los ahorros de agua el peso de los frutos se ve afectado. Se puede concluir que si se realizan recortes moderados de agua en los periodos citados este parámetro no afecta a la producción.

#### **4.2. EFECTOS DE DÉFICIT HÍDRICO EN LOS CARACTERES EXTERNOS DE LA FRUTA EN EL MOMENTO DE LA RECOLECCIÓN Y TRAS 60 DÍAS EN CÁMARA**

Se realizó un análisis general de varianza, considerando como factores de variación el año, los ensayos, los tratamientos, las repeticiones y la interacción de los mismos para las condiciones de muestreo.

En este sentido, dicho análisis general de la varianza evidenció un efecto significativo en función del año y del ensayo en todos los parámetros estudiados, no ocurriendo lo mismo para el caso de los tratamientos, que sólo mostraron efectos en el calibre del fruto.

Sin embargo, el efecto cruzado de los factores de variación arrojó diferencias significativas en todos los parámetros estudiados, lo que justificó la realización de un análisis independiente para cada ensayo y año a año en cada una de las condiciones de muestreo.

#### **4.2.1. PESO DE LOS FRUTOS**

En el análisis de varianza de los tres ensayos campo a campo, y año a año (Figuras 11, 12, 13) no arrojó diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los años ni para ninguno de los ensayos desarrollados. En este sentido, los recortes hídricos aplicados en cada uno de los tratamientos deficitarios no se reflejaron de forma significativa en dicho parámetro, evidenciando las ventajas de las estrategias de ahorro propuestas.

De cualquier manera, en los resultados obtenidos en campo se pudo observar que en los años 2010 y 2012 en el ensayo 1 en control ecológico el valor del peso de frutos del tratamiento control fue algo superior al resto de los tratamientos (Figura 11), si bien dichas diferencias no pudieron considerarse como significativas. Así mismo cabe destacar que el tratamiento SCA fue durante todos los años el que menor valor arrojó.

En el ensayo 2 en control integrado, sólo en el año 2012 el valor del peso del tratamiento control fue algo superior al resto de tratamiento, no pudiendo considerarse dichas diferencias como significativas. Así mismo, durante los años 2011 y 2012 fue el tratamiento SSA es el que menor valor obtuvo (Figura 12).

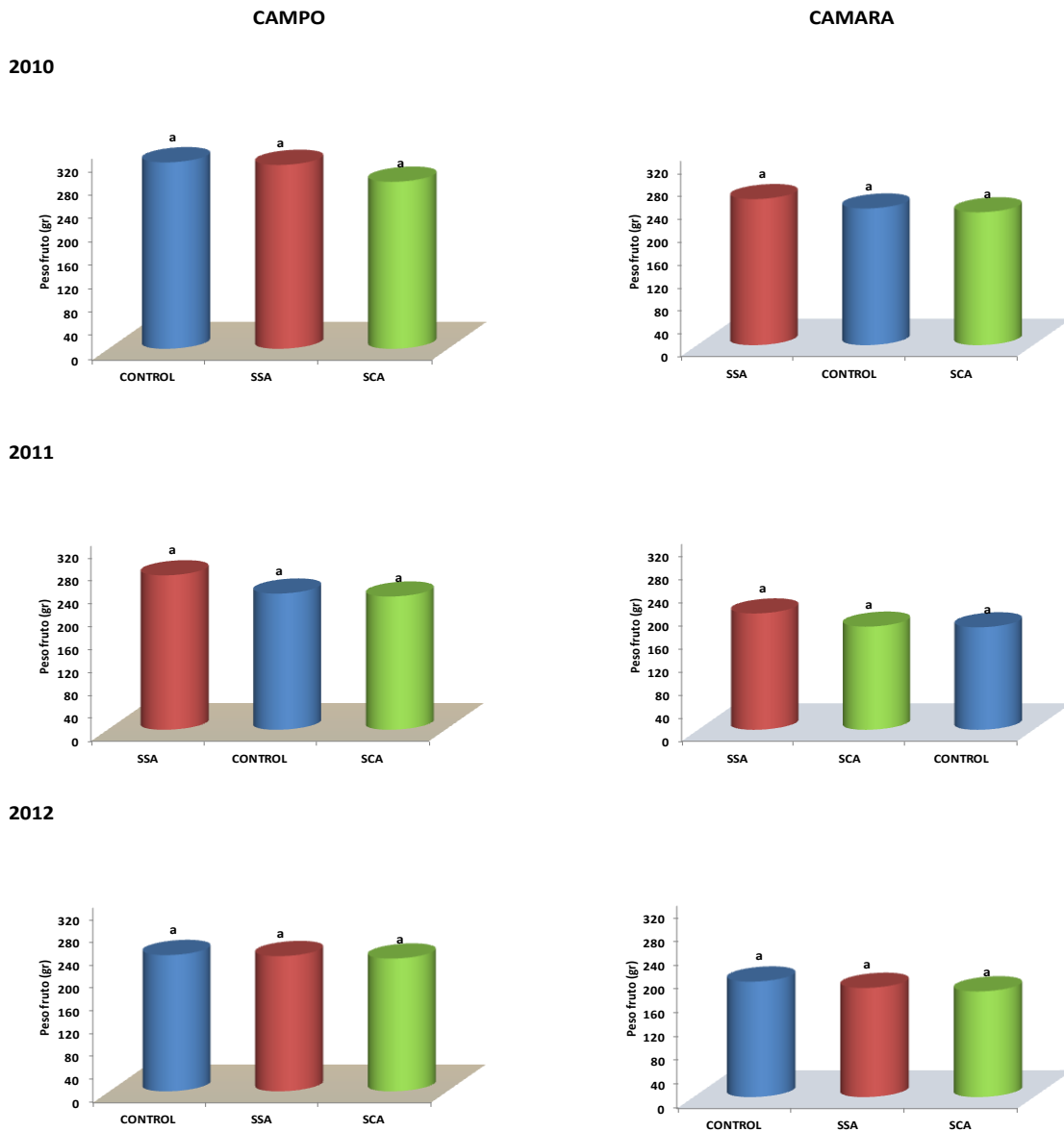
Por último, en el ensayo 3, situado en Palma del Río, el peso del fruto en el tratamiento control fue ligeramente superior durante el año 2011, siendo el tratamiento SSA el que arrojó los valores más bajos durante los tres años de estudio.

En cuanto a los efectos detectados en este parámetro tras 60 días de almacenamiento en cámara, lo más destacable fue una merma significativa en



todos los tratamientos, aunque el patrón observado tras recolección en función de los tratamientos se mantuvo tras 60 de almacenamiento.

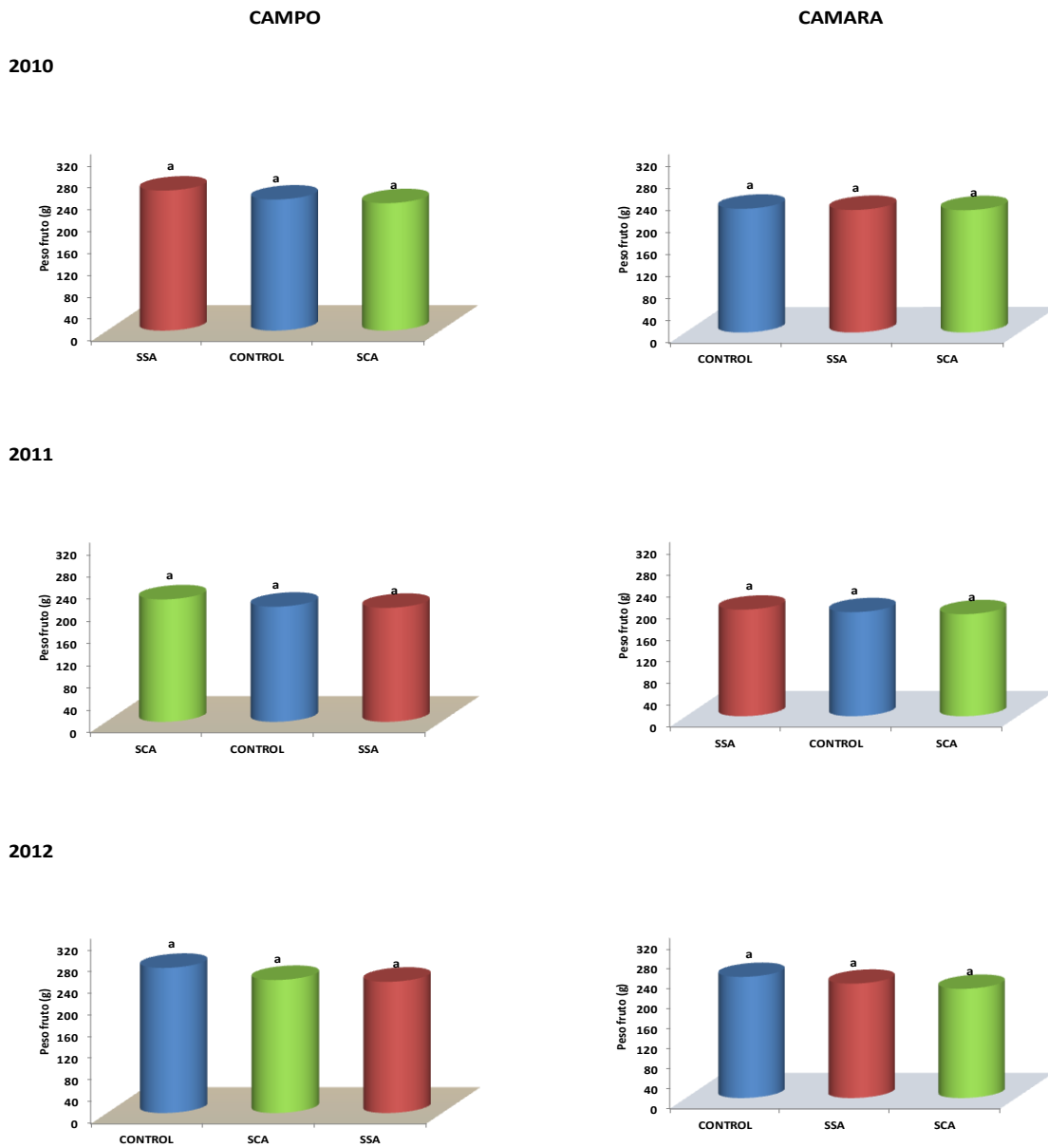
Con respecto al ensayo 1 en control ecológico, sólo durante el año 2012 el tratamiento control fue superior al resto de tratamientos (Figura 11). En el ensayo 2 en control integrado, el tratamiento control tuvo un valor mayor durante los años 2010 y 2012. Los frutos del tratamiento SCA han arrojaron un menor peso que el resto de tratamientos (Figura 12). Finalmente, en cuanto al ensayo 3, durante los años 2010 y 2012 el tratamiento control tuvo un mayor peso en fruto que aquellos frutos que estuvieron en riego deficitario (Figura 13), aunque tal y como se ha comentado anteriormente, en ninguno de los casos dichas diferencias pudieron ser consideradas como significativas.



Peso medio de fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso medio de fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 11. Peso medio del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

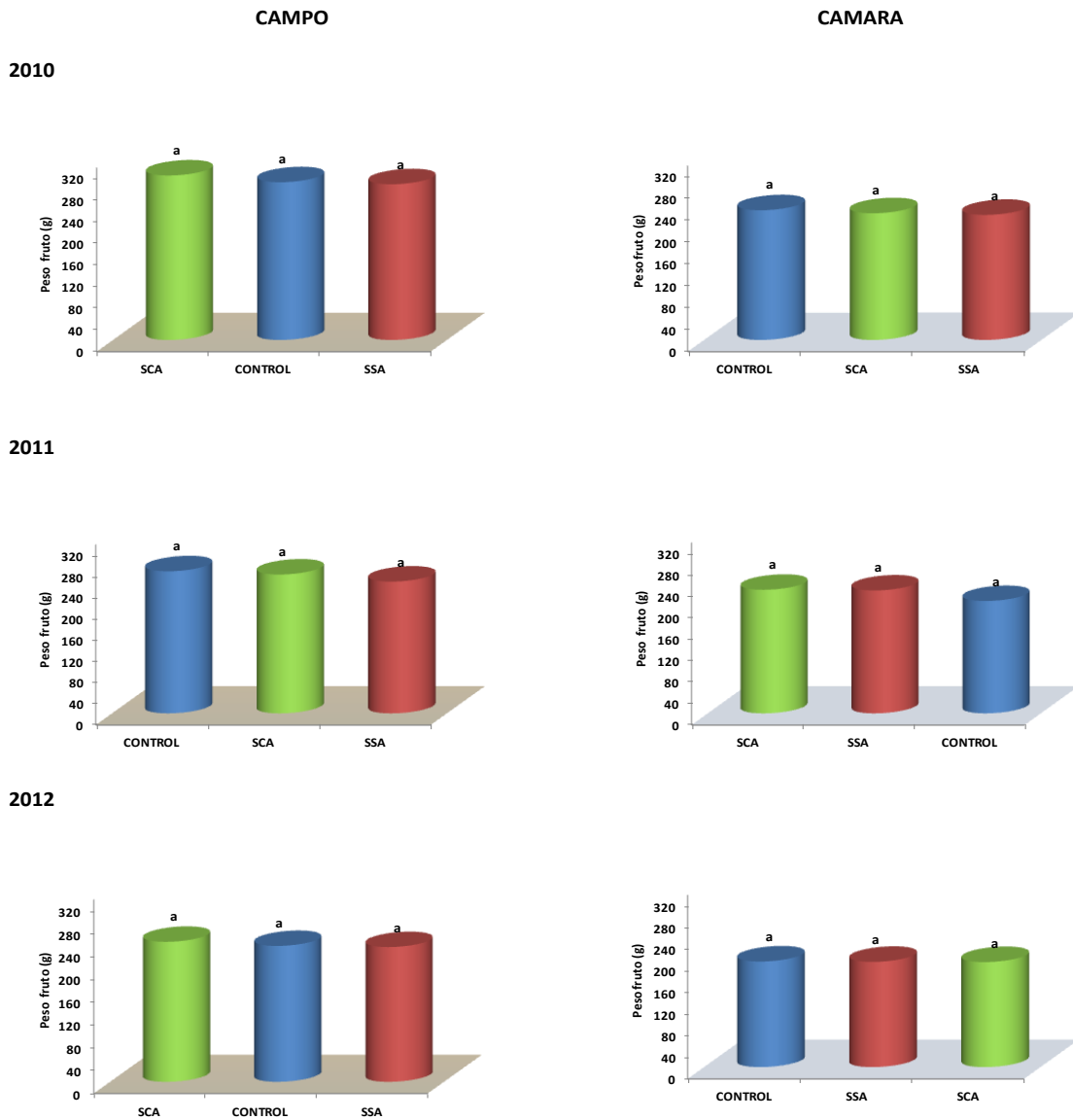


Peso del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Fi

gura 12. Peso medio del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Peso medio de fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso medio de fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 13. Peso medio del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

#### 4.2.2. CALIBRE TRANSVERSAL

En el análisis de varianza campo a campo y año a año en recolección y tras 60 días de cámara no se observaron diferencias significativas en este parámetro, acorde con los resultados obtenidos para el peso del fruto.

En el ensayo 1, en control ecológico, el tratamiento control siempre obtuvo valores superiores frente a cualquiera de los tratamientos de riego deficitario. En este sentido, el tratamiento SSA fue el que arrojó valores más bajos para el calibre transversal durante los tres años de estudio (Figura 14).

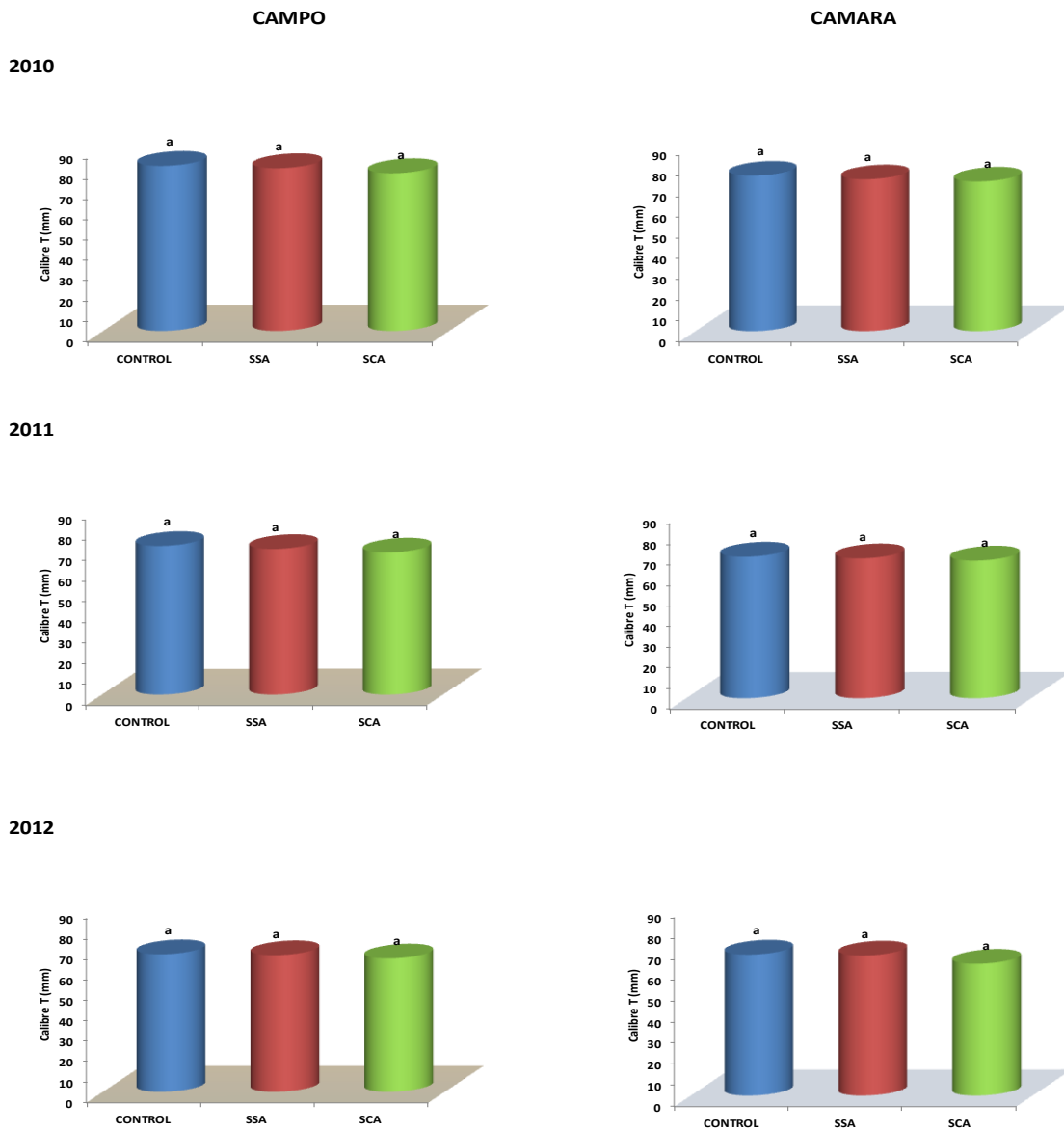
En el ensayo 2, en control integrado, durante todos los años el tratamiento control obtuvo frutos con un mayor calibre, en comparación con los tratamientos deficitarios. Así mismo, y al igual que ocurría en el ensayo 1, los frutos del tratamiento SSA fueron los que denotaron un menor calibre (Figura 15).

Por último, con respecto al ensayo 3, situado en Palma del Río, el calibre de los frutos correspondientes al tratamiento control también fue relativamente superior al calibre de los frutos de los tratamientos SCA y SSA. Además, y siguiendo el mismo patrón observado en los otros ensayos, fue el tratamiento SSA el que arrojó los valores más bajos para los tres años de estudio (Figura 16).

En cuanto a los frutos analizados tras 60 días de cámara, al igual que ocurría para el peso el fruto, se pudo observar una merma significativa con respecto a los valores observados tras recolección, han tenido un calibre transversal menor que los medidos en campo durante la recolección. En el ensayo 1, el calibre del tratamiento control fue mayor que el resto de los tratamientos deficitarios. Así mismo, el tratamiento SCA durante los tres años fue el que ha alcanzó un menor valor de calibre (Figura 14).

En el ensayo 2, bajo control integrado, la fruta del tratamiento control obtuvo valores más altos de calibre que el resto de tratamientos (Figura 15), siendo los

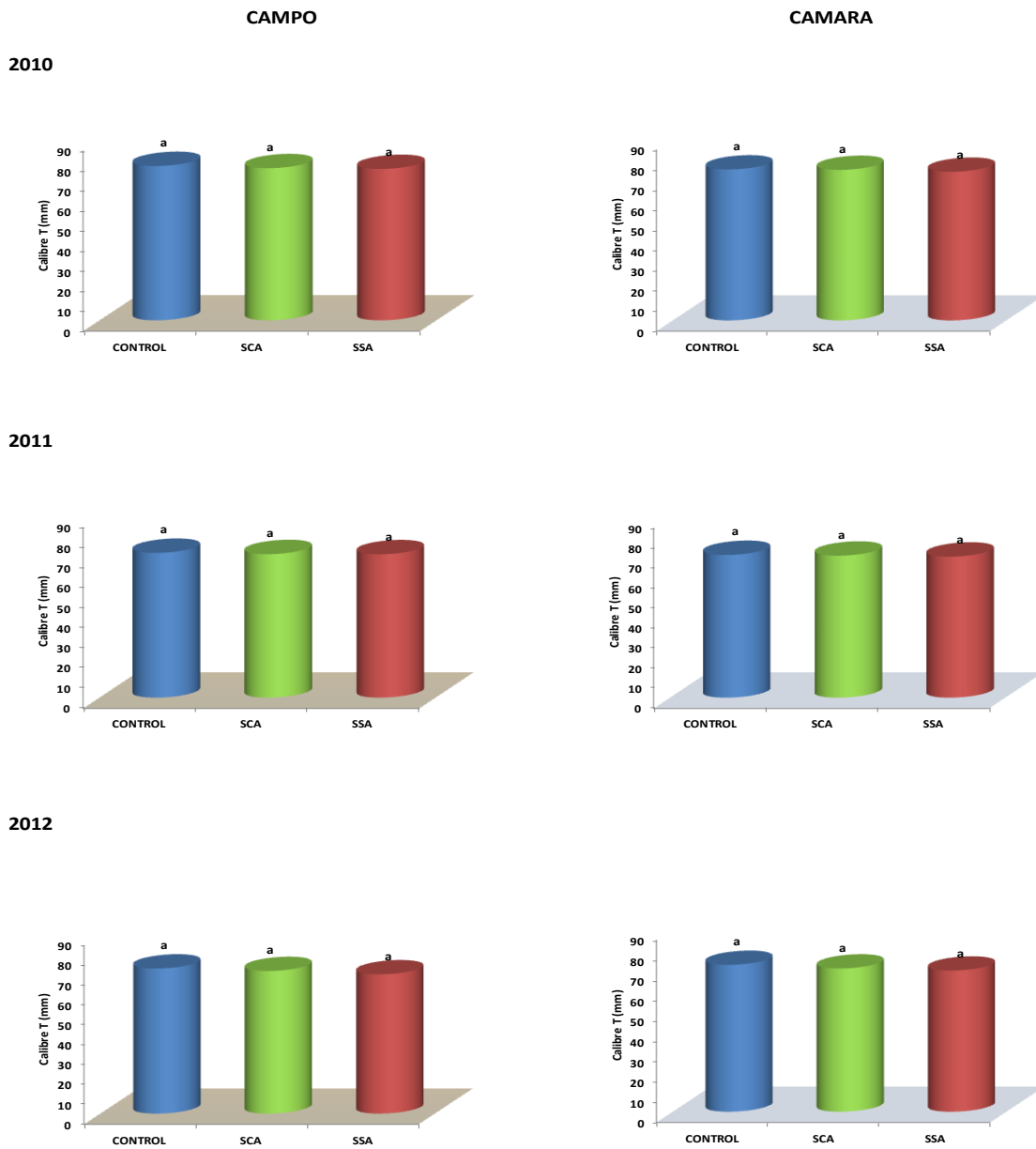
frutos del tratamiento SSA los que desarrollaron un menor crecimiento transversal. Ésta misma tendencia se observó en el ensayo 3, tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Calibre transversal del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Calibre transversal del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 14. Calibre transversal del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

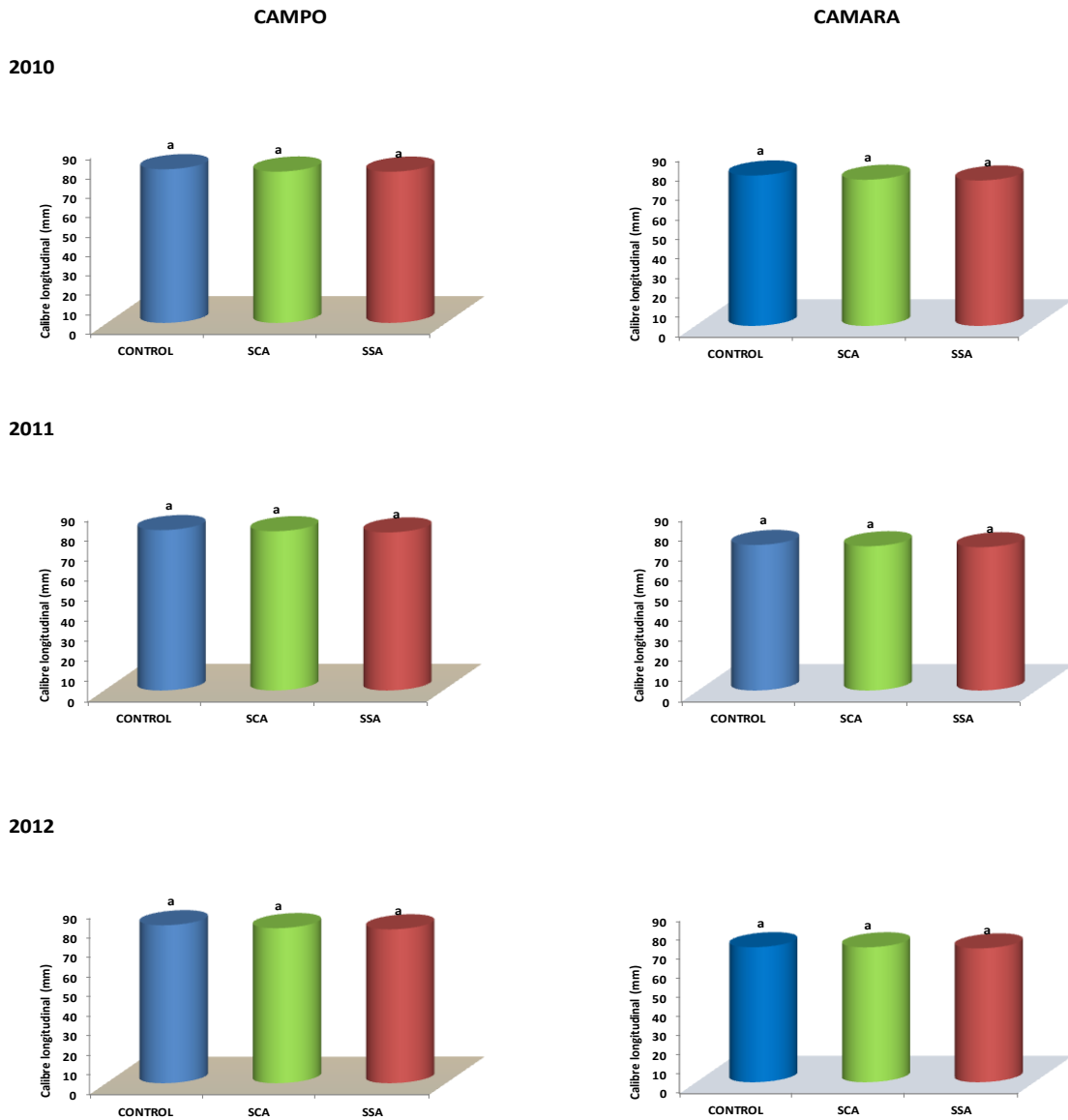


Calibre transversal tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Calibre transversal tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 15. Calibre transversal del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.





Calibre transversal del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Calibre transversal del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 16. Calibre transversal del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

### 4.2.3. CALIBRE LONGITUDINAL

A diferencia de lo ocurrido en los anteriores parámetros, en este caso sí que se observaron diferencias significativas entre tratamientos, en los distintos años de estudio, tanto en frutos tras recolección, como a los 60 de almacenamiento en cámara. En este sentido, en términos generales, la separación de medias puso en evidencia calibres longitudinales para los tratamientos SCA y SSA significativamente inferiores al tratamiento control.

En el ensayo 1, se observaron estas diferencias significativas durante los años 2010 y 2012, en frutos muestreados tras recolección, aunque no se observaron estas diferencias significativas entre los tratamientos SCA y SSA (Figura 17).

En el ensayo 2, en los frutos muestreados justo en el momento de la recolección, si bien el control obtuvo valores de calibre mayor a los obtenidos en SSA y SCA, dichas diferencias no pudieron ser consideradas como significativas (Figura 18).

Por último, en el ensayo 3, nuevamente los frutos pertenecientes al tratamiento control arrojaron valores de calibre longitudinal superiores a los tratamientos deficitarios, siendo además dichas diferencias significativas durante los años 2010 y 2012, no ocurriendo lo mismo para el año 2011 (Figura 19).

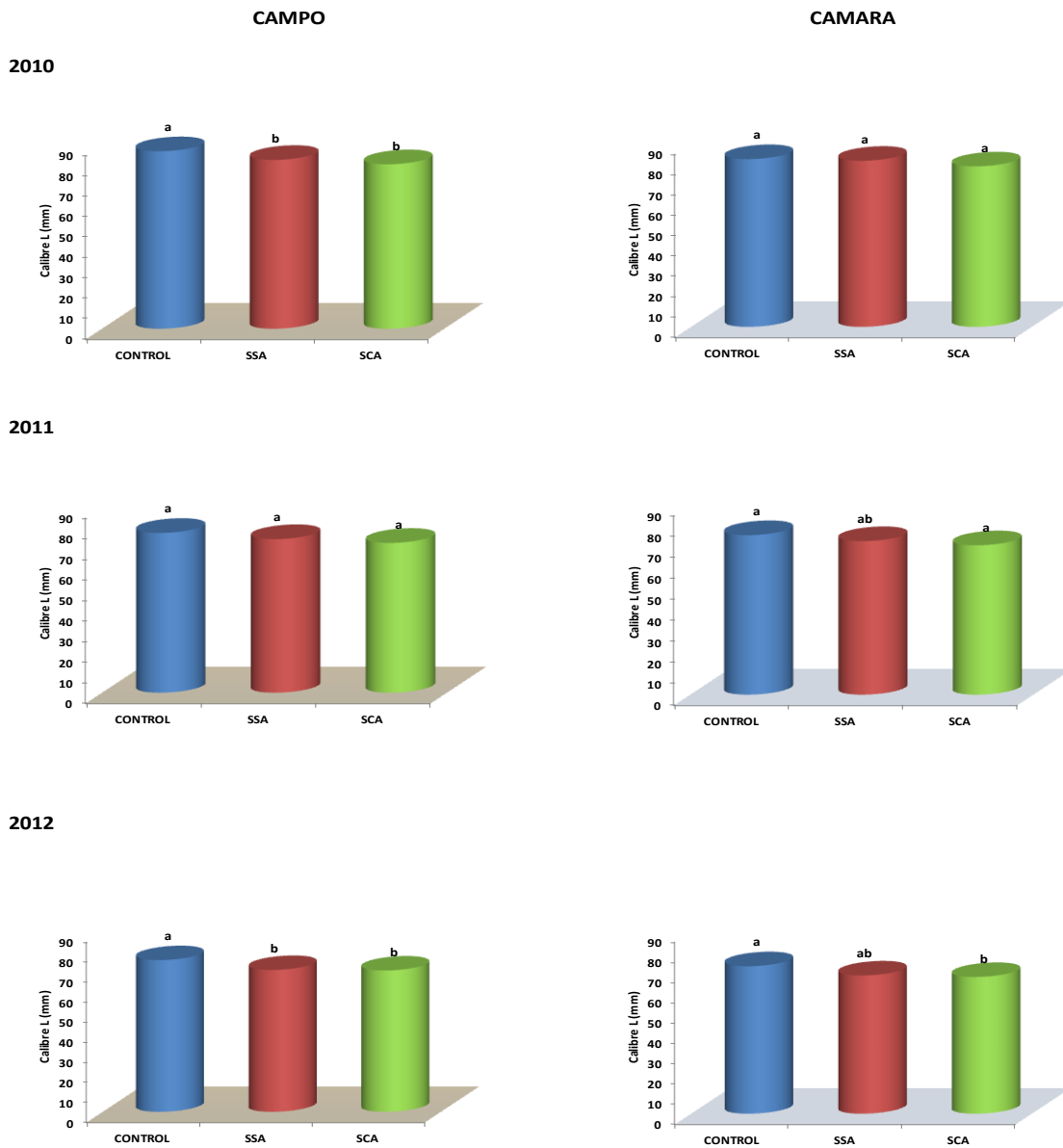
En cuanto al muestreo de frutos tras 60 de almacenamiento en cámara, los valores obtenidos mostraron una tendencia similar a la observada en los frutos tras la recolección. Así, en términos generales, los frutos correspondientes al tratamiento control arrojaron valores significativamente superiores a los tratamientos deficitarios. Además de ello, se pudo observar una merma con respecto a los valores obtenidos en campo; si bien dicha merma en el calibre longitudinal de los frutos fue mucho menos acusada que la observada para el peso del fruto y el calibre transversal de los mismos.

Para el caso del ensayo 1, La fruta del tratamiento control en cámara tuvo un mejor calibre longitudinal en todos los años de estudio (Figura 17). Así, En los

años 2011 y 2012 se encontraron diferencias significativas entre el tratamiento control y el tratamiento de riego deficitario con aporte de abono.

En el ensayo 2 sólo hubo diferencia significativa del tratamiento control durante el año 2012 con respecto a los tratamientos deficitarios (Figura 18).

Por último, en el ensayo 3, se observaron significativas entre el tratamiento control y los tratamientos SCA y SSA durante el año 2010; y en el 2012 frente al riego deficitario sin abono (Figura 19).



Calibre longitudinal del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Calibre longitudinal del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 17. Calibre longitudinal del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

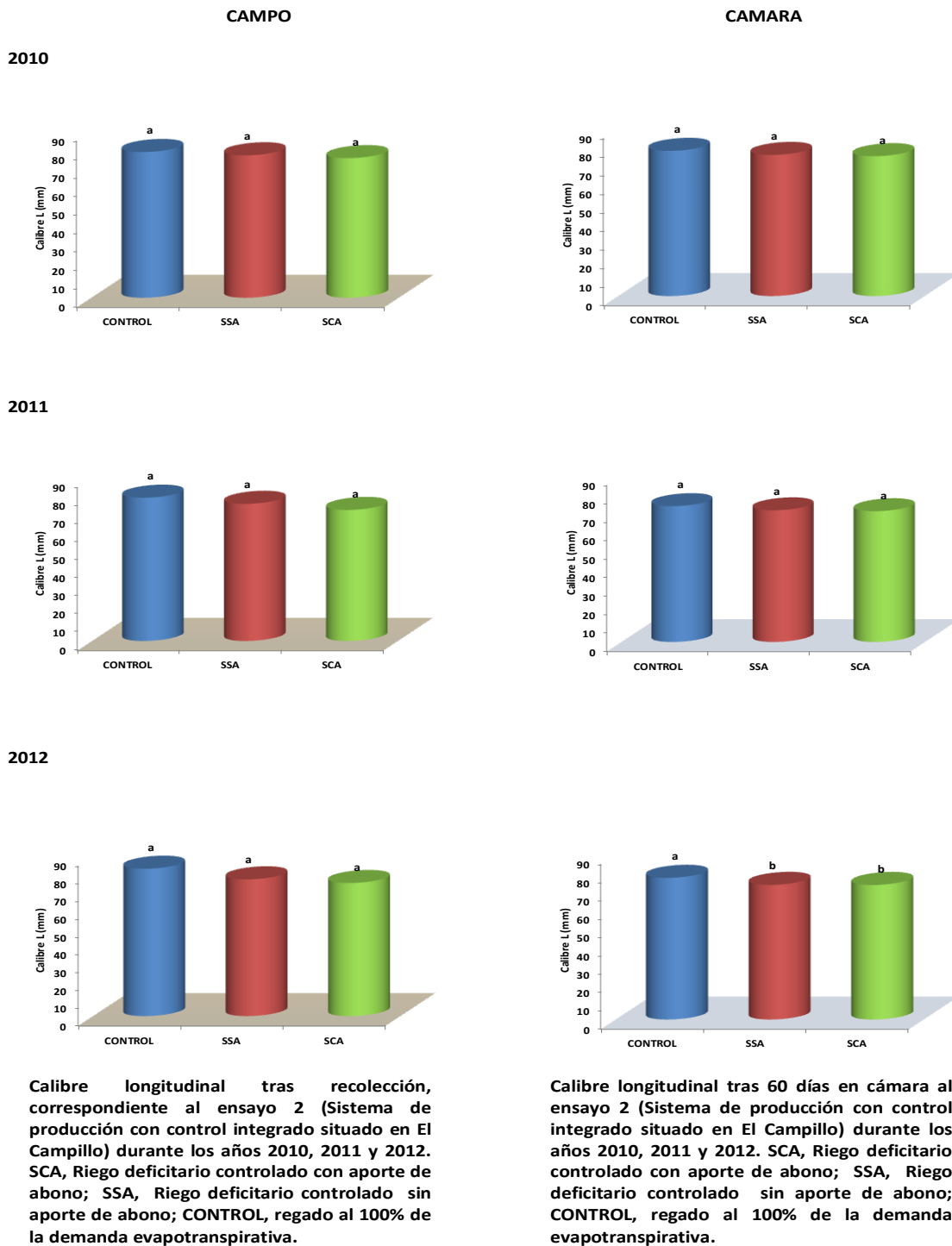
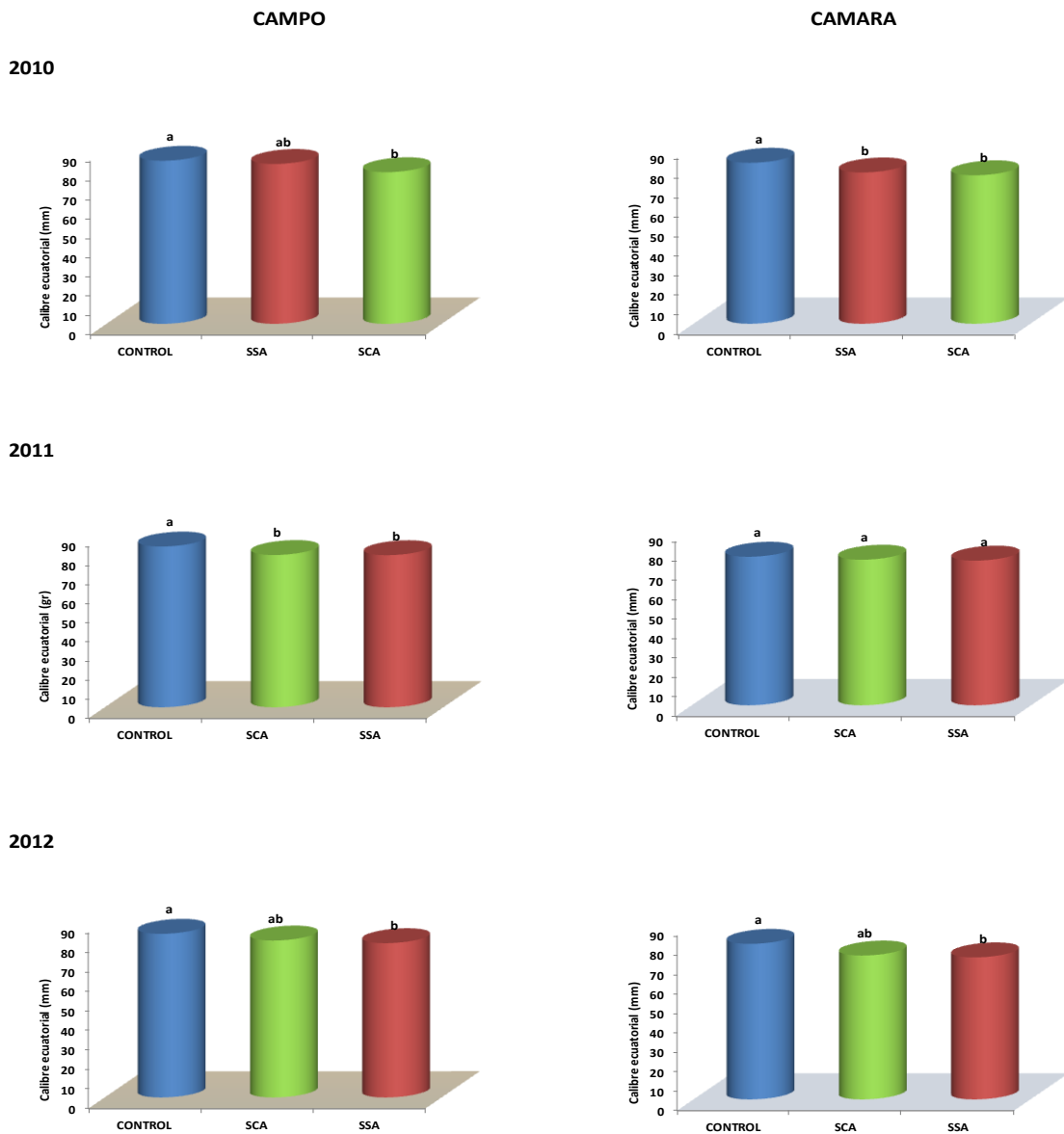


Figura 18. Calibre longitudinal del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Calibre longitudinal del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Calibre longitudinal del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 19. Calibre longitudinal del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

#### 4.2.4. DUREZA

El análisis de varianza no evidenció la existencia de diferencias significativas entre tratamientos durante los tres años y en ninguna de las condiciones experimentales consideradas.

Así, en el ensayo 1, a pesar de no encontrar diferencias significativas entre tratamientos, si que se pudo observar una mayor dureza en aquellos frutos correspondientes a los tratamientos deficitarios (Figura 20), siendo siempre el tratamiento control y en los tres años de estudio, el que arrojó valores de dureza inferiores.

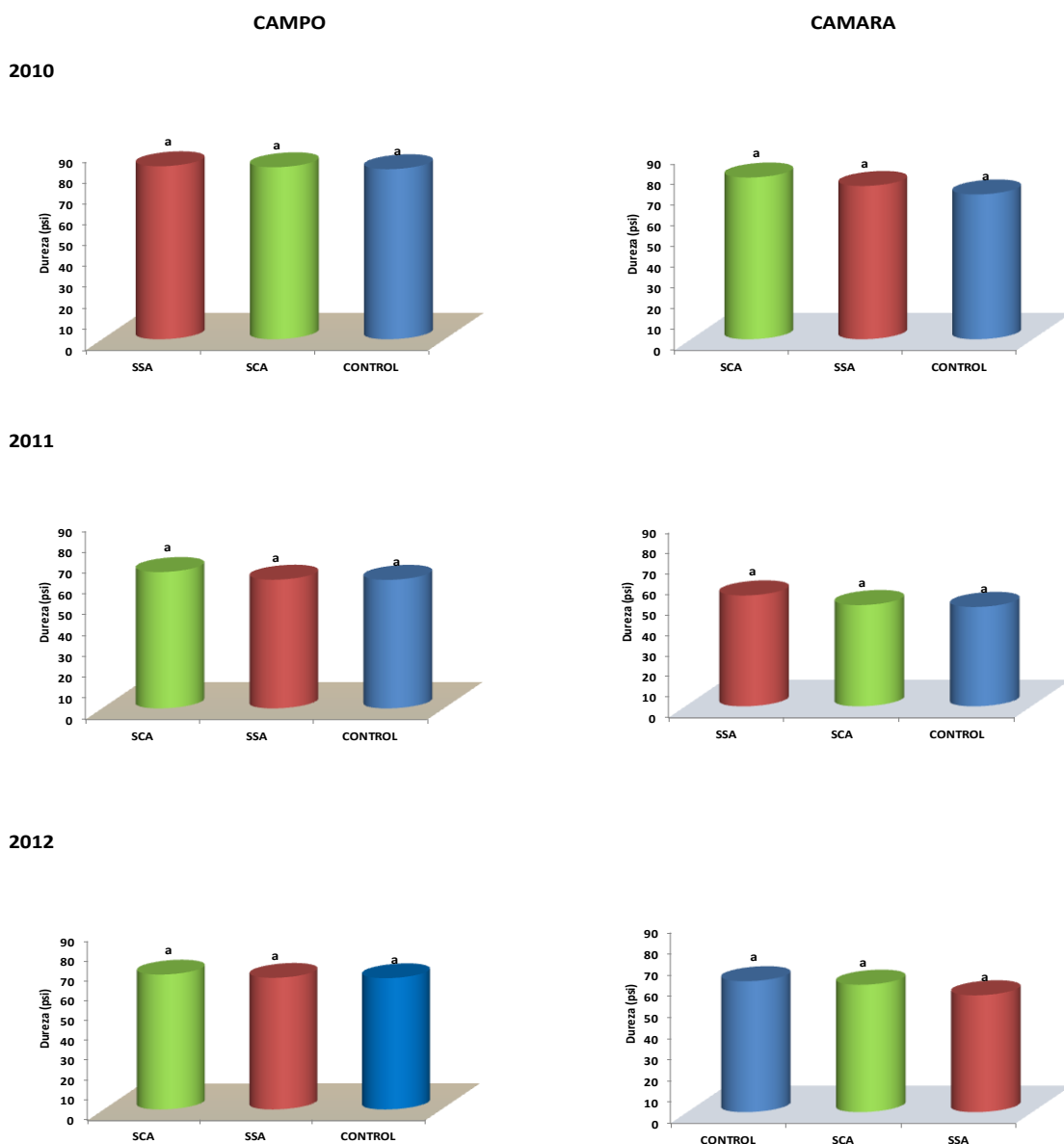
En cuanto al ensayo 2 (Figura 21) se pudo observar el mismo patrón de dureza descrito en el ensayo 1. En este ensayo cabe destacar que los frutos con más dureza fueron aquellos sometidos a un riego deficitario con aporte de abono, pudiendo considerarse como una ventaja con respecto al resto de tratamientos.

En el ensayo 3 (Figura 22), nuevamente se pudo observar el patrón anteriormente descrito, siendo los frutos del tratamiento control los que mostraron unos valores de dureza inferiores a los descritos en los tratamientos deficitarios. Sigue siendo los frutos del tratamiento control los que menor dureza mostraron. Además, al igual que en el ensayo 2, el tratamiento SCA fue el que mejores valores de dureza mostró, aunque las diferencias encontradas no pudieron ser consideradas como significativas.

En cuanto al análisis realizado en los frutos tras 60 días en cámara, los frutos del tratamiento control presentaron una menor consistencia en la piel. Además cabe mencionar el descenso considerable en la dureza en los tres tratamientos ensayados tras los 60 días de almacenamiento. En el ensayo 1 (Figura 20), durante el 2010 y 2011 el tratamiento control resultó ser el de valor más bajo en dureza, si bien durante el año 2012 fue este tratamiento el que mayor valor obtuvo. En el ensayo 2 (Figura 21), los frutos control analizados durante los años 2010 y 2012 obtuvieron menor una dureza respecto al resto de tratamientos.

Finalmente, en el ensayo 3 (Figura 22), volvió a ser el tratamiento control el que menor dureza presentó durante los tres años.

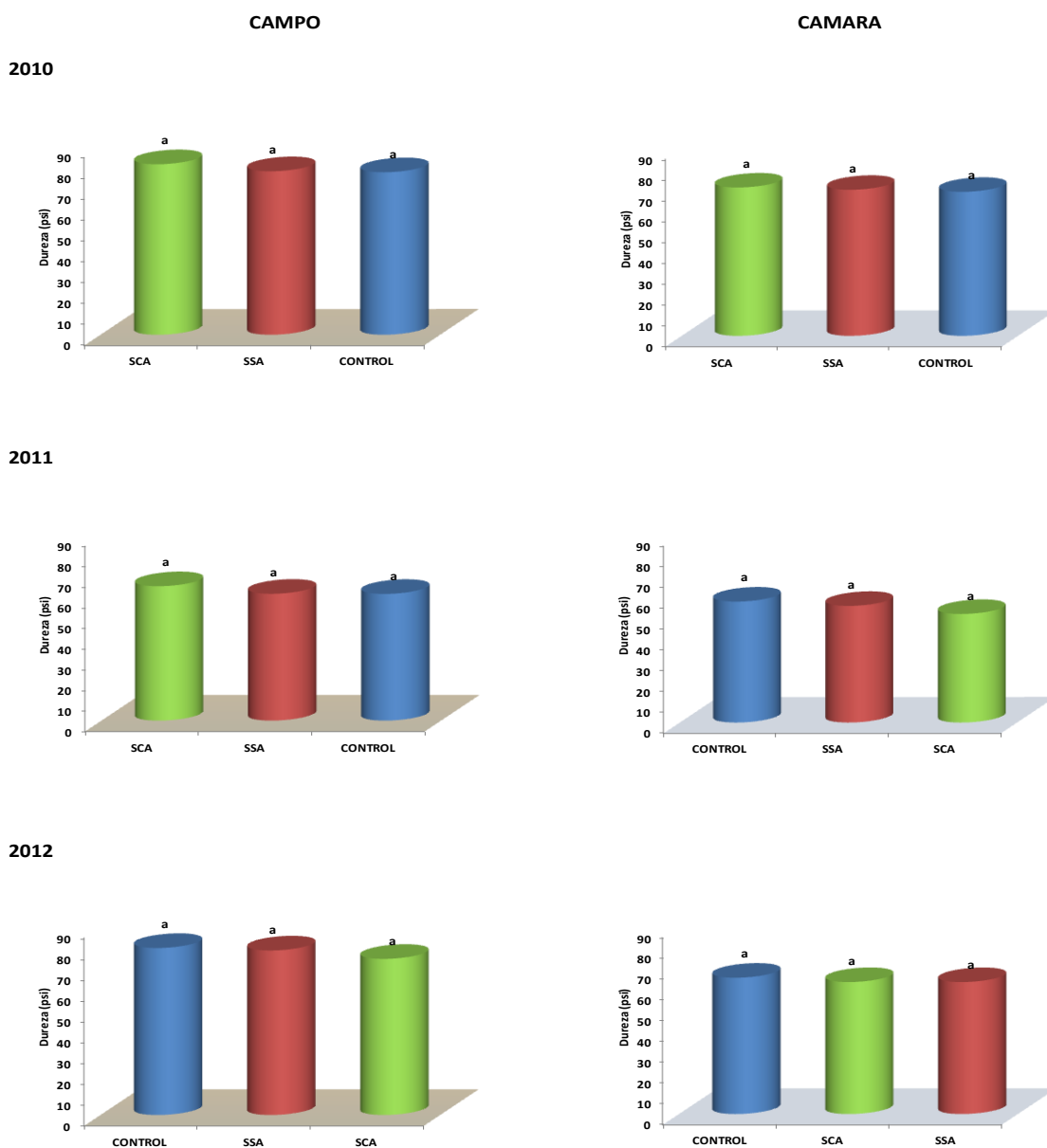




Dureza del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Dureza del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

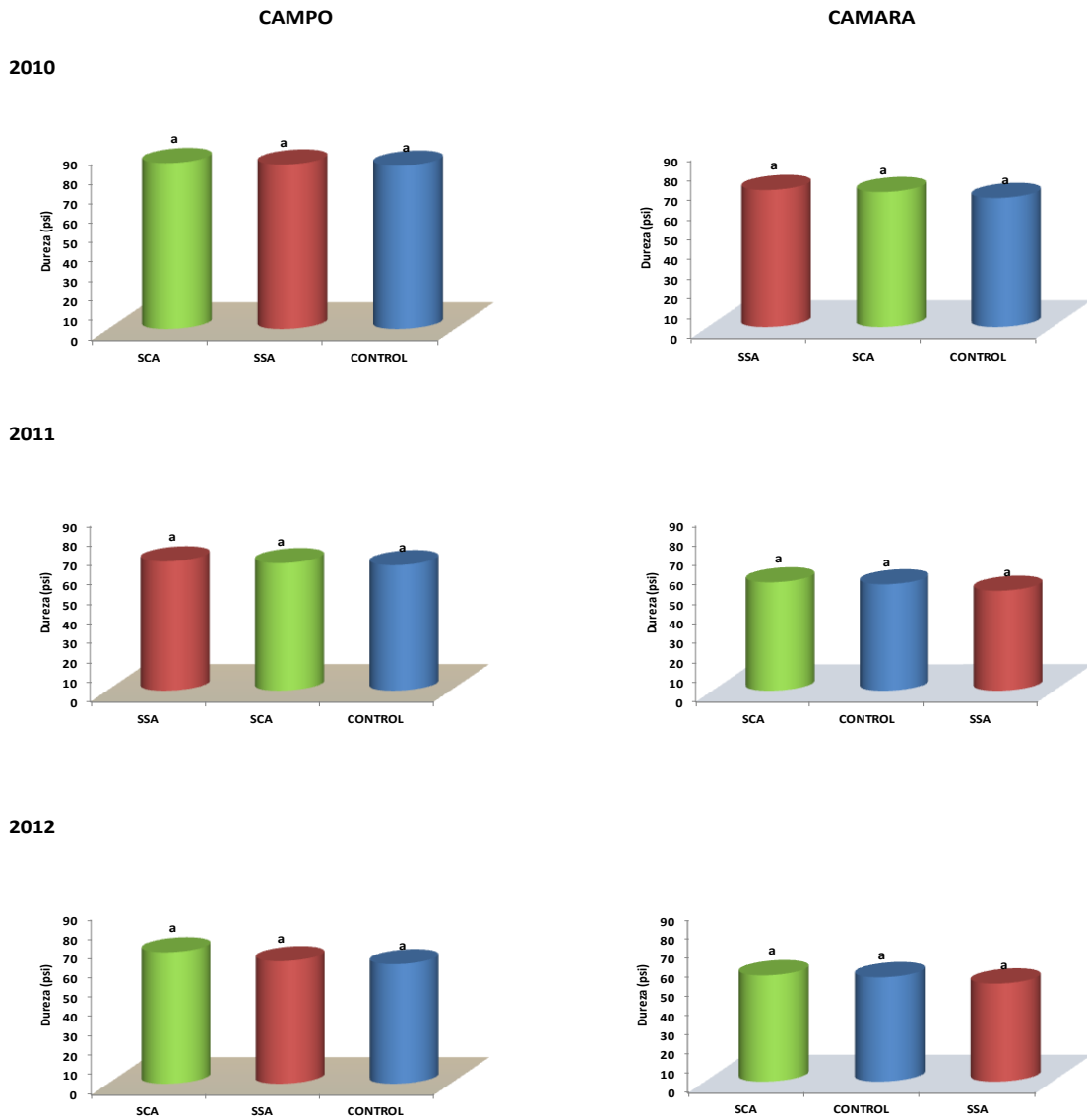
Figura 20. Dureza del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Dureza del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Dureza del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 21. Dureza del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Dureza del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Dureza del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 22. Dureza del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

#### 4.2.5. ESPESOR DE CASCARA

No se encontraron diferencias significativas en los distintos campos ensayados durante los tres años. Del mismo modo, tampoco existían diferencias significativas en los distintos tratamientos aplicados con riego deficitario con o sin abono lo que demuestra que este parámetro no se veía influenciado por el ahorro hídrico generado a lo largo del cultivo.

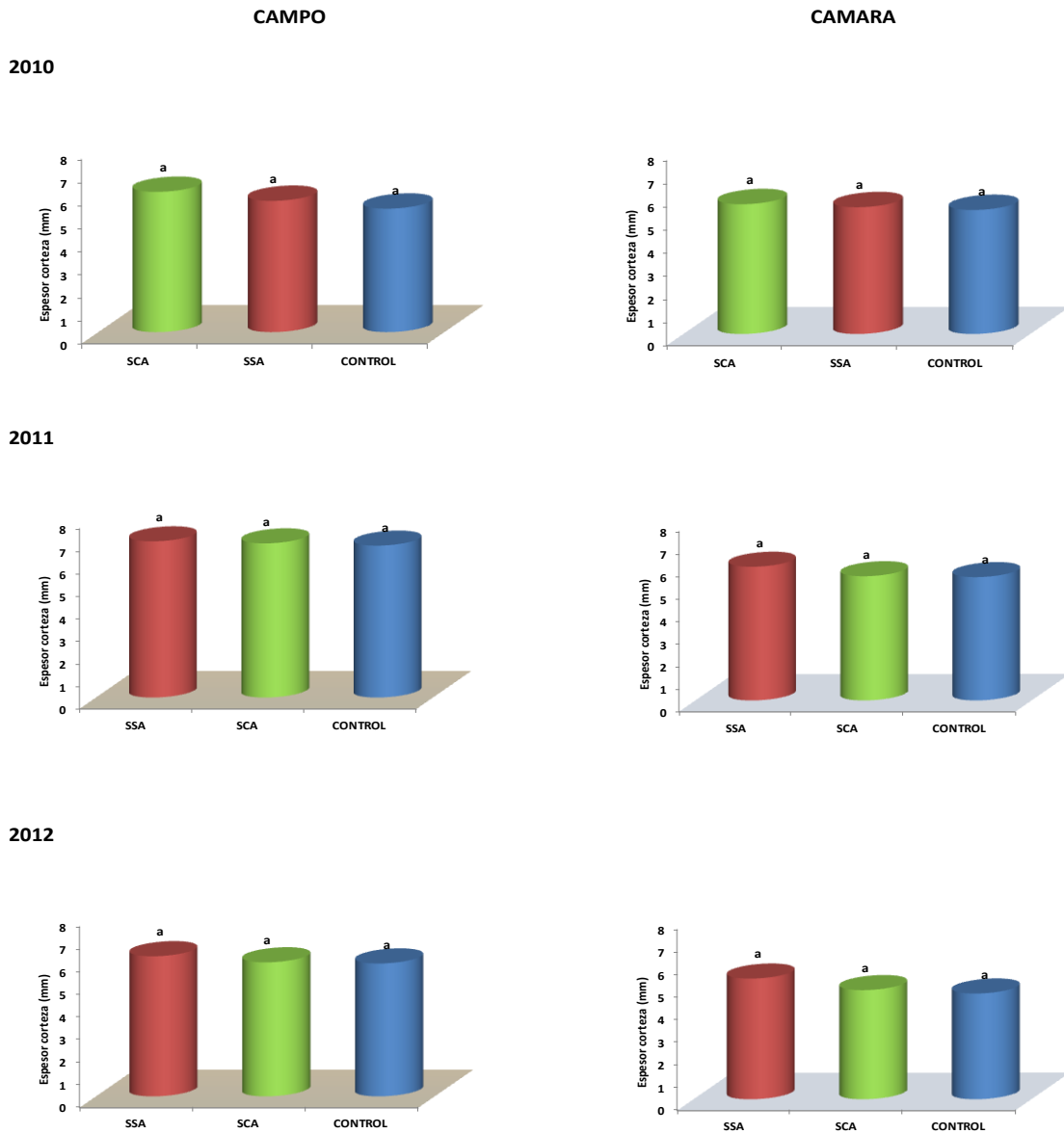
A pesar de ello, el espesor de cáscara fue menor en el tratamiento control en todos los ensayos y durante los tres años. En el ensayo 1 (Figura 23), el tratamiento control presentó durante todos los años un menor espesor que los frutos sometidos a ahorro hídrico. El riego deficitario sin aporte de abono durante los años 2011 y 2012 obtuvo un mayor espesor que el resto de tratamientos.

En cuanto al ensayo 2 (Figura 24), correspondiente a la parcela bajo control integrado, nuevamente el tratamiento control fue el que menor espesor de cáscara mostró. En este caso, durante los tres años de estudio, el riego deficitario sin aporte de abono tuvo un mayor espesor que el resto de tratamientos.

Finalmente, en el ensayo 3 (Figura 25), al igual que en los dos ensayos anteriores, el tratamiento control obtuvo un menor espesor de corteza. Además, durante los años 2011 y 2012 los frutos con riego deficitario sin aporte de abono nuevamente fueron los que obtuvieron mayor espesor de piel.

En cuanto a los análisis realizados en frutos tras 60 días en cámara, los frutos del tratamiento control en todos los años y ensayos presentaron un menor espesor en la piel. En el ensayo 1 (Figura 23), durante los años 2011 y 2012 el tratamiento de riego deficitario sin abono resultó ser el de valor más alto en espesor, siguiendo un patrón similar al observado en los análisis realizados tras recolección. En el ensayo 2 (Figura 24), los frutos correspondientes con árboles sometidos a riego deficitario con aporte de abono obtuvieron durante los tres años un mayor grosor de piel respecto al resto de tratamientos. Por último, en el

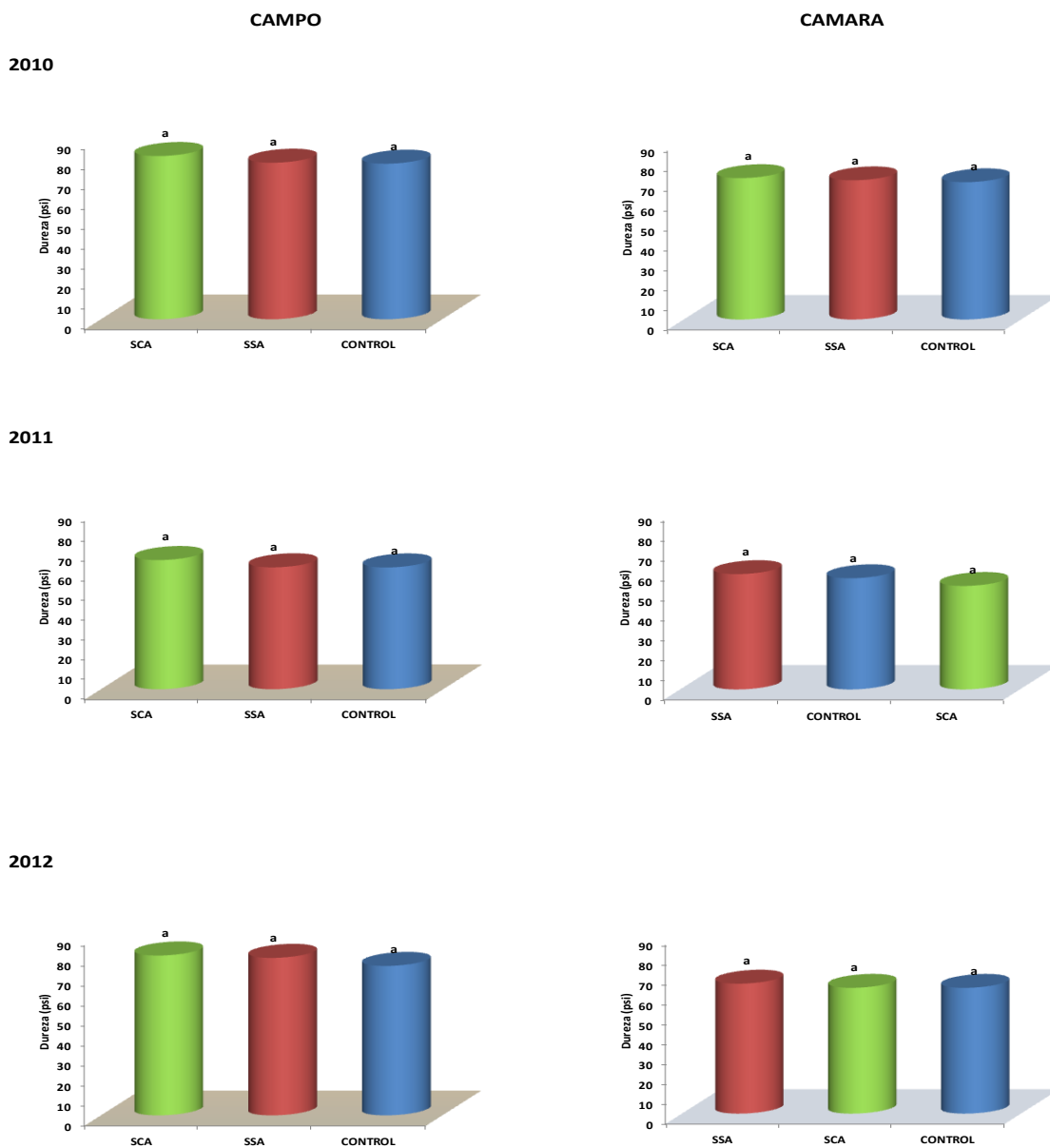
ensayo 3 volvió a ser el riego deficitario con aporte de abono el que mayor espesor presentó (Figura 25).



Espeor de corteza del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Espeor de corteza del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

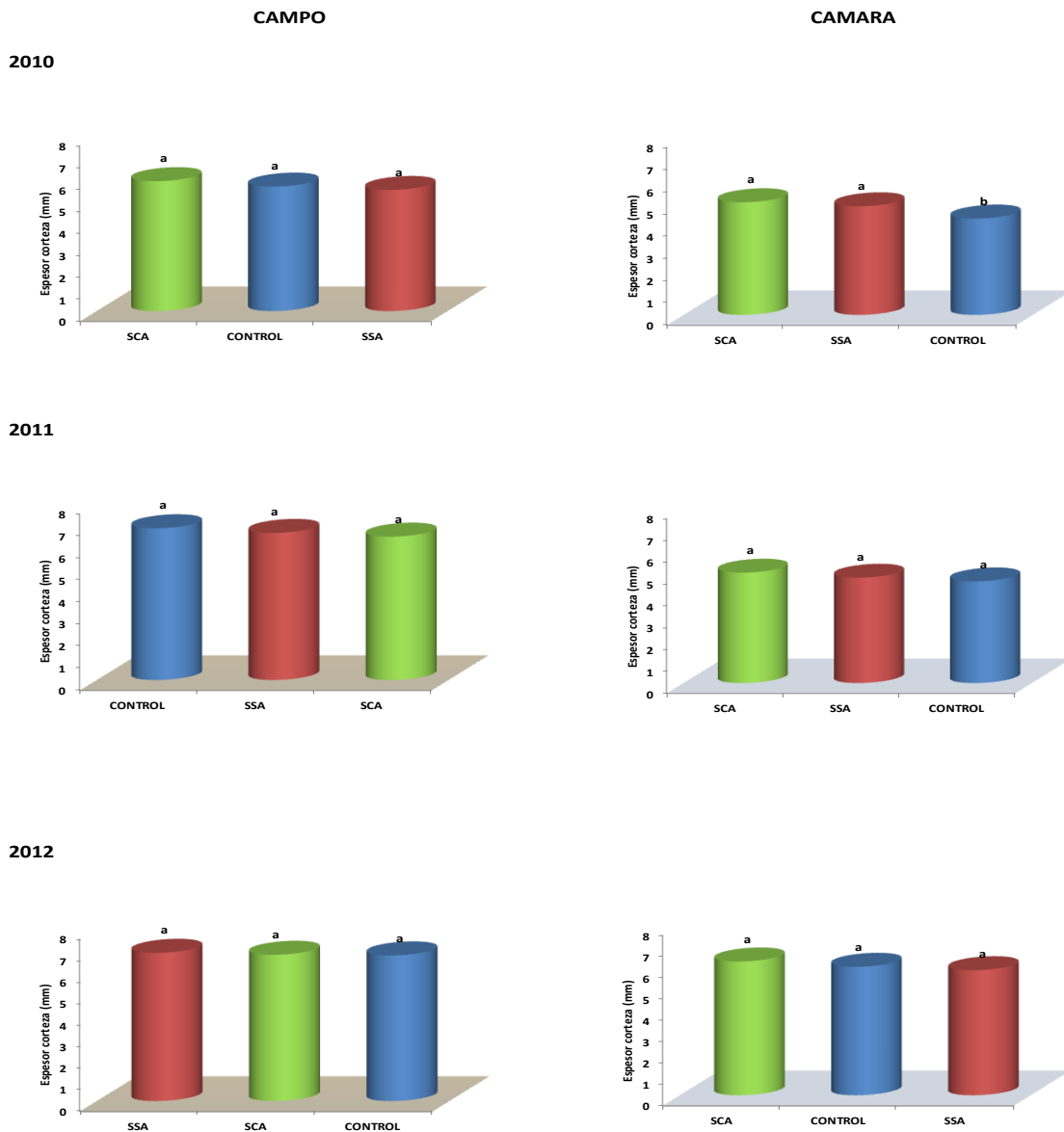
Figura 23. Espesor de cáscara del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Espesor de corteza del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Espesor de corteza del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 24. Espesor de cáscara del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Espesor de corteza del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Espesor de corteza del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 25. Espesor de cáscara del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



#### 4.2.6. PESO DE CASCARA

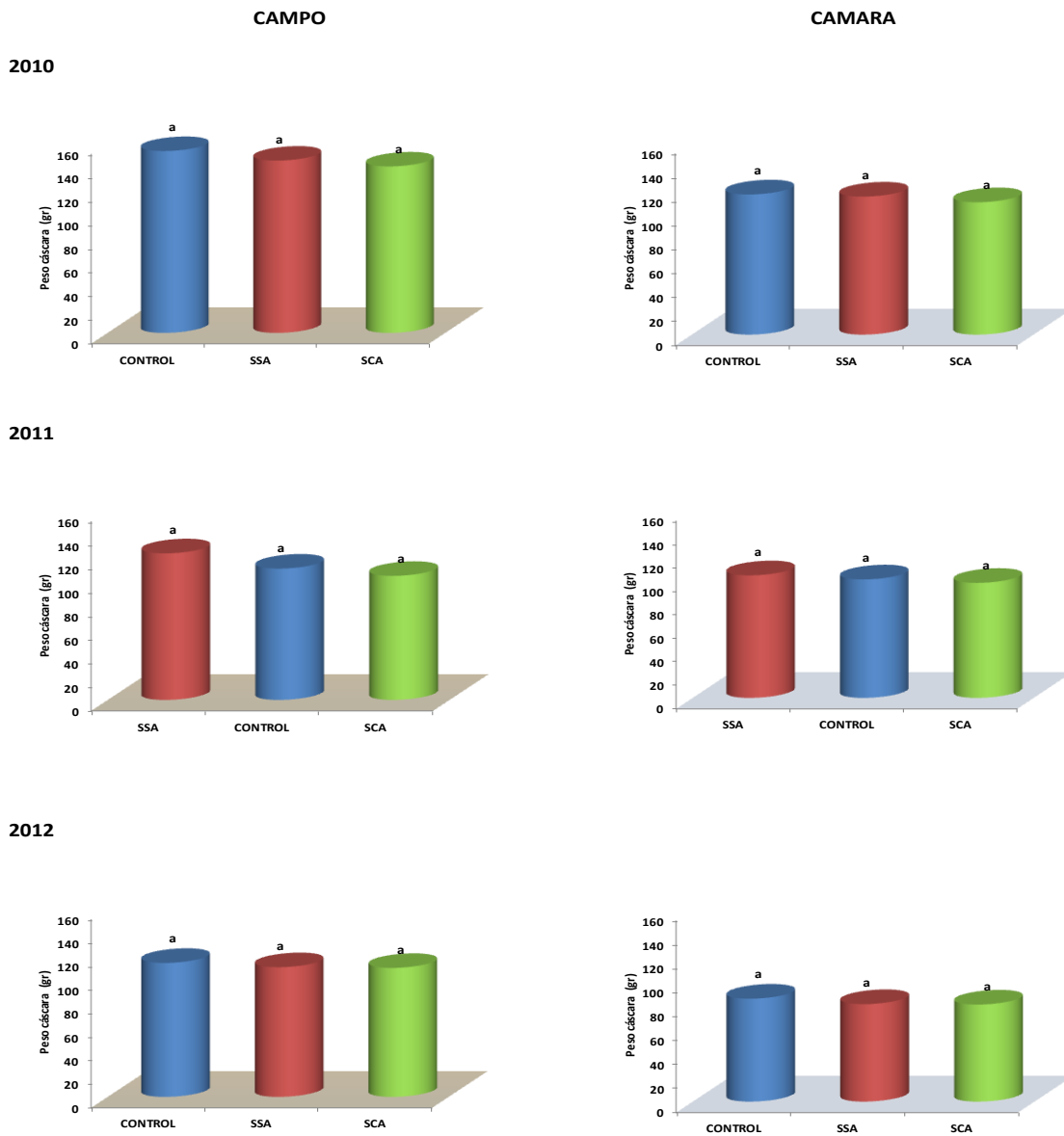
De forma similar a la mayoría de los parámetros externos del fruto, el análisis de la varianza campo a campo y año a año no mostró diferencias significativas en ninguno de los tratamientos ensayados.

Al analizar los datos correspondientes al ensayo 1, se observó que en todos los años, el tratamiento SCA estuvo más influenciado por los recortes hídricos, lo que provocó que tuviera un valor ligeramente inferior al resto de tratamientos aunque sin diferencias significativas (Figura 26). Durante los años 2010 y 2012, los frutos control tuvieron un mayor peso de corteza.

En el ensayo 2, el tratamiento SCA volvió a ser el que arrojó durante los tres años de estudio valores más bajos en cuanto al peso de cáscara. En este ensayo, fue el tratamiento SSA el que durante 2010 y 2011 obtuvo un mayor valor en peso de cáscara (Figura 27).

En cuanto al ensayo 3, el tratamiento que durante tres años obtuvo un menor valor fue el tratamiento SSA, con valores algo superiores en el tratamiento control.

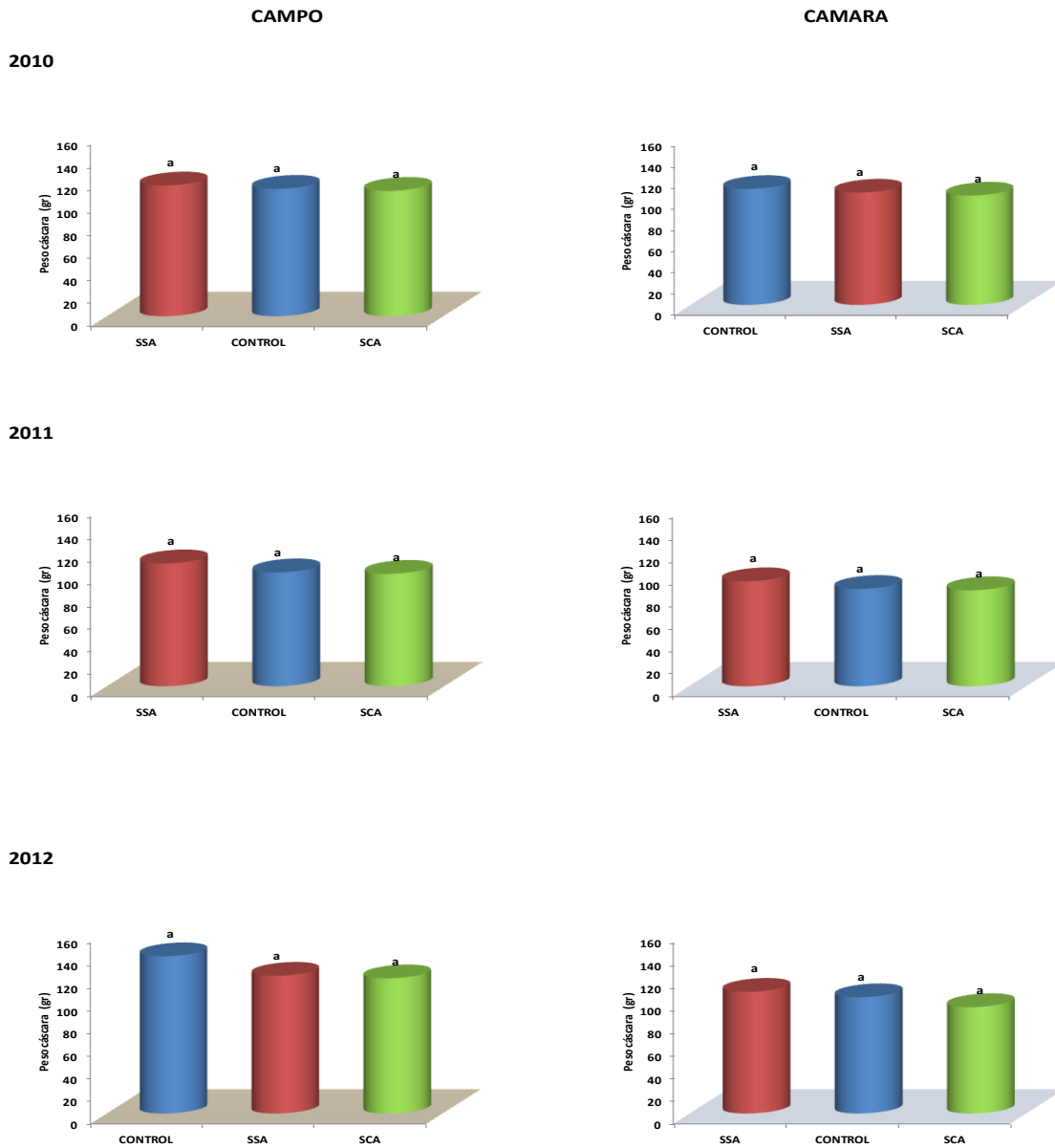
En cuanto al análisis realizado tras 60 días en cámara; en los frutos correspondientes al ensayo 1 se repitió el patrón, de manera que el tratamiento SCA fue el que menor valor tuvo en peso de cáscara y el que más durante 2010 y 2012 fue el tratamiento control (Figura 26). En el ensayo 2, el tratamiento SCA volvió a ser el de menor valor en peso (Figura 27). Por último, en el ensayo 3 volvió a ser el SSA el que obtuvo un menor peso de cáscara (Figura 28).



Peso de cáscara del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso de cáscara del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

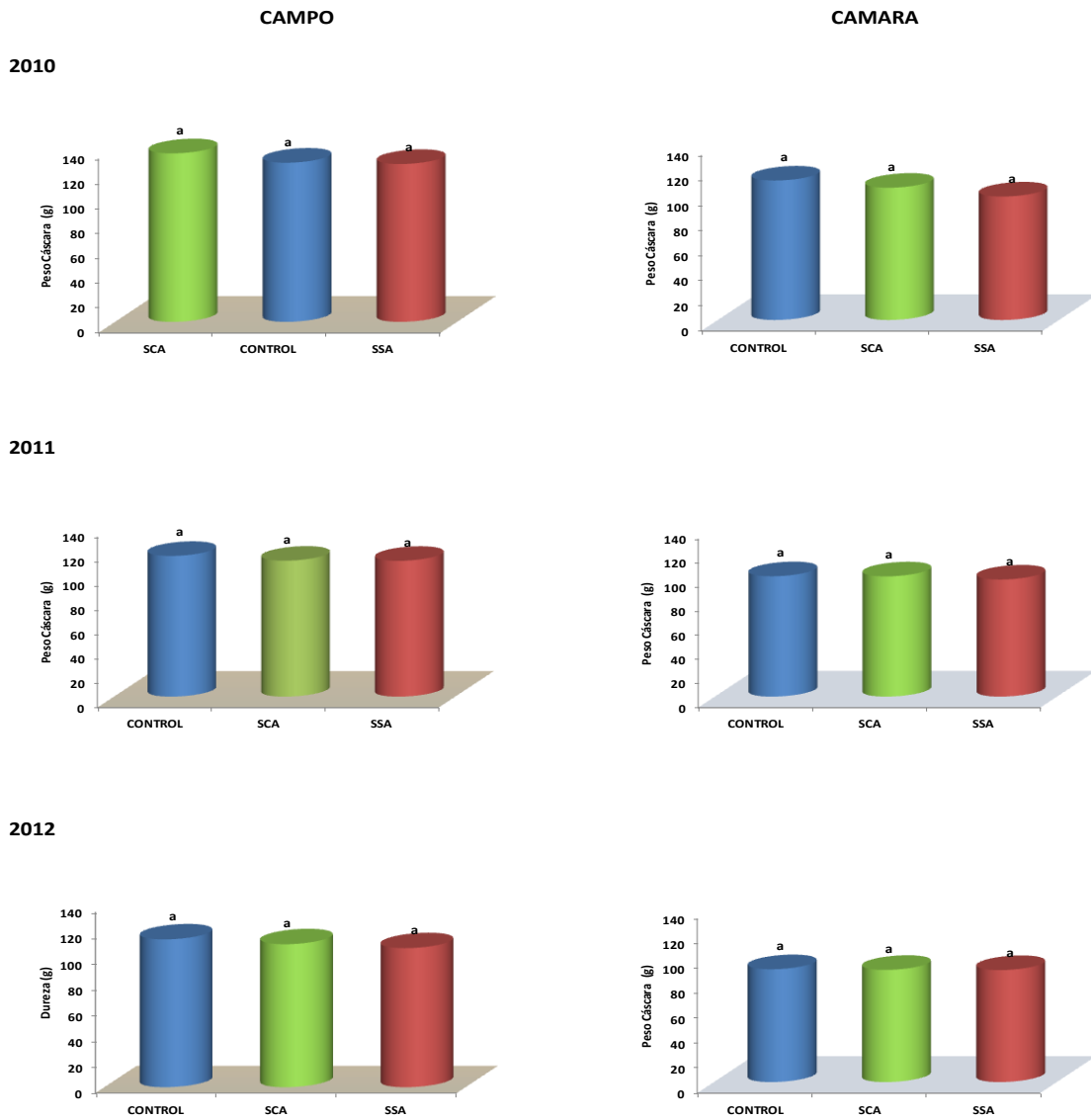
Figura 26. Peso de cáscara del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Peso de cáscara del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso de cáscara del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 27. Peso de cáscara del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Peso de cáscara del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso de cáscara del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 28. Peso de cáscara del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

Los resultados obtenidos son resultados consistentes por varios motivos que a continuación se enumeran. El estudio abarca todo ciclo del cultivo de la naranja desde que recolección hasta su introducción en cámara. Existen muchos estudios de riego deficitario pero no suelen analizar campo y cámara a la vez. Un factor a tener en cuenta es la localización de los ensayos ya que en este trabajo se han establecido tres ubicaciones diferentes. En la mayoría de los trabajos realizados se establece una única localización (Hutton,R.J., 2014 Ginestar C. et al, 1996) . Además en el trabajo realizado se ha estudiado la variedad más extendida y plantada en España, la Navelina y con edades distintas lo que permite obtener conclusiones acerca del comportamiento de la variedad en distintos tipos de suelo y bajo diferentes condiciones climáticas y de manejo de cultivo. Esto supone un avance hasta el momento debido a que no se han realizado este tipo de estudios donde a través de un ahorro hídrico se pueda mejorar las cualidades organolépticas de la fruta.

Otro de los motivos que hace de este estudio tenga interés es que a lo largo de los tres años de ensayos se han ido midiendo diferentes parámetros que influyen directamente o indirectamente en la venta y posterior comercialización de la naranja. Se dividieron las mediciones realizadas en dos momentos del ciclo del cultivo: en recolección y en cámara. En ambos casos se han medido los parámetros denominados c de calidad externa (producción, peso de los frutos, calibre longitudinal, calibre transversal, dureza, espesor de corteza y peso de la cáscara) y los de calidad interna (peso del zumo, volumen de zumo, rendimiento en zumo, Grados Brix, acidez titulable, índice de madurez, concentración de flavonoides, concentración de vitamina C e Incidencia en cámara).

En el análisis de caracteres externos, de especial relevancia es el peso medio de los frutos ya nombrado con anterioridad y que determina en gran medida la producción final.

La mayoría de los parámetros de calidad externa no se ven influenciados por los recortes hídricos dándole más peso a los resultados obtenidos. Esta idea se contrapone con algunos ahorros hídricos realizados en otros ensayos que haría

difícil que el cultivo fuese rentable (Pérez Pérez, J.G., 2016) debido a que una reducción excesiva en el aporte de agua afecta directamente al calibre longitudinal y el peso de la fruta y por lo tanto de manera significativa a la producción final. En los datos obtenidos en nuestros ensayos se observa que el calibre longitudinal es relativamente inferior al del control, sin embargo el calibre transversal no se ve afectado y por consecuencia no afecta de manera significativa a la cosecha.

Nuestros resultados recomiendan hacer reducciones de riego durante los periodos tempranos de crecimiento y de maduración ya que si dichos periodos no son largos, la fruta tiene tiempo para recuperarse no afectando a ninguno de los parámetros externos por lo que conseguimos el consecuente ahorro de agua y mejoras organolépticas.

En los ensayos realizados se ha observado que la mayoría de los caracteres de calidad interna no se ven afectados lo que resulta un factor positivo. En estudios previos de reducción del riego en determinados periodos se pueden ver afectados algunas propiedades organolépticas como son el incremento de Grados Brix y la acidez (Hocekema and Etxeberria, 2001, Yakushiji et al., 1998); pero no existiendo cambios en el resto de caracteres internos como son el grosor de piel o el índice de madurez (Pérez-Pérez et al., 2009). Si bien puede llegar a afectar en parte el rendimiento de zumo o el número de frutos por árbol, no lo hace de manera significativa (Hutton et al.2007). Esto pone de manifiesto que nuestros resultados obtenidos van en la misma línea que los ensayos descritos.

Es importante resaltar que los parámetros de calidad interna se comportan de forma similar en los distintos campos, lo que nos lleva a la conclusión que aplicando un estrés moderado en los periodos de crecimiento y maduración de fruto, no afecta de manera negativa a la calidad de la fruta.

### **4.3. EFECTOS DE DÉFICIT HÍDRICO EN LOS CARACTERES INTERNOS DE LA FRUTA EN EL MOMENTO DE LA RECOLECCIÓN Y TRAS 60 DÍAS EN CÁMARA**

#### **4.3.1. PESO DEL ZUMO**

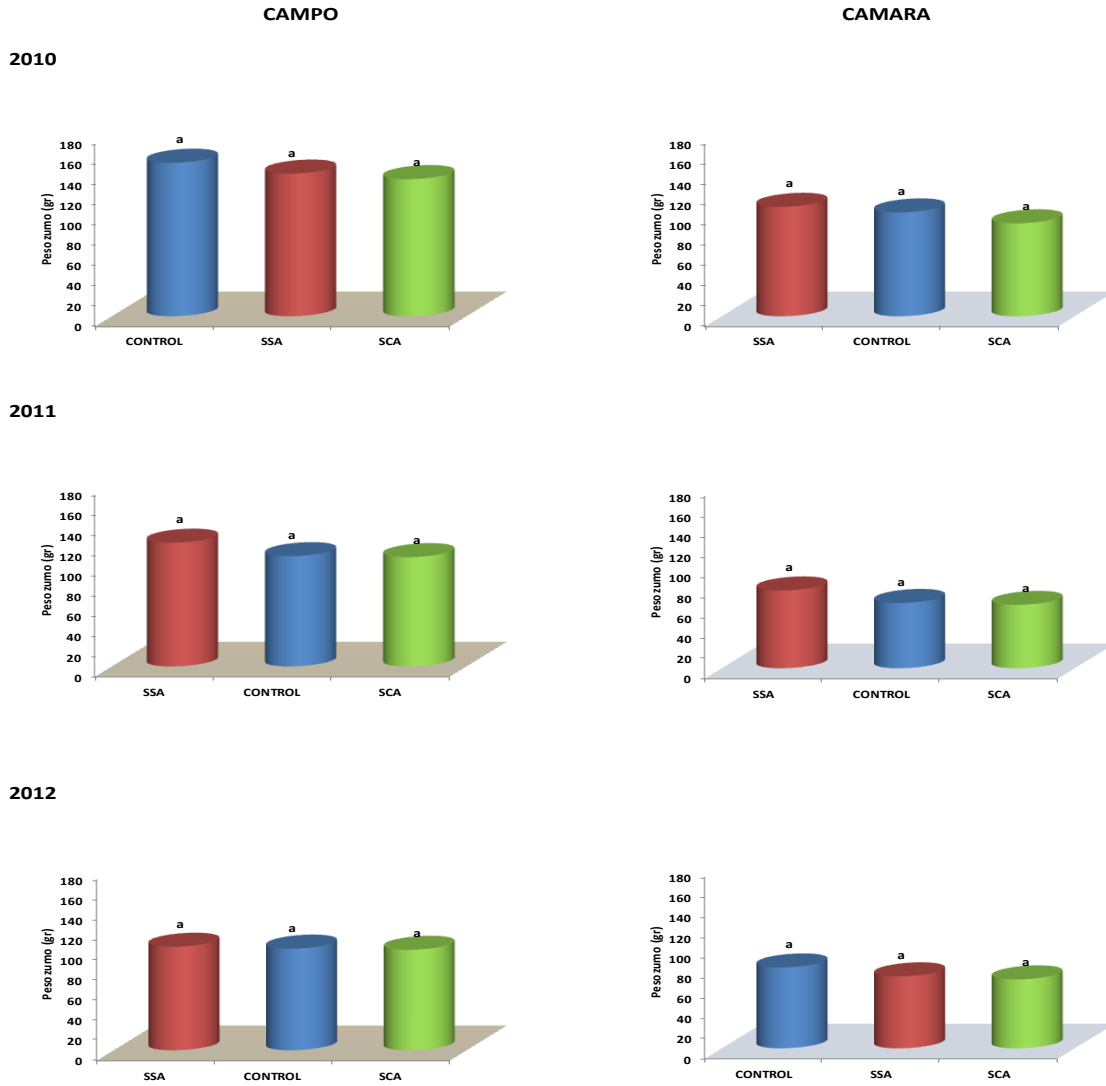
El análisis de la varianza no arrojó diferencias significativas entre tratamientos en ninguno de los ensayos ni durante ninguno de los años de estudio.

En el ensayo 1, quedó de manifiesto que el riego deficitario con aporte de abono fue el tratamiento ofreció los valores más bajos, aún cuando éstos no pudieron considerarse como significativos, siendo el tratamiento SSA el que arrojó los mayores valores durante los años 2011 y 2012. (Figura 29)

En el ensayo 2, durante los años 2010 y 2012 el menor peso de zumo se alcanzó con el tratamiento SCA (Figura 30), a pesar de que las diferencias con el resto de tratamientos fueron bastante escasas.

Por último, en el ensayo ensayo 3 (Figura 31), tampoco se pudo observar un patrón claro en los tratamientos ensayados, quedando por lo tanto este parámetro fuera de los posibles efectos del RD en las dosis aplicadas en este trabajo de investigación.

En cuanto a los valores obtenidos tras 60 días de almacenamiento en cámara, lo más destacable fue el descenso significativo en el peso de zumo en todos los tratamientos ensayados, no observándose a partir de aquí ningún patrón de comportamiento relativo a los tratamientos de estrés aplicados. A pesar de ello, se observó que en los ensayos 1 y 2 los frutos con menor peso de zumo fueron los correspondientes al tratamiento SCA (Figuras 29 y 30), mientras que para el caso del ensayo 3 fue el tratamiento SSA el que arrojó los valores más altos. (Figura 31).

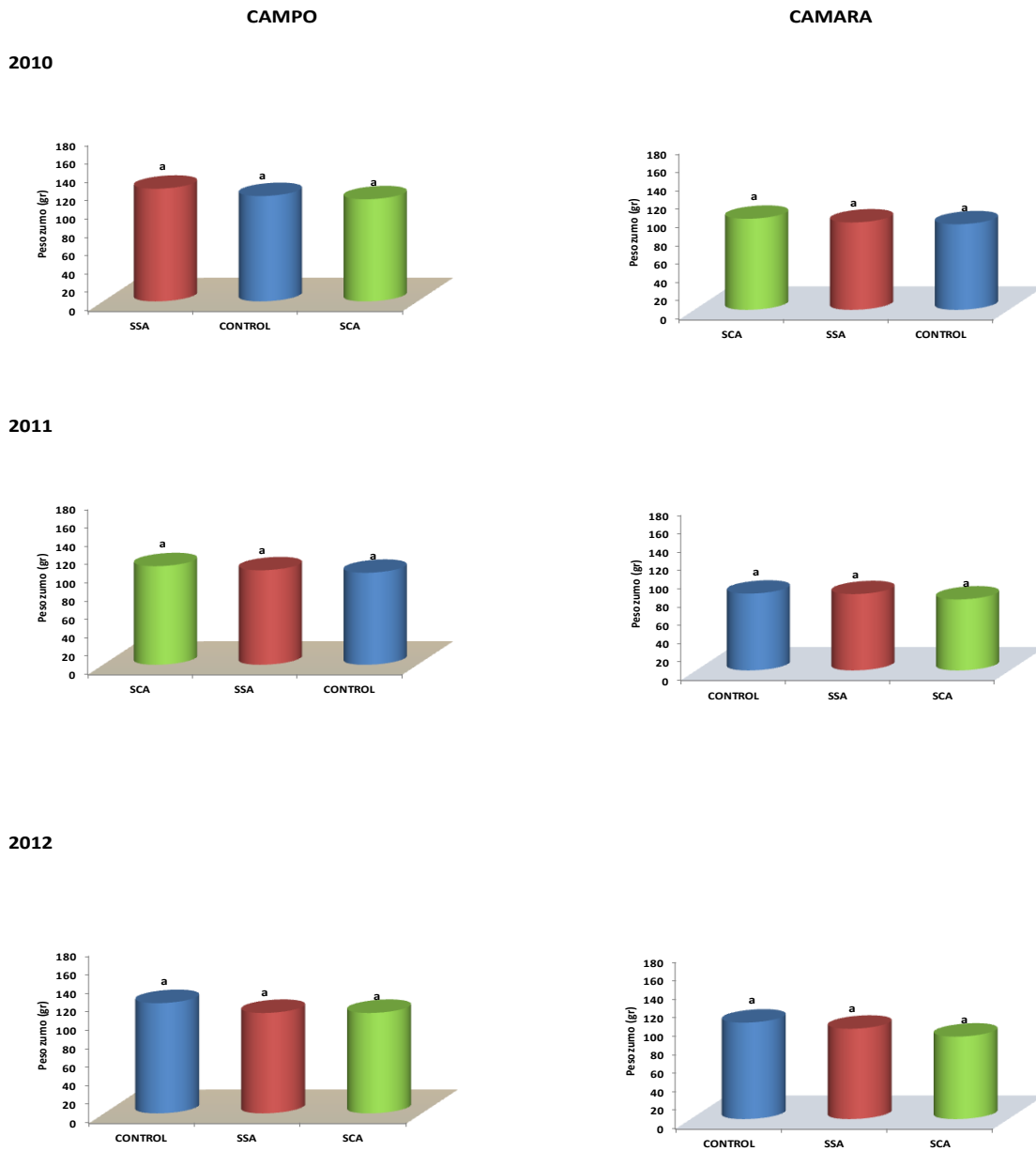


Peso de zumo del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso de zumo del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 29. Peso de zumo del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

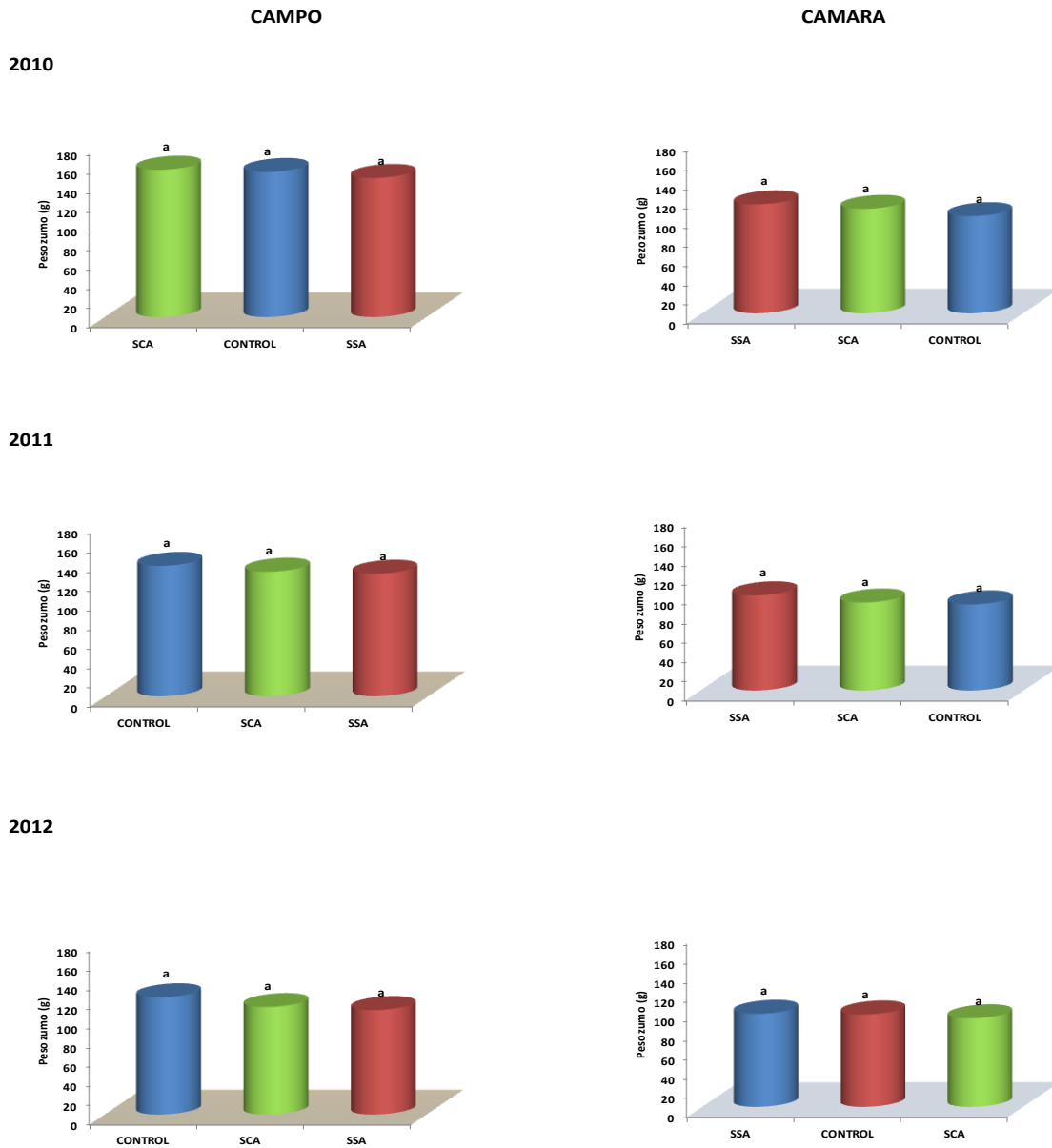




Peso de zumo del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso de zumo del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 30. Peso de zumo del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Peso de zumo del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Peso de zumo del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 31. Peso de zumo del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

#### **4.3.2. VOLUMEN DE ZUMO**

Al igual que pasaba para el caso del peso de zumo, tampoco se registraron diferencias significativas para el caso del contenido en volumen, en ninguno de los ensayos ni durante ninguno de los años considerados.

Tras la recolección en el ensayo 1, se pudo observar que tratamiento SCA fue el más afectado, con los valores más bajos durante los tres años (Figura 32). Durante los dos últimos años (2011 y 2012) el riego deficitario sin aporte de abono fue el que más volumen de zumo obtuvo. En cuanto al ensayo 2, cabe destacar que durante los años 2011 y 2012 el volumen de zumo fue menor en el tratamiento de riego de deficitario con aporte de abono (Figura 33). Este dato contrasta con los valores obtenidos por dicho tratamiento en el ensayo 3 donde, durante los años 2010 y 2011 fue el valor más elevado de los tres tratamientos aplicados (Figura 34).

Respecto a los datos obtenidos tras 60 días de almacenamiento en cámara, el volumen de zumo correspondiente al tratamiento SSA fue el de mayor valor en los ensayos (años 2010 y 2011) y en el ensayo 3 durante los tres años de estudio (Figura 32). Este dato contrasta con los resultados obtenidos en el ensayo 2, donde el volumen de zumo fue menor en dicho tratamiento durante todos los años (Figura 33).

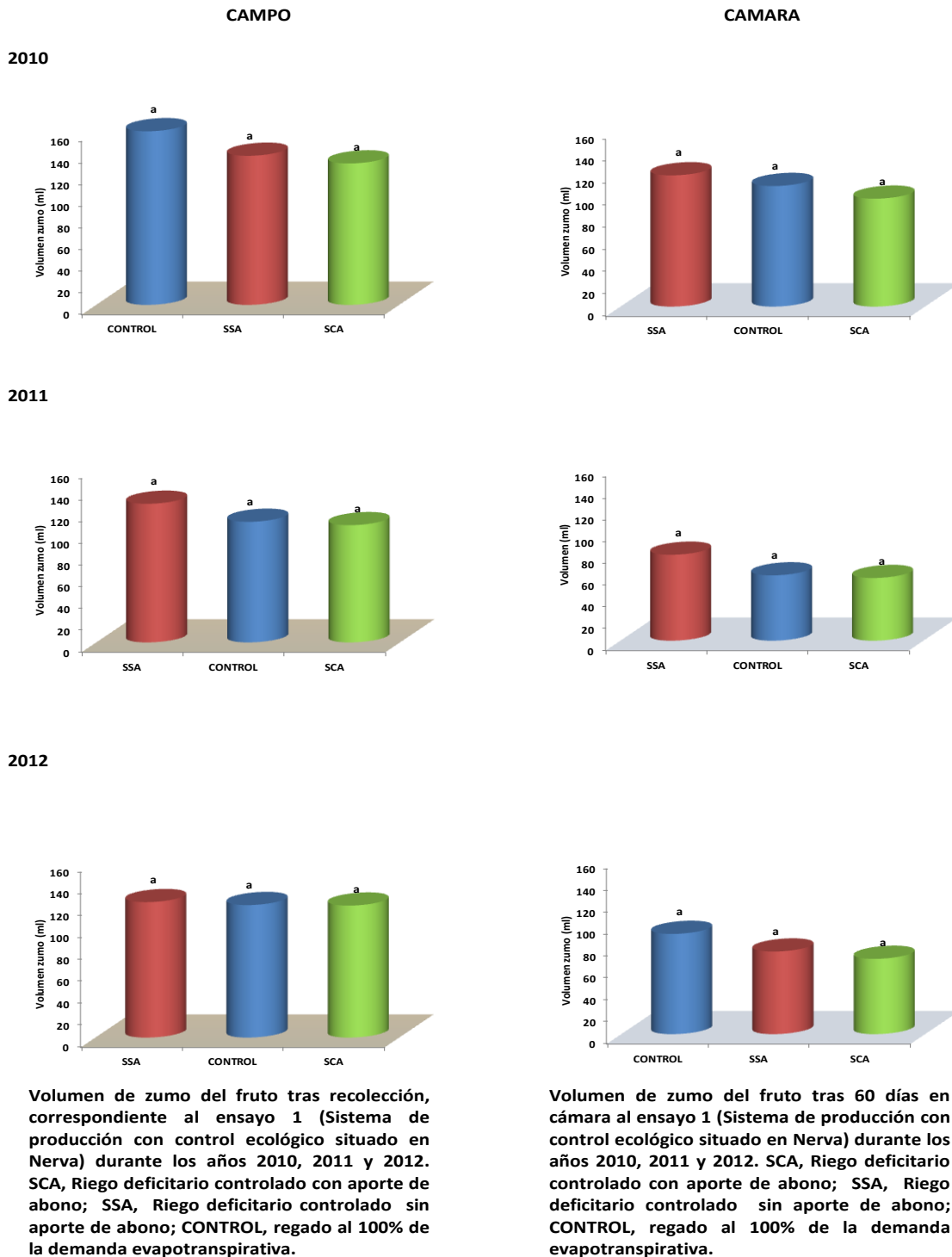


Figura 32. Volumen de zumo del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

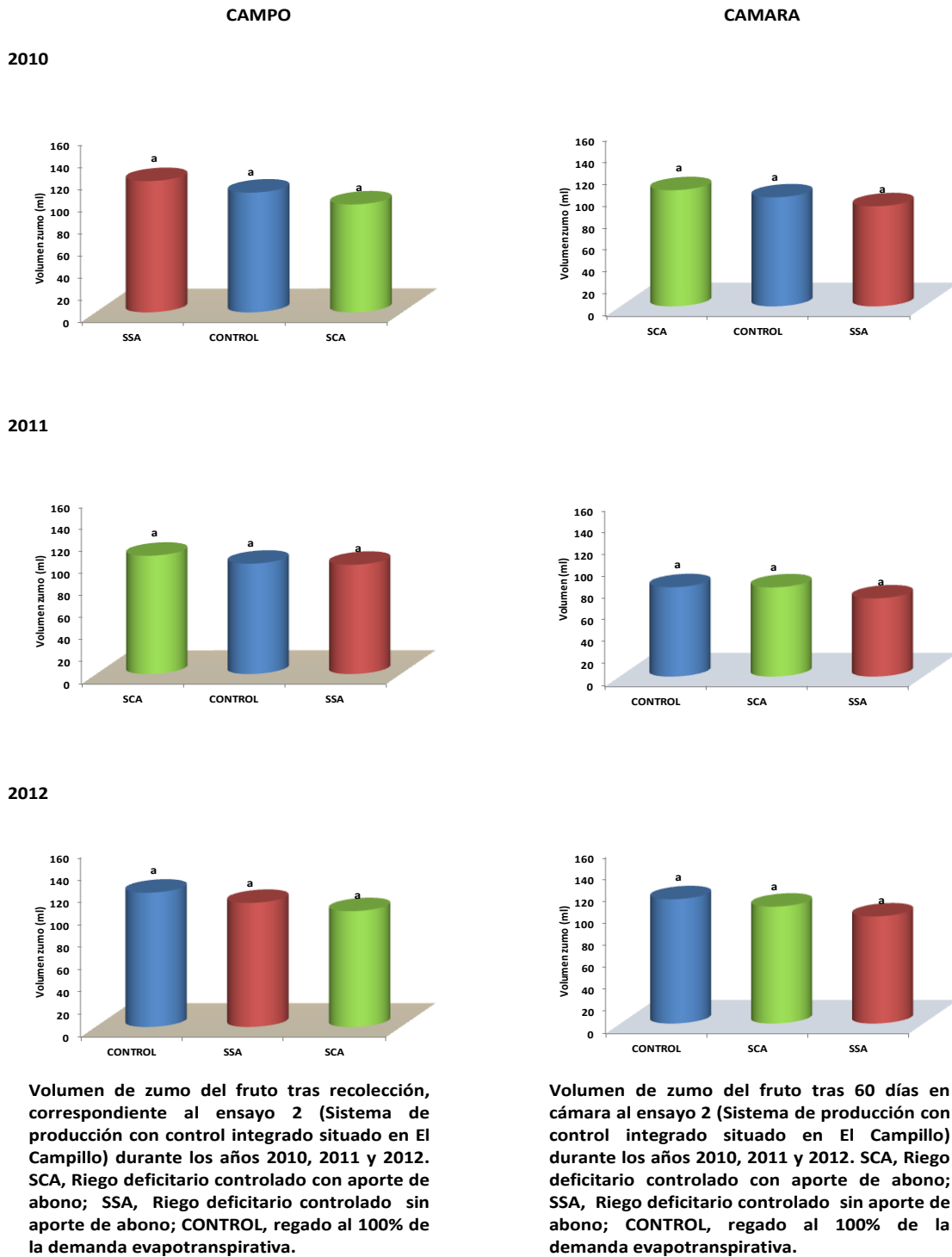
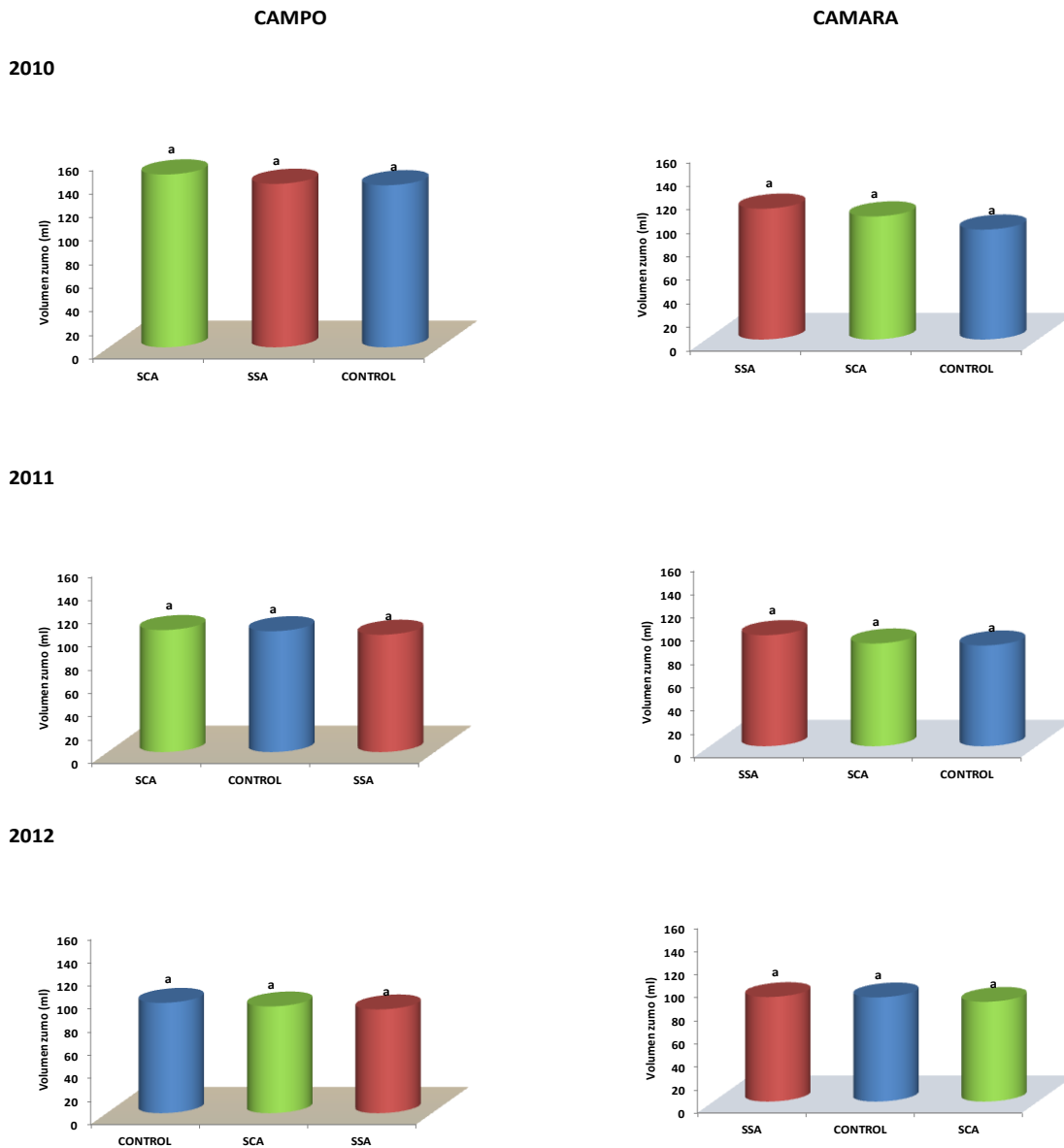


Figura 33. Volumen de zumo del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Volumen de zumo del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Volumen de zumo del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 34. Volumen de zumo del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

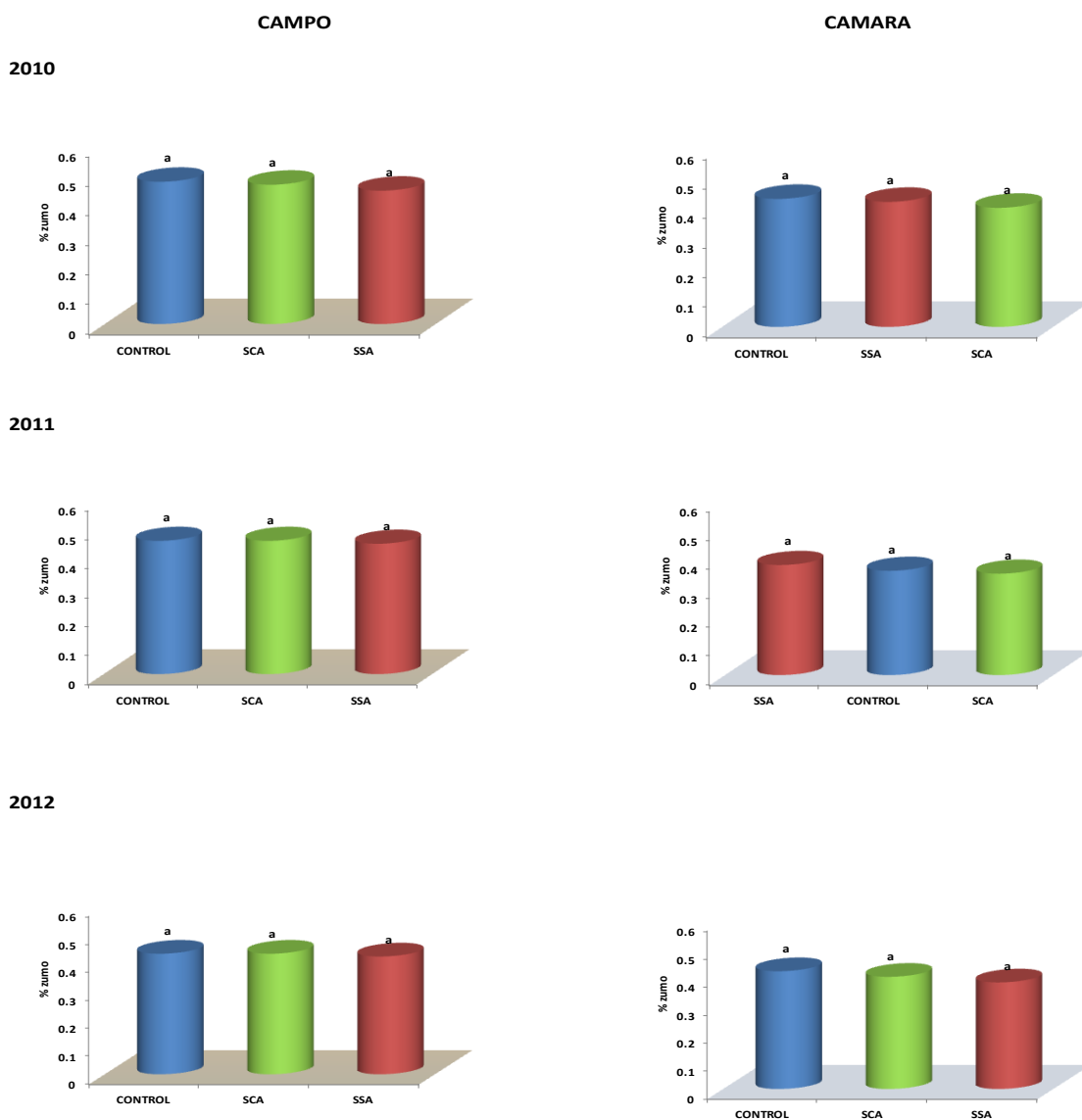
### 4.3.3. RENDIMIENTO DE ZUMO

La no existencia de diferencias significativas en el peso del fruto y zumo provocó que tampoco se registraran en el rendimiento del mismo.

Con respecto a los valores obtenidos en el momento de la recolección en los tres ensayos estudiados (Figuras 35, 36 y 37), el valor más alto se obtuvo en el tratamiento control; excepto en el ensayo 2, que durante el año 2011 arrojó el valor más alto en el tratamiento SSA. Del mismo modo, en el ensayo 1, el tratamiento SSA obtuvo un valor inferior al resto de tratamientos.

En cuanto a los valores obtenidos tras 60 días de almacenamiento en cámara, en el ensayo 1 los valores más elevados se obtuvieron en el tratamiento Control (Figura 35), mientras que los valores más bajos se registraron en el tratamiento SCA.

Para el ensayo 2, fue durante los años 2011 y 2012 cuando el control obtuvo los mayores valores, mientras que el tratamiento SSA se mostró como el más sensible en lo referente a este parámetro (Figura 36). Finalmente, en el ensayo 3, durante los años 2011 y 2012 el tratamiento control fue el que registró un mayor rendimiento en zumo, siendo el tratamiento SCA el que mostró los valores más bajos (Figura 37).

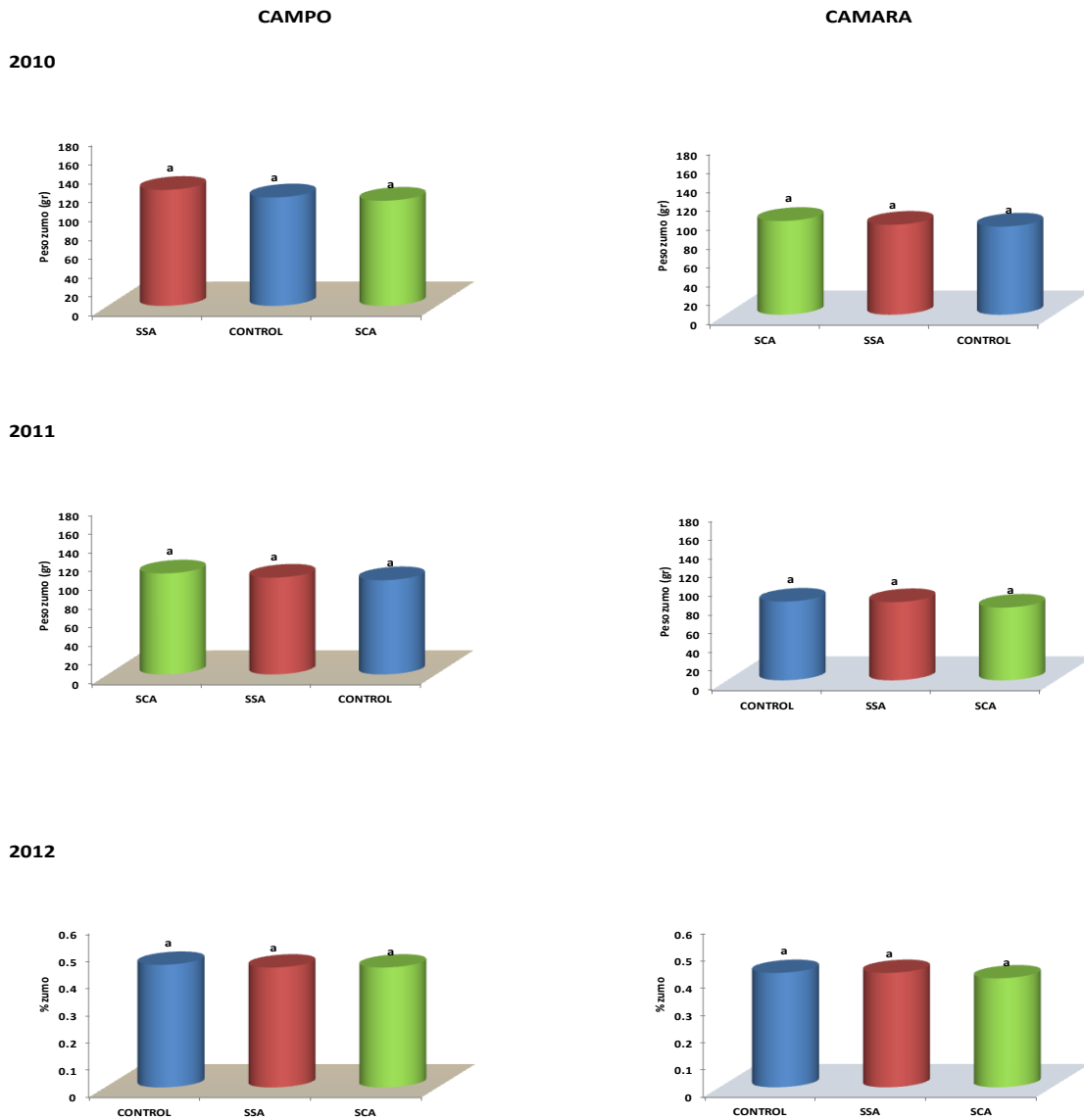


Rendimiento de zumo del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Rendimiento de zumo del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 35. Rendimiento de zumo del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

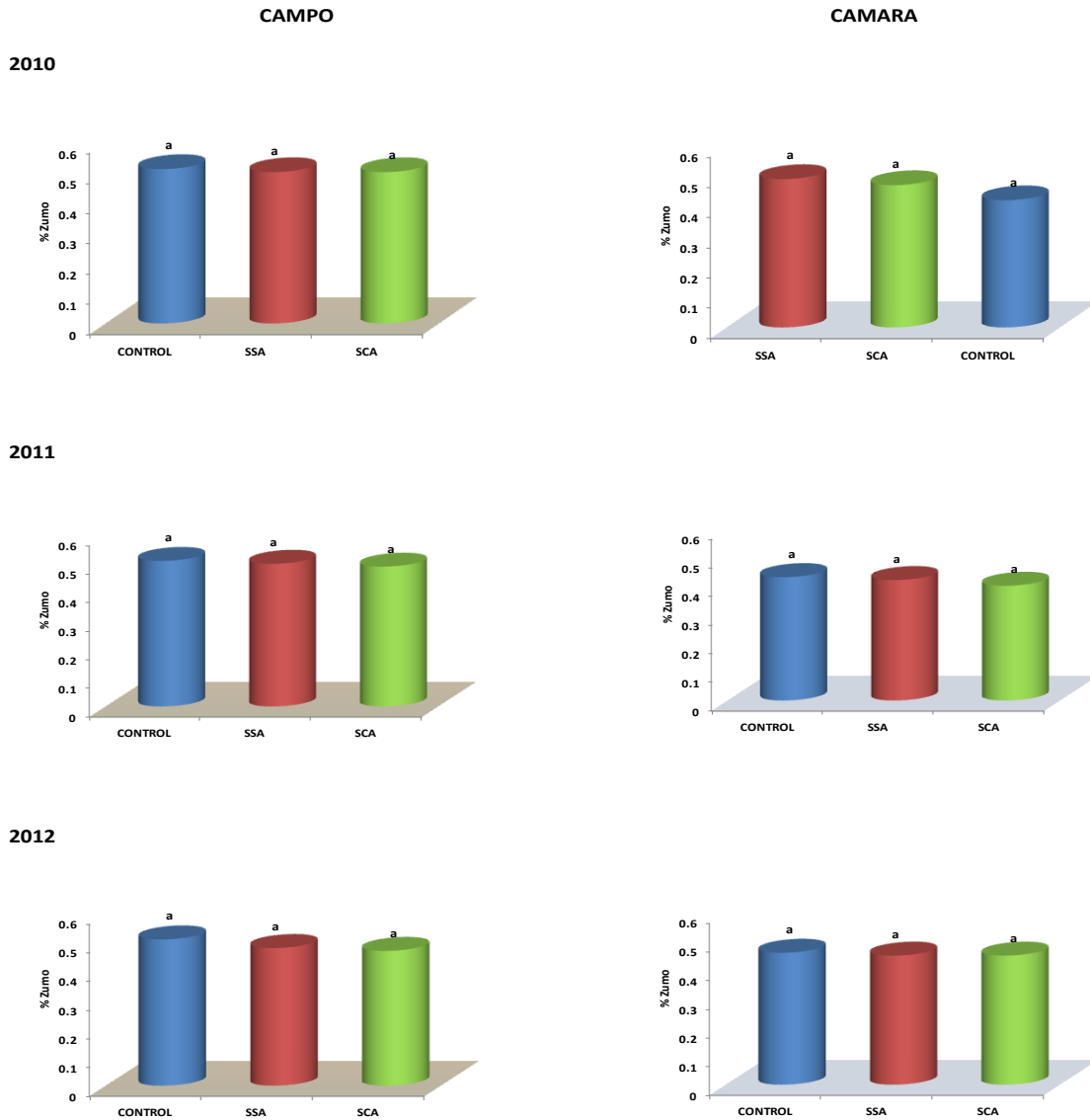




Porcentaje de zumo del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Porcentaje de zumo del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 36. Rendimiento de zumo del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Porcentaje de zumo del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Porcentaje de zumo del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 37. Rendimiento de zumo del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

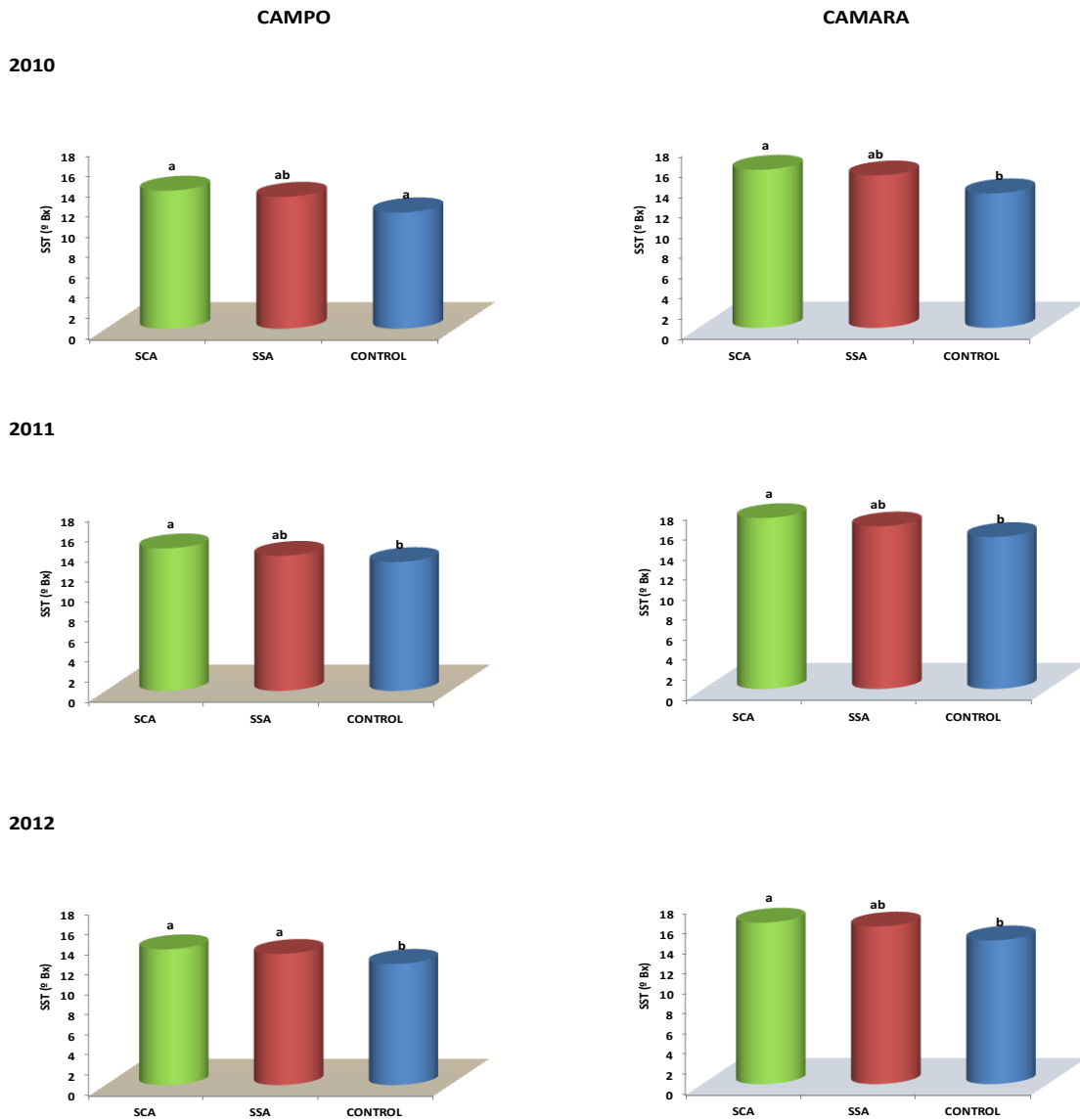
#### 4.3.4. CONTENIDO DE AZÚCARES

El análisis de varianza arrojó diferencias significativas entre las diferentes estrategias de riego ensayadas, en los diferentes ensayos y años de estudio.

En este sentido, en el ensayo 1, en el momento de la recolección, durante los tres años de estudio, el tratamiento que mayor grados Brix obtuvo fue el SCA (Figura 38), existiendo diferencias significativas entre dicho tratamiento y el control, pero no con el tratamiento SSA. Sólo durante el año 2012, los dos tratamientos de riego deficitario fueron significativamente distintos al control, obteniendo un mayor índice de grados Brix.

En los ensayos 2 y 3 (Figuras 39 y 40) se pudo observar una tendencia similar a la del ensayo 1, existiendo diferencias significativas entre el tratamiento SCA frente a los otros dos tratamientos, durante los tres años de estudio. Al igual que ocurrió en el ensayo 1, sólo durante el año 2012 se encontraron diferencias significativas de los dos tratamientos de riego deficitario frente al tratamiento control.

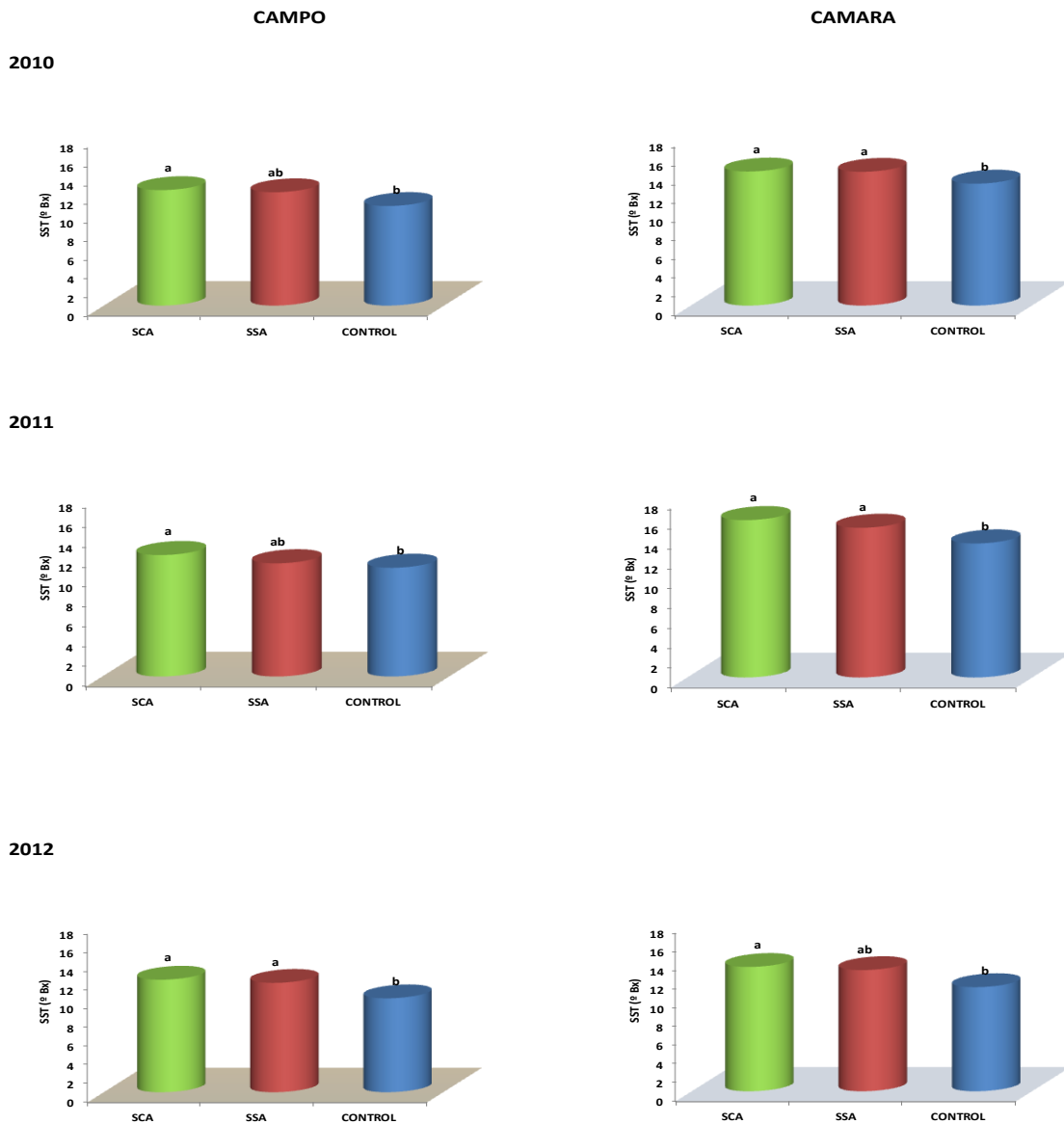
En el análisis posterior tras 60 días en cámara, los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento SCA. Así, en el ensayo 1 (Figura 38), sólo hubo diferencias significativas entre el SCA y el Control. A diferencia del ensayo 1, en los ensayos 2 y 3 (Figuras 39 y 40) existieron diferencias significativas entre los dos tratamientos de ahorro hídrico y el Control.



Brix<sup>o</sup> del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Brix<sup>o</sup> del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

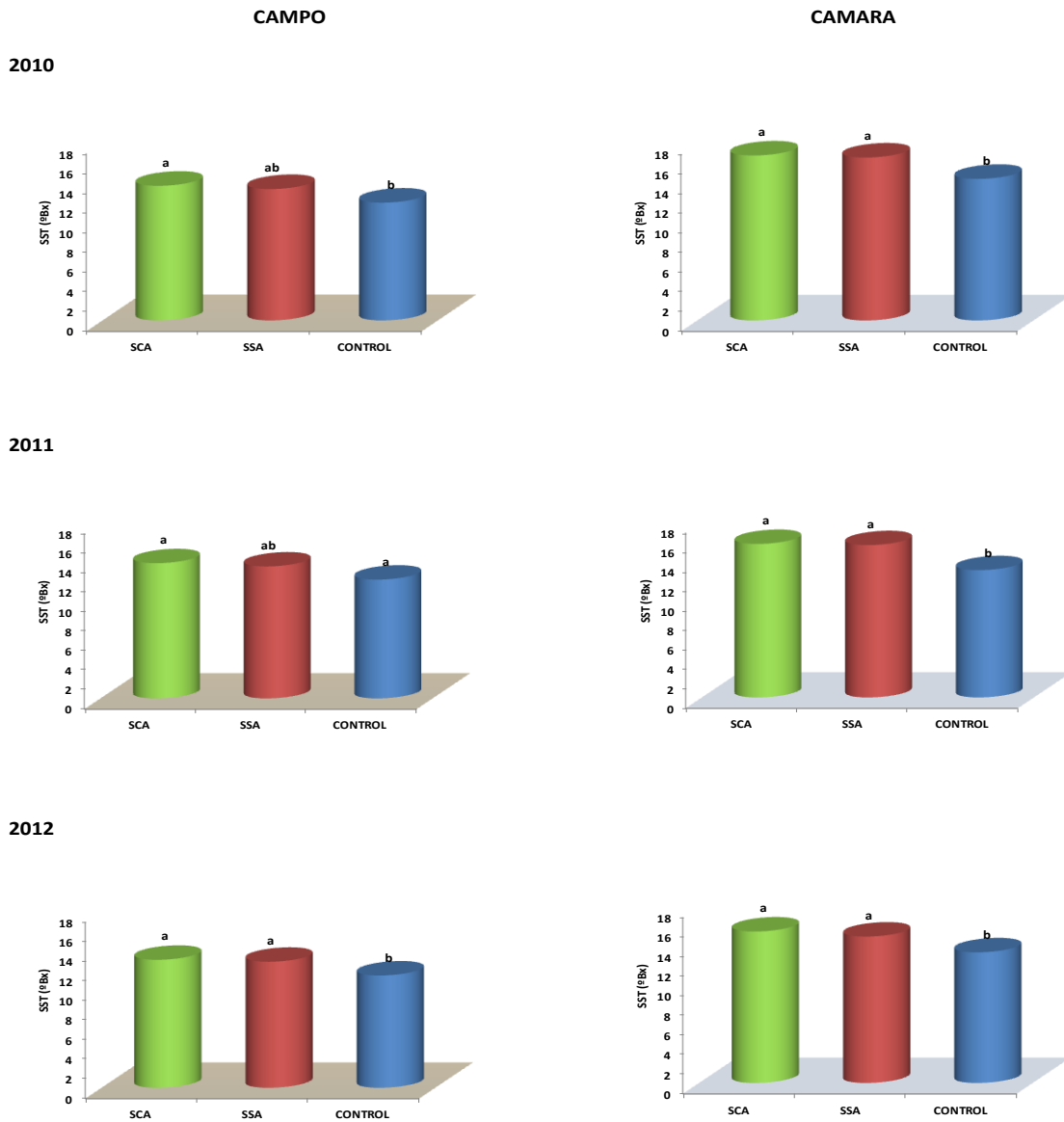
Figura 38. Grados Brix del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Brix<sup>o</sup> del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Brix<sup>o</sup> del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 39. Grados Brix del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Brix<sup>o</sup> del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Brix<sup>o</sup> del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 40. Grados Brix del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

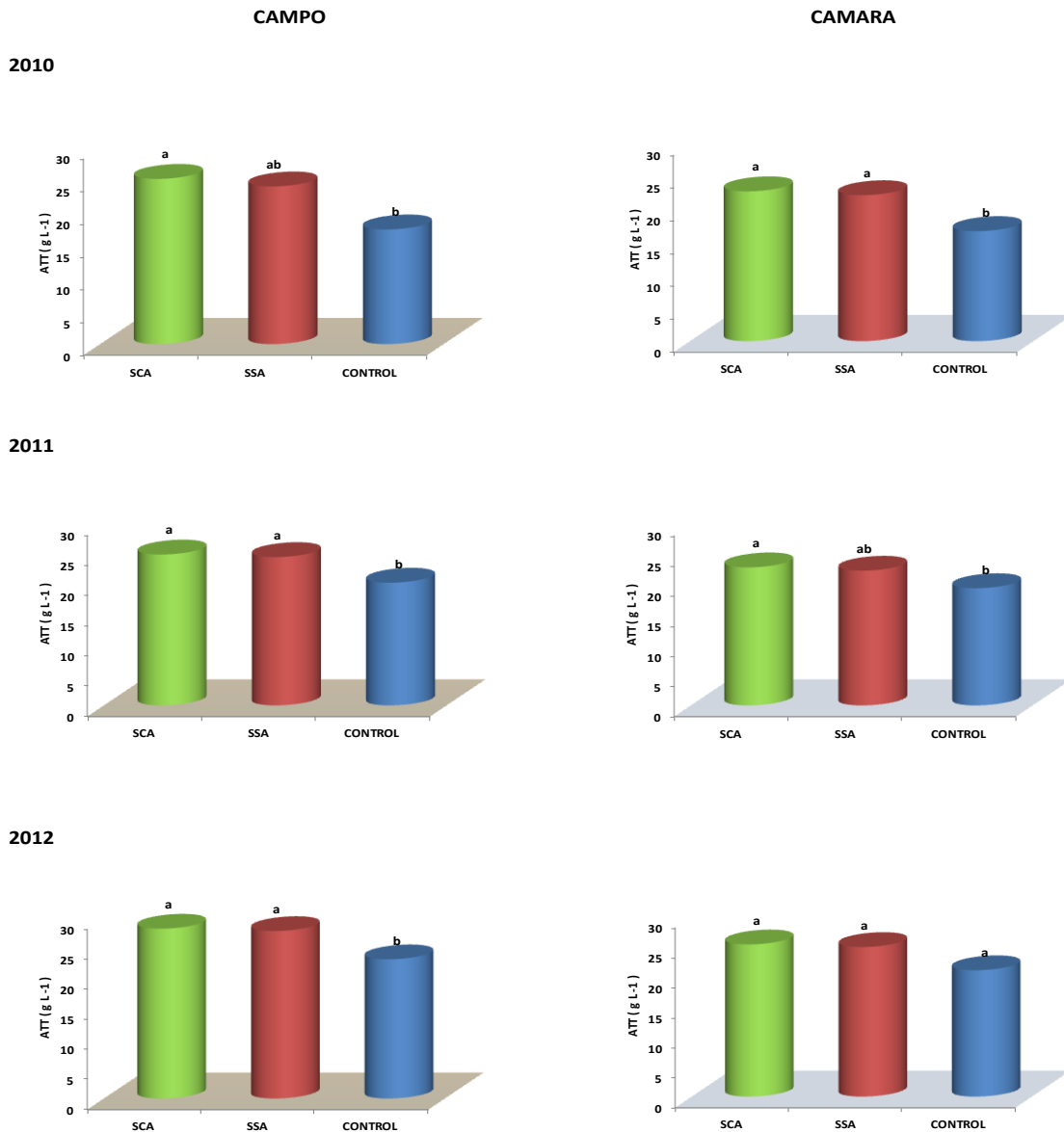
#### **4.3.5. ACIDEZ**

Al igual que el anterior carácter, la acidez se vio influida por las distintas estrategias de riego deficitario, localizándose éstas a nivel de ensayo en los diferentes años de estudio.

En el ensayo 1, tras recolección se observaron diferencias significativas durante los tres años de estudio, entre los dos tratamientos en riego deficitario y el control (Figuras 41 y 42).

En el ensayo 2 ocurrió algo similar al ensayo 1, siendo los frutos de los dos tratamientos con ahorro hídrico a lo largo de los tres años los que arrojaron mayores niveles de acidez que los frutos Control. Tanto en el ensayo 1 como en el 2, los mayores valores se obtuvieron en los frutos del tratamiento SCA. En el ensayo 3, la mayor acidez se obtuvo en los frutos con el tratamiento SSA (Figura 43). Se observaron diferencias significativas entre el SCA y el control en los tres años y sólo en el 2011 entre los dos tratamientos de riego deficitario y el control.

En cuanto a los análisis tras el almacenamiento del fruto, la mayor acidez la obtuvieron los frutos del tratamiento SCA (Figuras 41, 42 y 43). En el año 2012, en el ensayo 1, a pesar de que la mayor acidez la obtuvieron los frutos del tratamiento SCA, ocurriendo algo parecido en el ensayo 3.

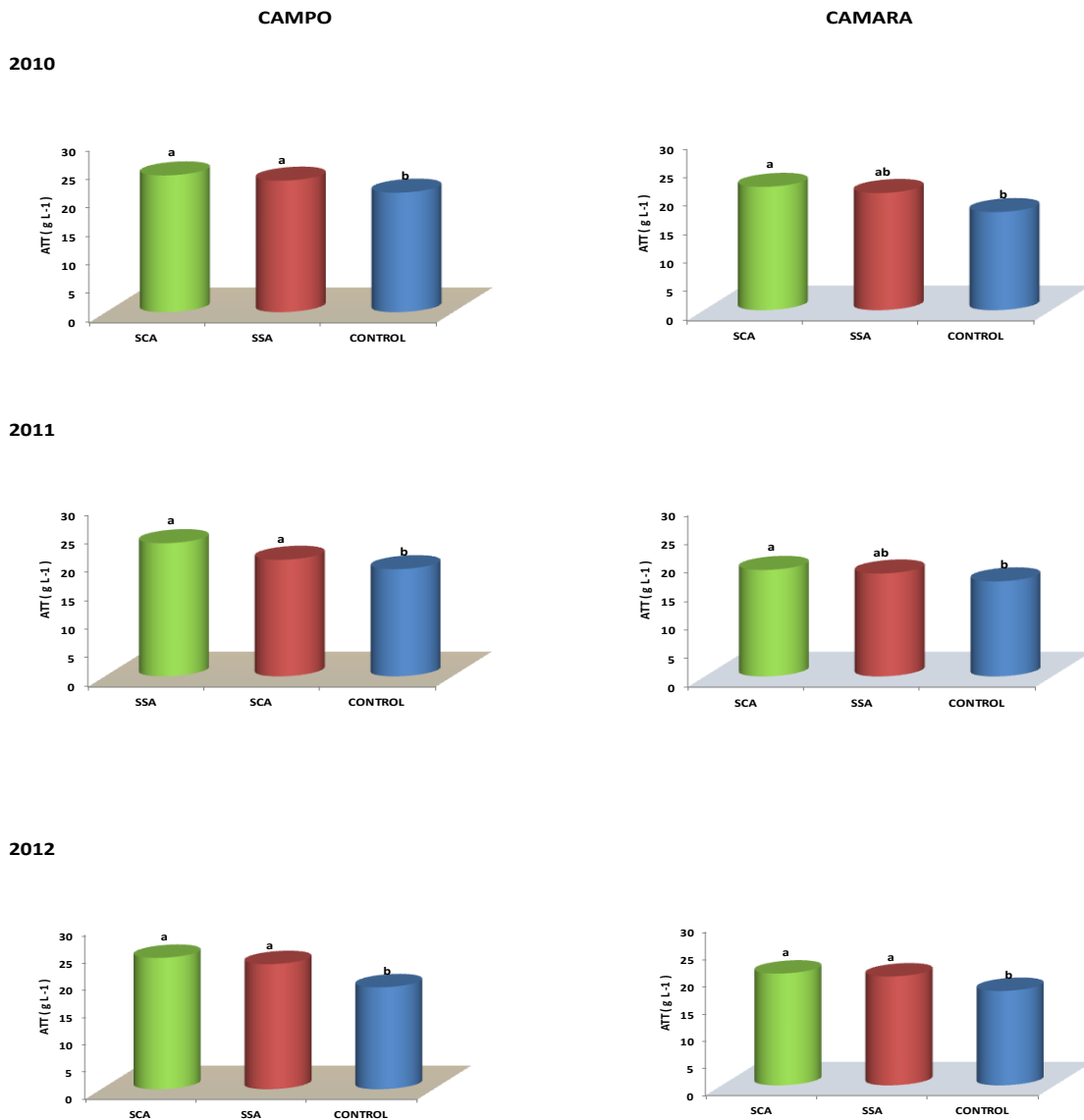


Acidez del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Acidez del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 41. Acidez del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

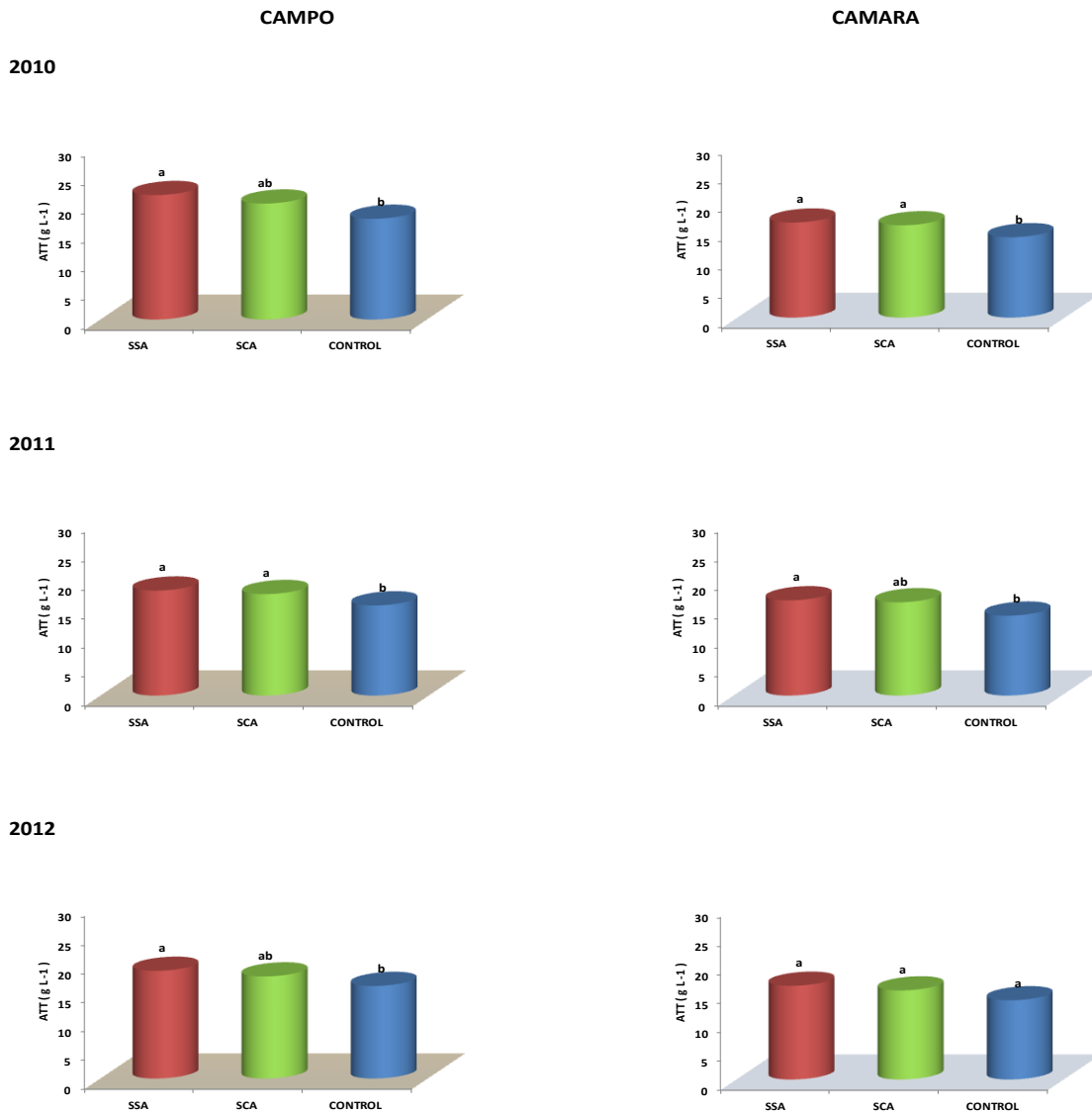




Acidez del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Acidez del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 42. Acidez del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Acidez del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Acidez del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

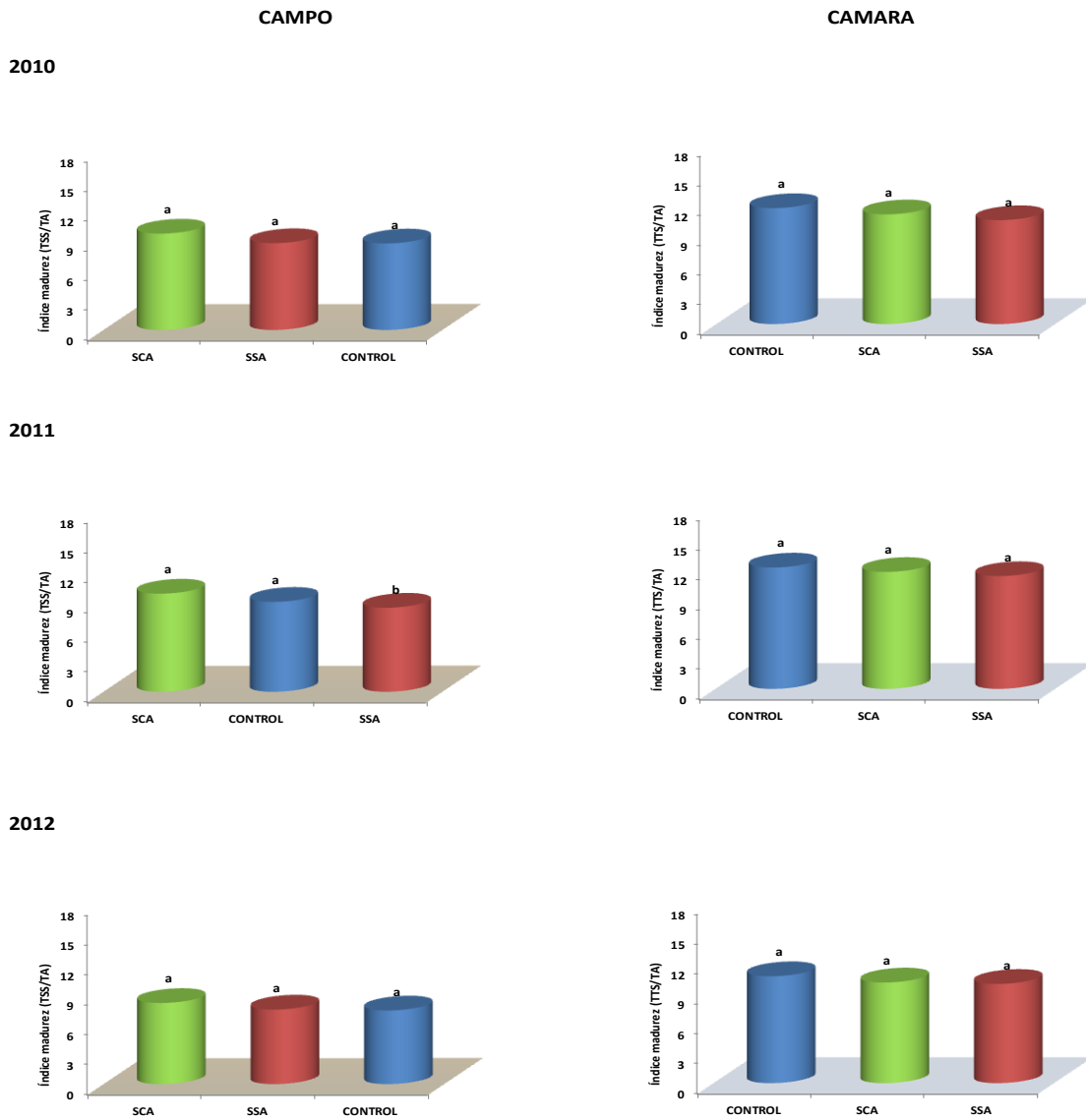
Figura 43. Acidez del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

#### 4.3.6. INDICE DE MADUREZ

A pesar de que se registraron diferencias significativas en los dos parámetros anteriores, estos cambios se amortiguaron en el índice de madurez; no existiendo en este caso diferencias significativas entre los tratamientos ensayados. Tan sólo durante el año 2011 se localizaron diferencias entre tratamientos en el primero de los ensayos.

En el momento de la recolección, en el ensayo 1 el tratamiento SCA fue el que mayor índice de madurez arrojó, siendo el tratamiento control el que arrojó los valores más bajos 2010 y 2012 (Figura 44). En el año 2011, se localizaron diferencias significativas de los tratamientos deficitarios el tratamiento control. En el ensayo 2, al igual que en el anterior, el mayor índice de madurez se localizó en los frutos correspondientes al tratamiento SCA (Figura 45). En este ensayo, y durante los tres años, el tratamiento control tuvo un menor índice de madurez. Esta misma tendencia se pudo observar en el ensayo 3. (Figura 46).

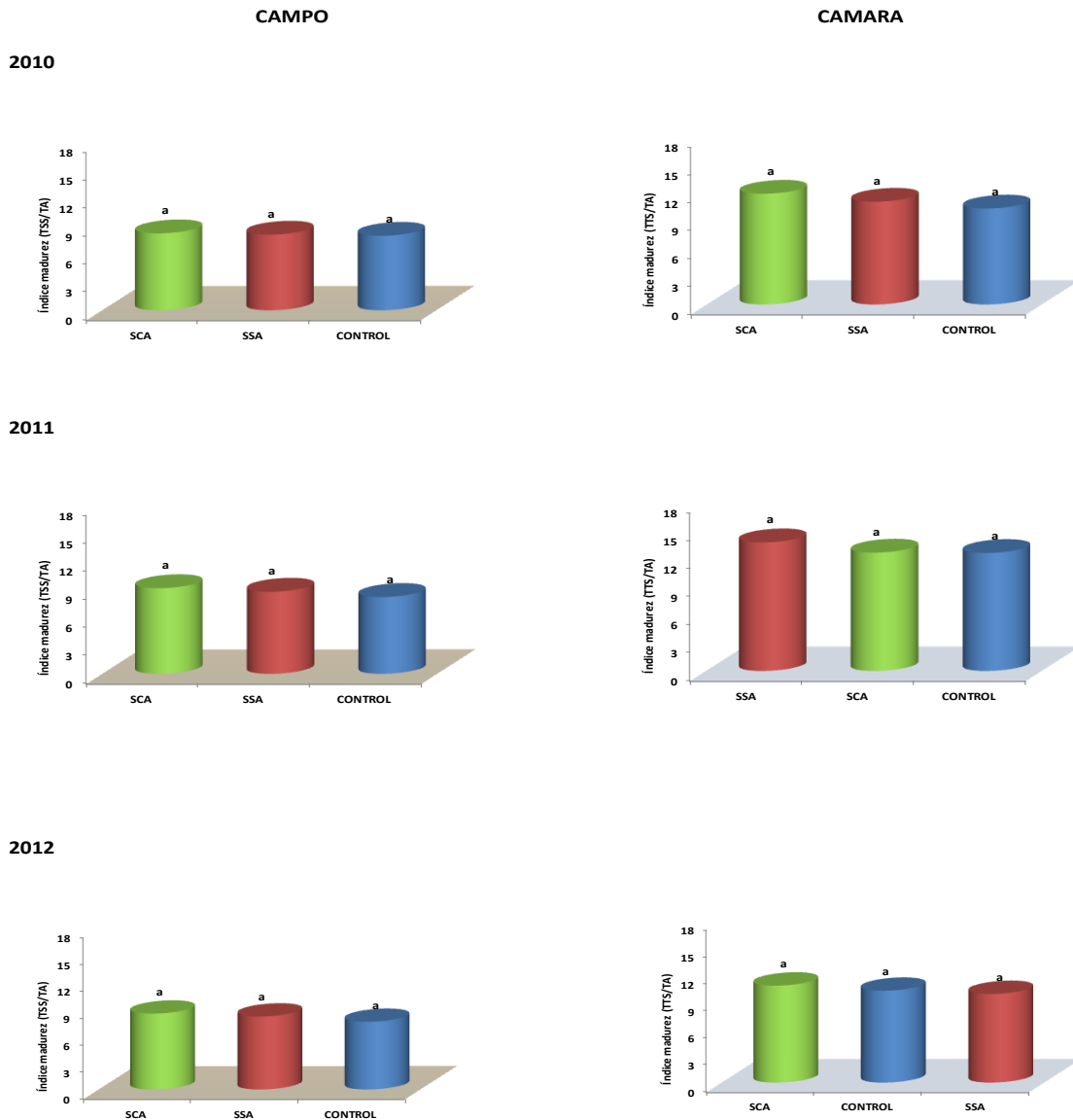
En cuanto a los valores registrados tras 60 días de almacenamiento, los valores obtenidos en cámara en el ensayo 1 pusieron de manifiesto que el tratamiento control fue el que mejor índice de madurez obtuvo (Figura 44.) En este ensayo, el menor índice de madurez fue el obtenido en los frutos de riego deficitario sin abono. En cuanto al ensayo 2, para los años 2010 y 2012 el mayor índice de madurez fue para el tratamiento SCA, y durante los años 2010 y 2011 el tratamiento control fue el que obtuvo un menor índice de madurez (Figura 45). Por último, en el ensayo 3, durante los tres años de estudio, el menor índice de madurez se obtuvo para aquellos frutos con riego deficitario sin aporte de abono, mientras que en los años 2010 y 2011 el control fue el tratamiento que arrojó el mayor valor (Figura 46).



Índice de madurez del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Índice de madurez del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

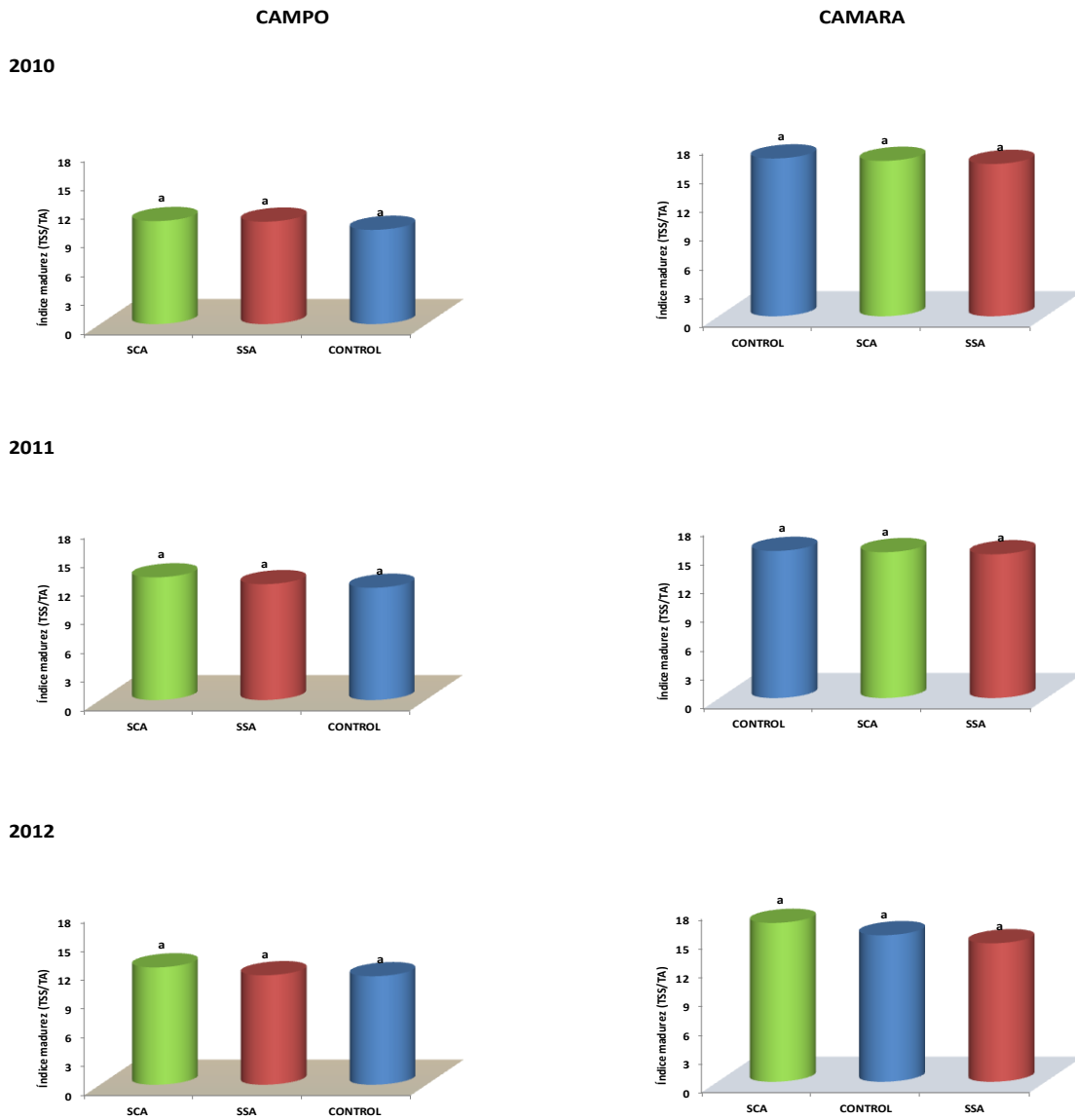
Figura 44. Índice de madurez del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Índice de madurez del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Índice de madurez del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 45. Índice de madurez del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Índice de madurez del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Índice de madurez del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 46. Índice de madurez del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

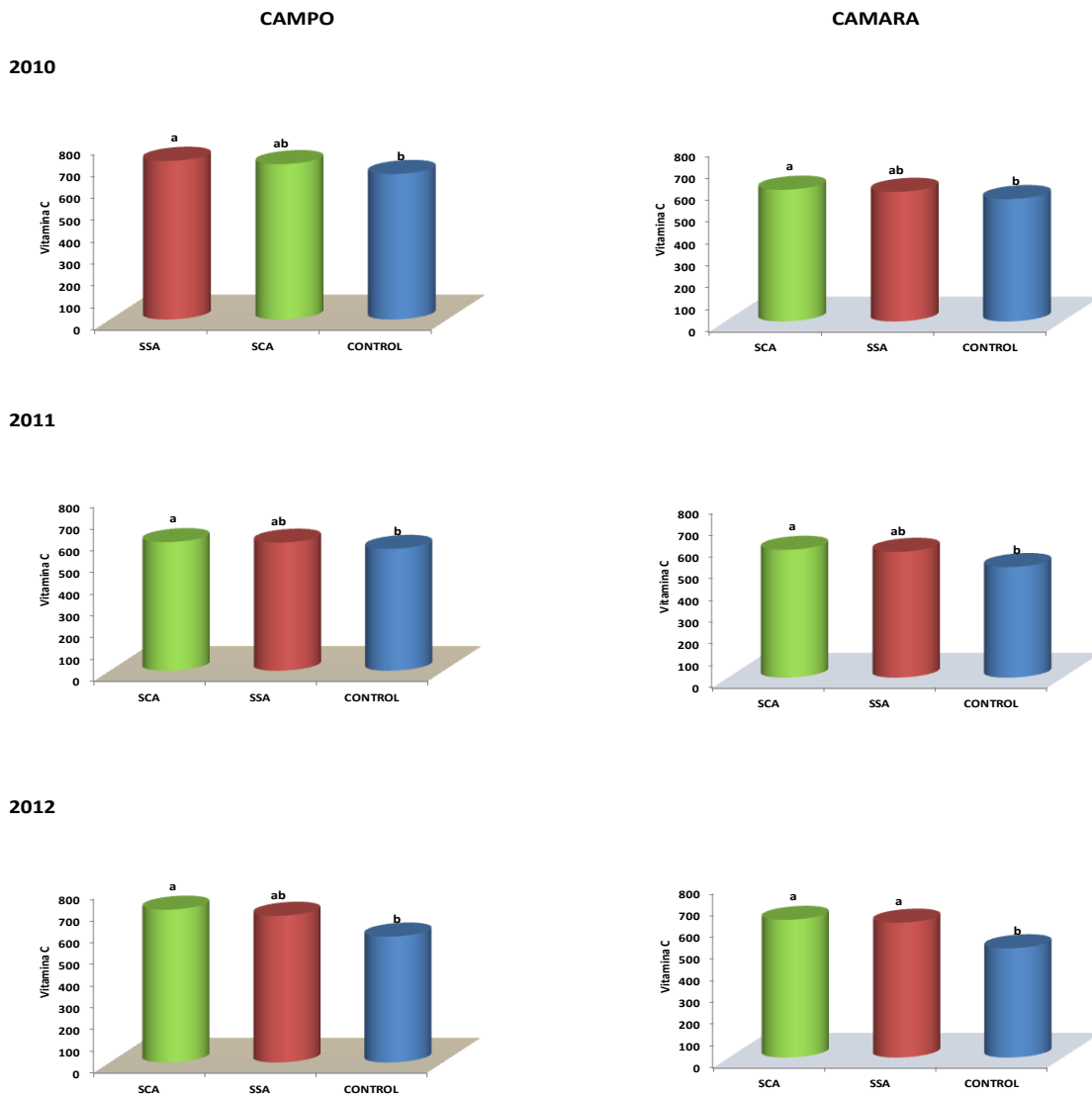
#### 4.3.7. VITAMINA C

El análisis de la varianza arrojó diferencias significativas en los distintos años de estudio y para los distintos ensayos.

En el caso del ensayo 1 (Figura 47), se encontraron diferencias significativas en el contenido de vitamina C, siendo estos valores superiores en los tratamientos sometidos a estrés con respecto al control. En el año 2010, las diferencias significativas se localizaron entre el tratamiento SSA y el control. En los años 2011 y 2012, dichas diferencias fueron entre el tratamiento SCA y el control. En el ensayo 2 (Figura 48) los dos tratamientos de ahorro hídrico tuvieron una mayor concentración de vitamina C, existiendo diferencias significativas respecto al control.

En el ensayo 3 (Figura 49) hubo diferencias significativas durante los años 2010 y 2011 entre tratamiento SCA y el control, mientras que en el año 2012 fue el tratamiento SSA el que arrojó diferencias significativas con respecto al control.

Al analizar los datos en cámara, en el ensayo 1 la mayor concentración de vitamina C se obtuvo en los tratamientos de ahorro hídrico con aportación de abono. En los años 2010 y 2011 hubo diferencias significativas entre el tratamiento anteriormente nombrado y el control (Figura 47). Sólo durante el año 2012 las diferencias significativas estuvieron entre los dos tratamientos de ahorro hídrico y el control. En el ensayo 2 hubo diferencias significativas en el año 2010 entre el tratamiento SSA y el control; mientras que en el 2011, estas diferencias se localizaron entre el tratamiento SCA y el control (Figura 48). Cabe resaltar que no hubo diferencias significativas durante el año 2010, aunque el menor valor fue en el control. En el ensayo 3, el menor valor en concentración de vitamina C fue en el control (Figura 49), mientras que en el año 2010 y 2011 la diferencia significativa fue entre el riego deficitario con aportación de abono y el control.

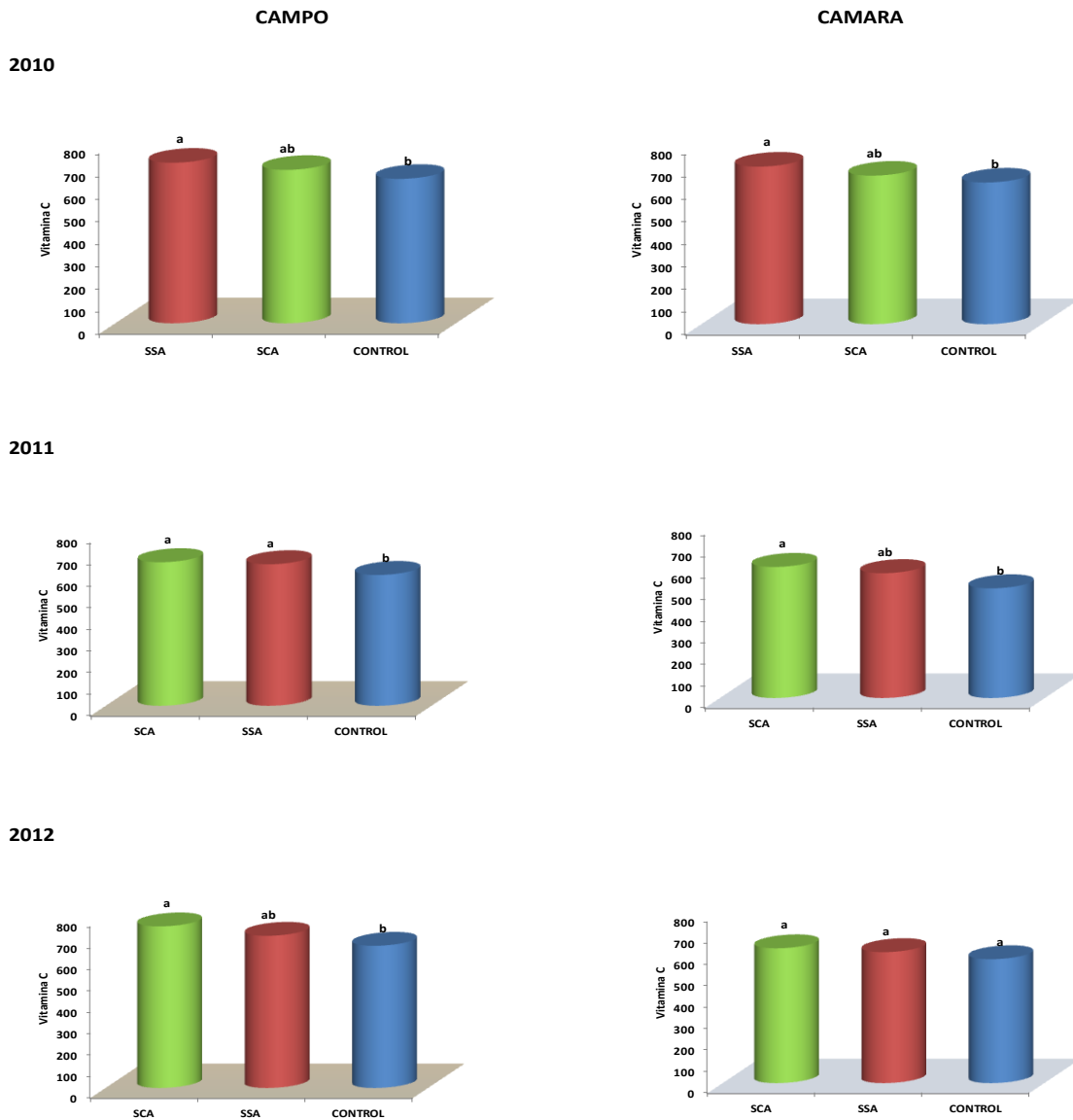


Vitamina C del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Vitamina C del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 47. Vitamina C del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

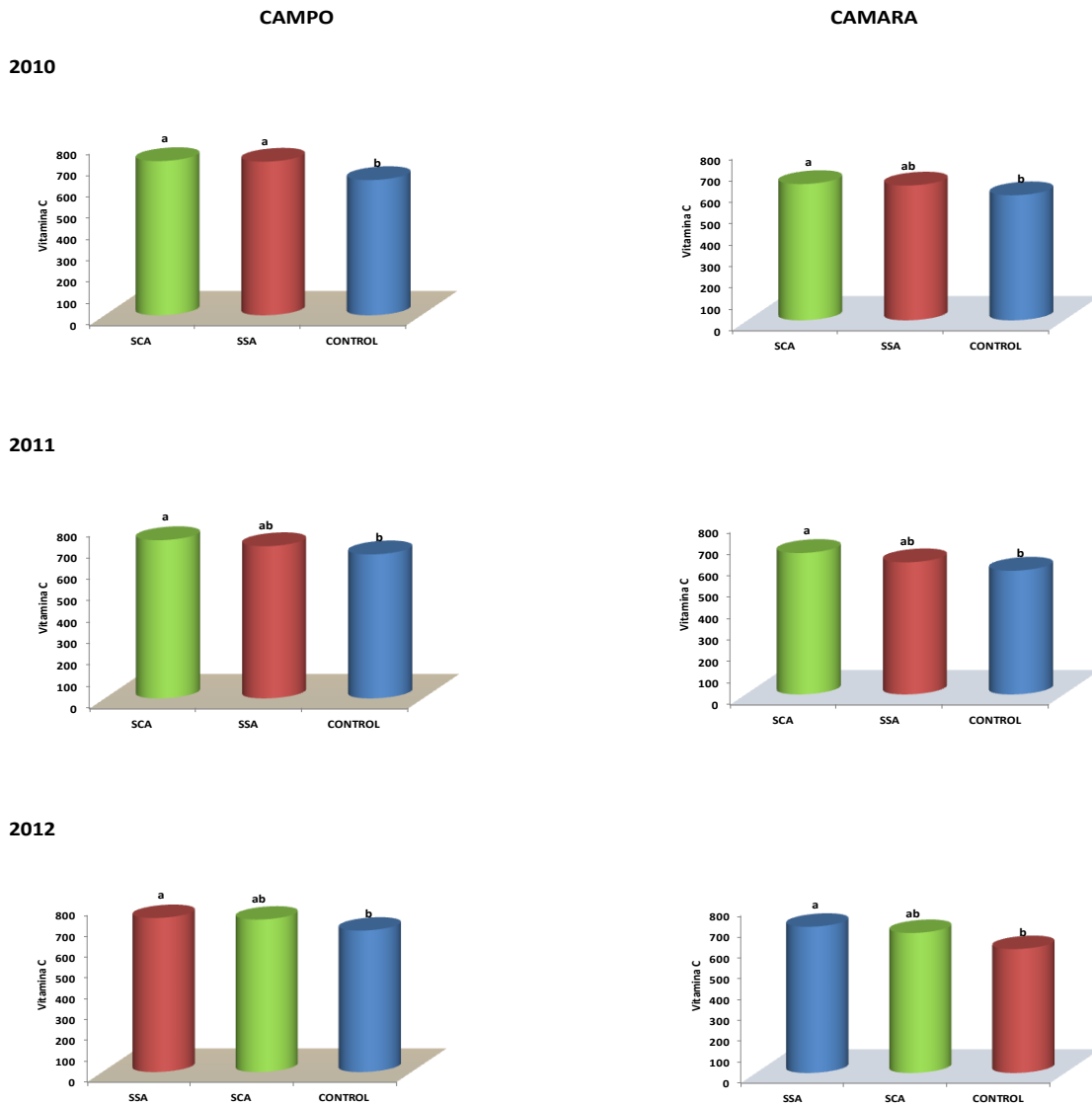




Vitamina C del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Vitamina C del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 48. Vitamina C del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Vitamina C del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Vitamina C del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 49. Vitamina C del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

#### 4.3.8. FLAVONOIDES

El análisis de la varianza arrojó diferencias significativas entre los diferentes tratamientos ensayados en se observaron diferencias significativas entre tratamientos en algunos de los años de estudio, tanto en frutos tras recolección, como a los 60 días de almacenamiento en cámara.

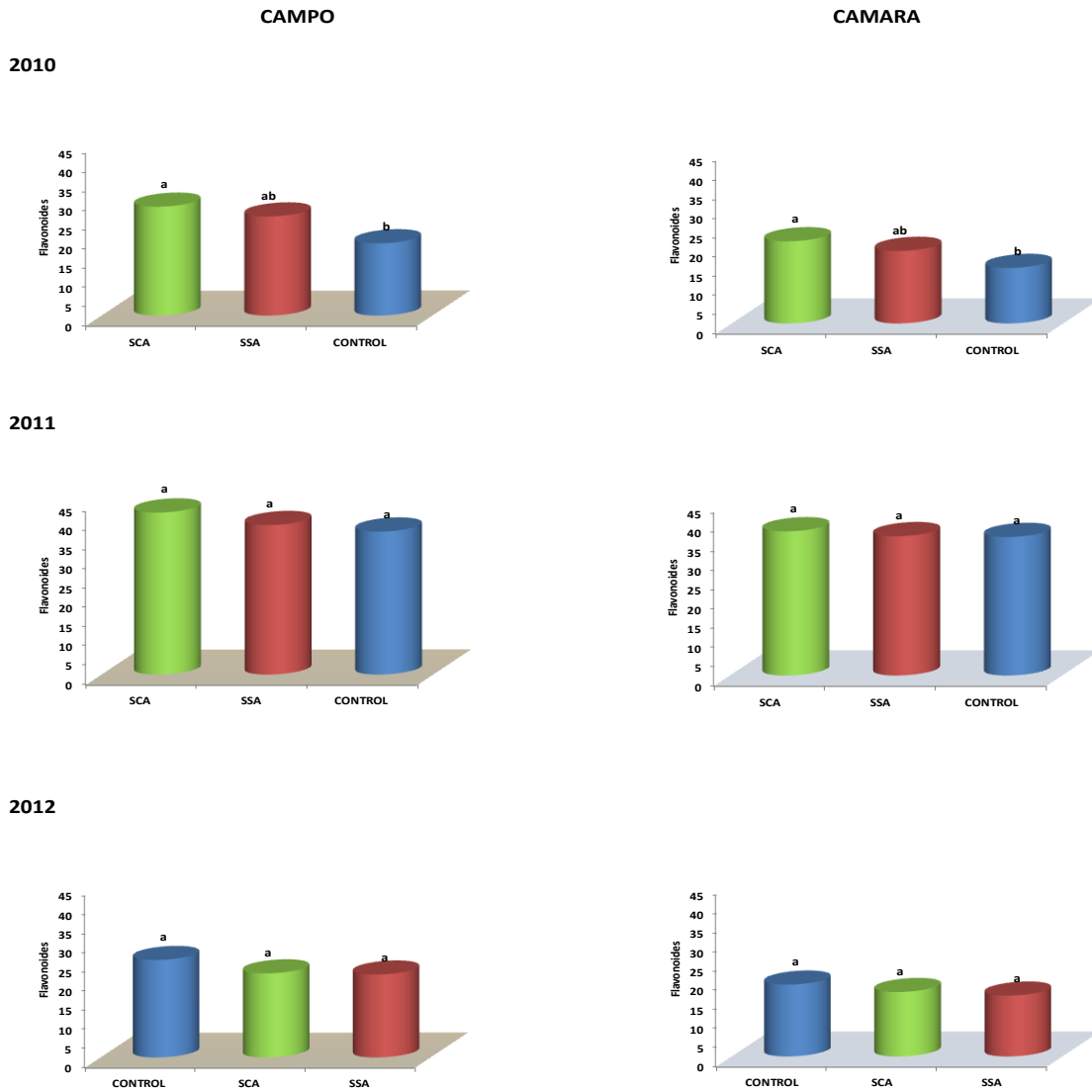
En cuanto al ensayo 1 sólo se detectaron diferencias significativas en el año 2010, donde la concentración de flavonoides en el tratamiento SCA fue superior al resto de tratamientos (Figura 50).

En el ensayo 2 no hubo ninguna diferencia significativa entre los tratamientos y el control. Durante los años 2011 y 2012 la mayor concentración de flavonoides la obtuvo el ahorro hídrico con aportación de abono (Figura 51).

En el ensayo 3 si bien tampoco hubo diferencias significativas durante los años 2010 y 2011, los mayores valores fueron con el tratamiento SCA, siendo el tratamiento control el que menor concentración de flavonoides obtuvo (Figura 52).

En cuanto al análisis en frutos almacenados en cámara, en los frutos correspondientes al ensayo 1 se detectaron diferencias significativas durante el año 2010 donde el tratamiento SCA fue superior a los otros dos tratamientos (Figura 50). En cuanto a los frutos correspondientes al ensayo 2, fue durante el año 2011 cuando hubo diferencias significativas entre el SCA y el SSA, siendo el primer tratamiento el que mayor concentración de flavonoides obtuvo (Figura 51).

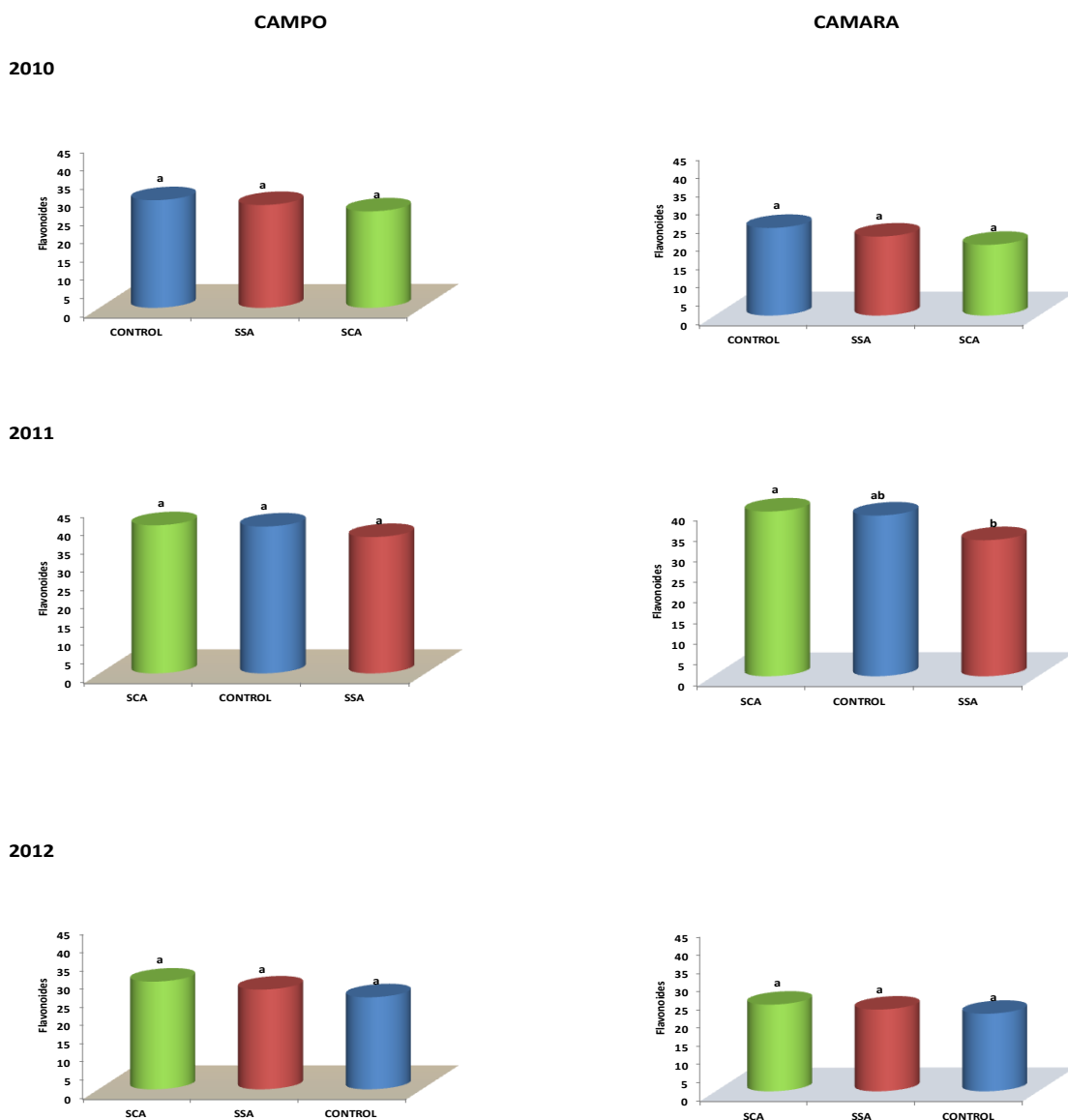
Por último, en el ensayo 3 si bien no hubo diferencias significativas, se observó que el tratamiento control obtuvo el valor más bajo durante los tres años (Figura 52).



Flavonoides del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Flavonoides del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 1 (Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

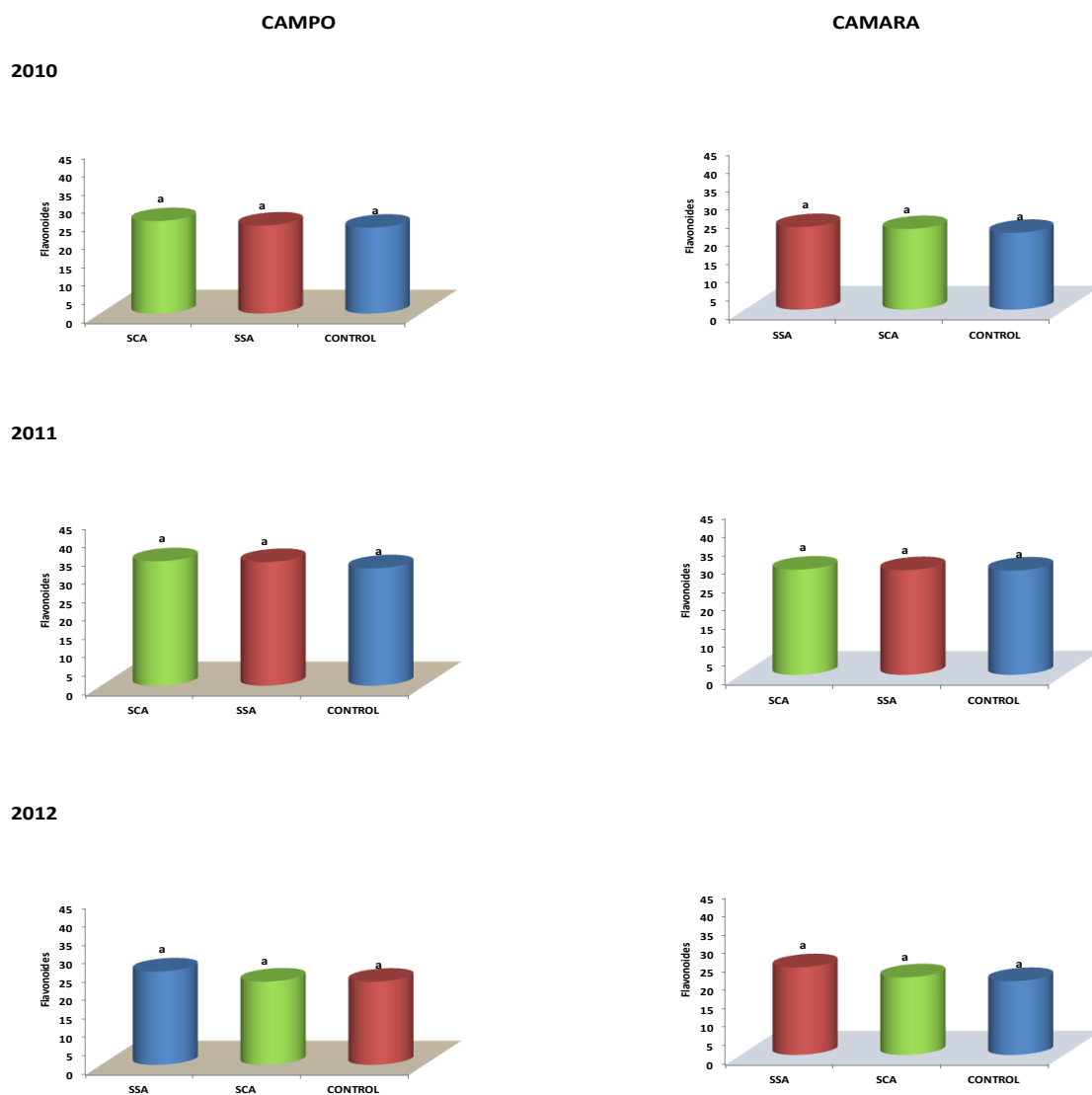
Figura 50. Flavonoides del fruto en el ensayo 1 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Flavonoides del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Flavonoides del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 2 (Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 51. Flavonoides del fruto en el ensayo 2 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.



Flavonoides del fruto tras recolección, correspondiente al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Flavonoides del fruto tras 60 días en cámara al ensayo 3 (Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

Figura 52. Flavonoides del fruto en el ensayo 3 en recolección y tras 60 días de almacenamiento en cámara.

#### 4.3.9. INCIDENCIA EN PUDRICIÓN

Al igual que otros caracteres la incidencia en cámara se vio influida por las distintas estrategias de riego deficitario, estando presente éstas a nivel de ensayo en los diferentes años de estudio.

En el ensayo 1, se observó que durante los dos primeros años la pudrición de fruta en el Control fue superior que en los árboles con déficit hídrico existiendo diferencias significativas. De manera distinta ocurrió en el 2012, si bien no hubo diferencias significativas, sí hubo mayor pudrición de fruta en el control.

En el ensayo 2 durante los años 2010 y 2012 hubo diferencias significativas entre el control y los dos tratamientos de ahorro hídrico, produciéndose más merma de la fruta en cámara en el control. En el año 2012 si bien hubo más fruta podrida en el control no hubo tal significancia.

En el ensayo 3 existen diferencias significativas durante los tres años de estudio. En el año 2010 el control y el riego deficitario con abono tuvieron valores distintos mientras que en el resto de años hubo diferencias entre los dos tratamientos de riego y el control.

Uno de los parámetros estudiados fueron los flavonoides. Los flavonoides cuyas propiedades antioxidantes están presentes en altas cantidades en los cítricos (Dugo et al., 2005) tienen propiedades antioxidantes que permite entre otras cosas proteger al ser humano de enfermedades crónicas (Guimarães et al., 2010; Londoño-Londoño et al., 2010) por lo que fue uno de los valores a tener más en cuenta en los ensayos. Además es uno de los elementos de la naranja que influye en el sabor de la misma (Frydman et al., 2004; Khan, Abert-Vian, Fabiano-Tixier, Dangles, & Chemat, 2010; Majo et al., 2005). Tras al análisis de los tres campos, se ha observado que la concentración no se ve afectada por los recortes hídricos aplicados. Sin embargo las concentraciones sí varían en función del campo y del año en que se analice. Estudios similares reafirman esta hipótesis (Hulum H, 2016) donde la variabilidad de la riqueza va en función del año y de la variedad.

En las últimas décadas se ha despertado un gran interés por la dieta sana, aumentándose la ingesta de frutas y vegetales. Este interés es debido a la riqueza de estos alimentos en compuestos bioactivos, como son la vitamina C y el flavonoides hesperidina, que con su alta capacidad antioxidante se asocia con la prevención de enfermedades humanas como cáncer, diabetes, enfermedades cardiovasculares y desórdenes neurológicos entre otras (Halliwell, 2011; Aptekmann & Cesar, 2013; Benavente-García & Castillo, 2008; Gironés-Vilaplana, Moreno, & García-Viguera, 2014; Khan, Zill-E-Huma, & Dangles, 2014; Lee, 2013; Liu, Heying, & Tanumihardjo, 2012; Lv et al., 2015; Stinco et al., 2015). Los cítricos son considerados entre los diez primeros frutos con mayor aporte de este compuesto en la dieta (Cruz-Rus et al., 2012). Según la literatura, el contenido en vitamina C en diferentes zumos disminuye durante el almacenamiento, dependiendo de las condiciones de almacenaje, como son la temperatura, el oxígeno y la luz (Kabasakalis et al., 2000; Zerdin et al., 2003). En nuestro trabajo la gran preocupación en este sentido ha sido conocer la influencia de las estrategias de riego aplicadas en los caracteres vitamina C y el flavonoides hesperidina. En este sentido se ha observado un efecto positivo, ya que el déficit hídrico ha favorecido el incremento de vitamina C y ha mantenido los niveles de hesperidina respecto al control en la fruta analizada en el momento de la cosecha. La vitamina C es un compuesto bastante inestable y de fácil y rápida degradación. Según Adisa, 1986 y Lee y Kader en el 2000, las elevadas temperaturas y los periodos largos de post cosecha disminuyen sus niveles. En las analíticas realizadas en la fruta mantenida en cámara fría se ha comprobado que este compuesto sigue permaneciendo en niveles significativamente más alto en la fruta procedente de árboles sometido a un estrés hídrico durante el desarrollo del fruto que la fruta proveniente de árboles controles. Los estudios realizados por Cardeñosa et al., en el 2015, en los que analizaron la influencia del momento de la cosecha en los niveles de esta vitamina y concluyeron que tiene una gran influencia, siendo más recomendable la cosecha en enero que en abril. En este sentido, nosotros podemos sugerir que si en el trabajo anteriormente mencionado



las condiciones ambientales pueden influir, también las condiciones hídricas aplicadas durante el cultivo. Durante la conservación en cámara fría Lado et al, en el 2015, analizando los niveles de vitamina C en frutos de cítricos, no observaron cambios en los niveles de esta vitamina en la pulpa del fruto a temperatura de 12 °C, aunque sí en la piel, siendo esta temperatura capaz de favorecer el incremento de color. Los resultados obtenidos en este trabajo, en los que la fruta ha sido almacenada durante un mes a 10°C, aportan un avance en esta vitamina, ya que el zumo proviene de la pulpa y no de la piel, zona en la que hemos apreciado un incremento significativo de vitamina C debido a las estrategias aplicadas en condiciones de campo.

En los estudios realizados, se ha observado en general en todos los tratamientos una pérdida de vitamina C en la fruta a los 30 días de almacenamiento respecto a la fruta en el momento de la cosecha. Rapisarda et al., en el 2007 también observaron que las diferencias en aumento o disminución de este carácter durante el almacenamiento en cámara fría eran debidas a la variedad de cítrico utilizada.

En el trabajo realizado se produjo tanto en campo como en cámara un aumento de los grados Brix y la acidez en los tratamientos de ahorro hídrico. Debido al aumento de los dos parámetros, el índice de madurez no se ha visto afectado ni positiva ni negativamente. Este incremento coincide con otros estudios de riego deficitario previos (Ballester et al, 2013; García Tejero et al., 2010; Yakushiji et al., 1996; Sánchez-Blanco et al, 1989; Shalhevet and Levy, 1990; Conesa et al., 2014).

Al mismo tiempo que aumentan los grados Brix en los tratamientos de ahorro hídrico, aumenta la acidez del zumo. Según Barry et al., en el 2004, este incremento de acidez va asociado al ajuste osmótico debido. Durante este ajuste osmótico se mantiene un gradiente osmótico gracias a los cambios en los niveles de sacarosa, glucosa y fructosa (Navarro et al., 2010, Yakushiji et al., 1996, 1998) al aumento del contenido de solutos. También Castel y Buj en 1990 observaron

una correlación significativa y positiva entre el déficit hídrico en pre cosecha y el aumento de grados Brix.

La podredumbre de la fruta almacenada en cámara de frío, así como los daños por frío producidos en la piel, significan una pérdida económica para el agricultor, ya que con estos síntomas los frutos pierden su valor comercial. Los resultados observados en este trabajo muestran que la fruta procedente de árboles control presenta un porcentaje de podredumbre significativamente superior que el de la fruta procedente de árboles sometidos a un estrés hídrico moderados. Los hongos observados fueron principalmente *P. digitatum* y *P. italicum*. Estos resultados coinciden con los obtenidos por Conesa et al., en el 2014, en los que las lesiones observadas en la piel de la fruta (mandarina) eran debido también a la presencia de estos hongos y a las bajas temperaturas. También observaron que cuando producían un estrés hídrico moderado durante el crecimiento del fruto, disminuían las lesiones en la piel significativamente respecto a los controles, que no había sufrido ningún estrés.

#### 4.4. PRODUCCIÓN

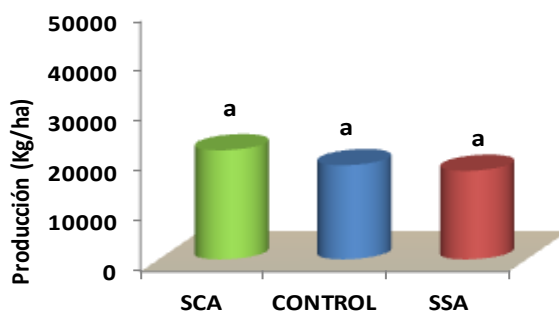
En el análisis de varianza no evidenció la existencia de diferencias significativas en cada uno de los ensayos por separado, ni para cada año de estudio. Este resultado es altamente positivo, pues evidencia que recortes de agua controlados cercanos a los 1.000 m<sup>3</sup>/ha eran capaces de mantener niveles de producción adecuados.

Tanto fue así que, en el ensayo 1, durante el año 2010 fue el tratamiento SCA el que mostró los mejores valores en producción, ocurriendo todo lo contrario durante el año 2012 (Figura 53). Llama además la atención el patrón de producción observado año a año, con una cierta vecería que se reflejó en producciones sensiblemente inferiores en la primera campaña en comparación con las dos siguientes, especialmente la primera de ellas.

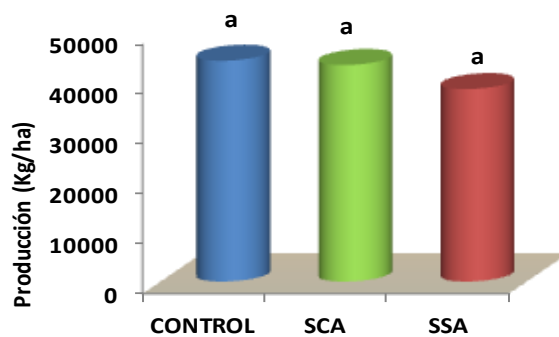
En el ensayo 2 no se observó tampoco una pauta clara durante los tres años de estudio. En este sentido, el tratamiento control durante los años 2010 y 2011 fue el que menos producción obtuvo, corrigiéndose dicha tendencia en el último de los años de muestreo (Figura 54). Al igual que se había observado en el ensayo 1, se produjo una cierta vecería, con producciones durante el primer año de estudio significativamente inferiores a las obtenidas el resto de los años, especialmente el segundo de ellos.

Finalmente, en el ensayo 3 tampoco se observaron efectos apreciables debidos al estrés hídrico ni a la dosis de abonado, no observándose una pauta concreta en producción (Figura 55). Destaca además que en el caso de este ensayo se pudo observar un patrón creciente de la producción año a año, lo cual está justificado al tratarse de árboles jóvenes cuya primera producción con rentabilidad comercial se obtuvo el primero de los años de estudio.

2010



2011



2012

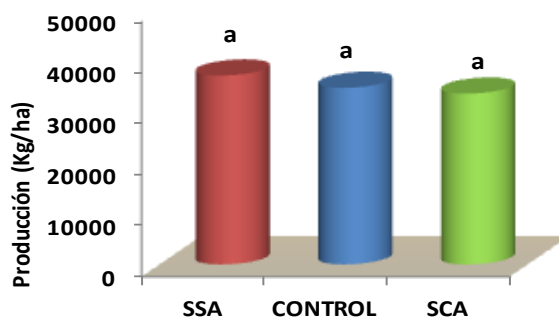
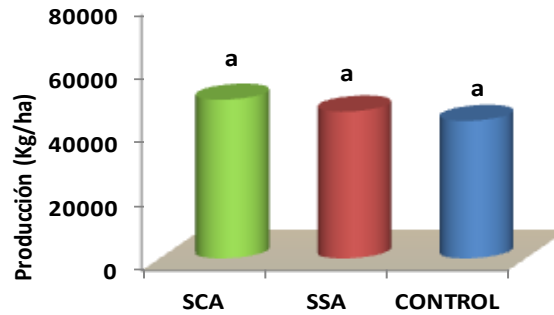


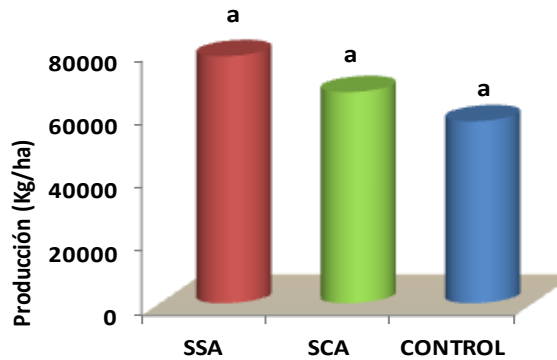
Figura 53. Datos de producción correspondientes al ensayo 1

(Sistema de producción con control ecológico situado en Nerva) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

2010



2011



2012

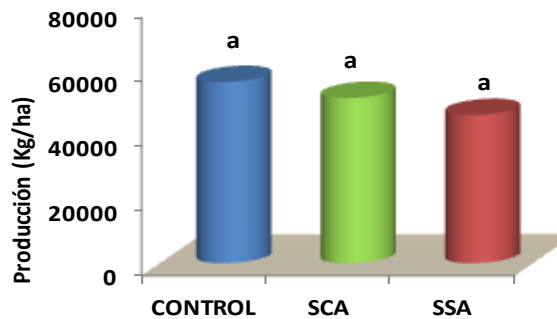
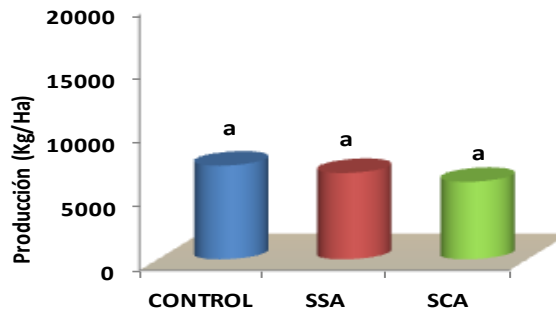


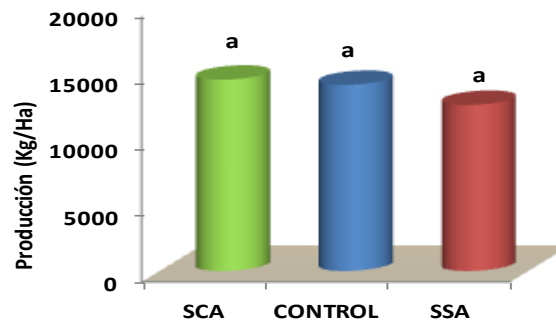
Figura 54. Datos de producción correspondientes al ensayo 2

(Sistema de producción con control integrado situado en El Campillo) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

2010



2011



2012

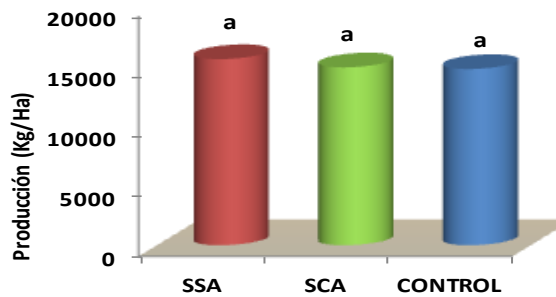


Figura 55. Datos de producción correspondientes al ensayo 3

(Sistema de producción con control integrado situado en Palma del Río) durante los años 2010, 2011 y 2012. SCA, Riego deficitario controlado con aporte de abono; SSA, Riego deficitario controlado sin aporte de abono; CONTROL, regado al 100% de la demanda evapotranspirativa.

## 5. CONCLUSIONES

De acuerdo con los resultados obtenidos en la presente Tesis Doctoral, se puede concluir que:

- 1) En las estrategias de riego deficitario aplicado, el potencial hídrico se puede considerar un buen marcador de estrés, ya que conforme aumentan los días con déficit de riego, este carácter se va haciendo más negativo.
- 2) Ahorros de agua cercanos al 20% y de forma controlada, durante el periodo de crecimiento y maduración, no provocaron efectos significativos en los principales parámetros morfológicos del fruto.
- 3) Del mismo modo, tampoco se vieron afectadas las producciones, obteniéndose resultados similares, con ahorros de agua que estuvieron cercanos a los 1000 m<sup>3</sup>/ha. Este hecho permitió que se incrementara de forma muy significativa la eficiencia del uso del agua.
- 4) Los principales efectos del ahorro hídrico se localizaron en los parámetros organolépticos, con incrementos significativos en los grados Brix y la acidez titulable en los frutos correspondientes a los tratamientos deficitarios. Además, estos mismos tratamientos registraron incrementos significativos en los contenidos en vitamina C y mantiene los niveles de flavonoides, suponiendo este hecho una mejora relevante las propiedades biosaludables del zumo.

- 5) En cuanto a los efectos provocados por la corrección en la dosis de abonado en el tratamiento SCA, no se localizaron grandes diferencias con respecto al tratamiento SSA, aunque sí pudieron observarse ligeras mejoras en algunas de las propiedades organolépticas del fruto, como son los grados Brix.
- 6) Respecto a los efectos del riego deficitario en la incidencia de enfermedades durante el proceso de almacenamiento en cámara, se pudo comprobar que los frutos correspondientes a los tratamientos SCA y SSA mostraron una incidencia significativamente inferior a la observada a en el tratamiento Control, reduciéndose en gran medida el porcentaje de podredumbres y de destrío.
- 7) Todos los parámetros analizados disminuyen sus valores desde su recogida en el momento de la cosecha hasta su salida de la cámara fría después de 30 días, destacando el peso de fruto, cuya reducción es de aproximadamente del 20%, la firmeza y el peso de cáscara entre un 10 y 15% y el calibre y el grosor de cáscara en menor medida.
- 8) En términos de propiedades organolépticas y nutraceútics, aunque los parámetros analizados disminuyen su valor en la cámara fría, se siguen manteniendo un incremento significativo los tratamientos de ahorro hídrico moderado frente al control en vitamina C y grados Brix.



## 6. BIBLIOGRAFIA

- Adisa VA, 1986. The influence of molds and some storage factors on the ascorbic acid content of orange and pineapple fruits. *Food chemistry*, 22(2): 139-146.
- Agricultura ecológica. Estadística 2015. Ministerio de agricultura, alimentación y medioambiente. Madrid, España.
- Aguado A., Frías J., García-Tejero I., Romero F., Muriel J.L., Capote N. Towards the Improvement of Fruit-Quality parameters in Citrus under Deficit Irrigation Strategies . International Scholarly Research Network ISRN agronomy Volume 2012, Article ID 940896, 9 pp.
- Agustí .M., Martínez Fuentes. A., Mesejo .C., Mariano .J., Almela .V. 2003.Cuajado y desarrollo de los frutos cítricos. Generalitat Valenciana.
- Agustí M. 2003. Alteraciones fisiológicas de los frutos En: *Citricultura*, Ediciones Mundi-Prensa. pp 221-237.
- Alonso, A.M., González, R., Foraster, L. 2008. Comparación económica entre cultivos ecológicos y convencionales. VIII Congreso de la Sociedad Española de Agricultura Ecológica, 16-20 de septiembre de 2008, Bullas (Murcia), Área Temática de Desarrollo Rural y Agroecología, documento 2. En:[http://www.agroecologia.net/congresos-seae/bullas08/actas-bullas/seae\\_bullas\\_verd/comunicaciones.html](http://www.agroecologia.net/congresos-seae/bullas08/actas-bullas/seae_bullas_verd/comunicaciones.html)
- Álvarez Ramos J. 2016. La exportación hortofrutícola española. Un caso de superación permanente. *Revista Distribución y consumo*, 134 Vol.3.
- Aptekmann, N. P., & Cesar,T.B.2013. Long-term orange juice consumption is associated with low LDL-cholesterol and apolipoprotein B in normal and moderately hypercholesterolemic subjects.*Lipids Health Disease*, 12, 119.
- ARA. 2011. Agenda del regadío andaluz Horizonte 2015.Consejería de Agricultura y Pesca. Junta de Andalucía.

- Arenas F.J., Carmona A., Salguero A., Hervalejo A., Martínez-Ferri E. 2008. El cultivo de los cítricos en Andalucía. *Levante Agrícola* 39, 272-277.
- Arenas F.J., Salguero A., Hervalejo A. 2010. Distribución de la producción de cítricos ecológicos andaluces y ventajas de mercado. *Vida Rural*, 298, 26-30.
- Arenas F.J., Salguero, A., Hervalejo A. 2010. Variedades de cítricos de interés para la industria del zumo. *Vida rural*, 317, 34-38.
- Arenas, F.J., Hervalejo Garcia, A. Análisis del cultivo de los cítricos en Andalucía. *Vida Rural* Mayo 2013 pg 34-40.
- Arenas, F.J., Hervalejo García, A., Martínez-Ferri, E., Carmona, A., Salguero, A., Alfonso, J.M. 2009. Distribución de la producción de cítricos ecológico andaluces y ventajas de mercado. *Vida Rural* Noviembre pg 31-34.
- Arreguin-Cortés, F., Lopez-perez, M., Marengo-Mogollón, H., Tejeda-González, C. 2007. Agua virtual en México, *Ingeniería Hidráulica en México*. Vol. XXII, no.4, Octubre-Diciembre.
- Artés F. 2000. Tratamientos alternativos para preservar mejor la calidad de los cítricos refrigerados. *Levante Agrícola* 352, 229-238.
- Aznar Sánchez J., Pérez Mesa J.C., Galdeano Gómez E. 2015. Análisis del sector cítrico español. CeIA3 (Campus de Excelencia Internacional en Agroalimentación). Cátedra de Economía y agroalimentación. Universidad de Almería.
- Ballester C., Castel, J., Intrigolo, D.S., Castel J.R., 2013. Response of Navel Lane Late citrus trees to regulated deficit irrigation. Yield components and fruit composition. *Irrigation Science*, 31.333-341.
- Ballester, C., Castel, J. y Castel, J. R. 2014. Effects of regulated deficit irrigation on 'Clementina de Nules' and 'Navel Lane Late' citrus trees: growth, yield and fruit quality. *Agricultural Water Management*.

- Ballester,C., Castel,J., Abd El-Mageed, Castel J.R., Intrigliolo, D.S. 2014.Long – term response of “Clementina de Nules” citrus trees to summer regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management* 138 pg78-84.
- Barbera,G. & Carimi,F. 1998 .Effects of different levels of water stress on yield and quality of lemon trees. *Proceedings of the Sixth International Citrus Congress*, .712-22.
- Barry G.H., Castle WS, Davies FS., 2004. Rootstocks and plant water relation affects sugar accumulation of citrus fruit via osmotic adjustment. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 129: 881-889.
- Benavente-García, O., & Castillo, J. 2008. Update on uses and properties of citrus flavonoids: new findings in anticancer, cardiovascular, and anti-inflammatory activity. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 56, 6185–6205.
- Ben-Yehoshua S., Porat R. 2005. Heat treatments to reduce decay. Chapter 2. *Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality*. Author Shimshon Ben-Yehoshua. Published by CRC Press, pp. 11- 42.
- Caballero,P.,De-Miguel.MD.,Fernandez Zamudio MA 2011 “Análisis de los costes de producción en cítricos y posibles actuaciones empresariales”. *Vida Rural* 1 de Mayo de 2011.
- CAPDR. 2016. Primer aforo de producción de cítricos de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca y Desarrollo Rural. Palma del Rio (Córdoba). 26 de Setiembre 2016.
- Cardeñosa V., Barreira J. C. M., Barros L, Arenas-Arenas F. J.,. Moreno-Rojas J. M and Ferreira I. C. F. R. 2015. Variety and Harvesting Season Effects on Antioxidant Activity and Vitamins Content of *Citrus sinensis* Macfad. *Molecules* 20: 8287-8302.
- Castel J.R., Buj. A. 1990. Response of Salustiana oranges to high frequency deficit Irrigation. *Science*. 11: 121-127.

- Cohen.A., Goell,A. 1988.Fruit growth and dry matter accumulation in grapefruit during periods of water withholding and after irrigation. *Aust.J.Plant Physiology* 15, 633-639.
- Conesa M.R. ,García-Sal-inas M.D , De la Rosa J.M. , Fernandez-Trujillo J.P. ,Domingo R. , Perez-Pastor A. 2014. Effects of deficit irrigation applied during fruit growth period of late mandarin trees on harvest quality, cold storage and subsequent shelf-life. *Scientia Horticulturae* 165, 344–351.
- Conesa MR, Garcia-Salinas MD, de la Rosa MJ, Fernandez-Trujillo JP, Domingo R, Perez-Pastor A. 2014. Effects of deficit irrigation applied during fruit.
- Corominas, J. 2010. Los nuevos Planes Hidrológicos de las Cuencas Andaluzas” en Seminario Nacional “Los nuevos Planes de Cuenca según la DMA”, Madrid, Observatorio del Agua de la Fundación Botín.
- Cruz-Rus E., Amaya I., Valpuesta V. 2012. The challenge of increasing vitamin C content in plant foods. *Biotechnology Journal* 7: 1110-1121.
- Dominguez Gento A., Raigón M.D., Soler Sangüesa D. 2003. Hacia una citricultura de calidad: contenidos de vitamina C, aceites esenciales y atributos ambientales en cítricos ecológicos y convencionales. *Vida Rural*, 169, 36-40.
- Doorenbos J., Kassam A.H., 1979. Yield response to water. En: *FAO Irrigation and Drainage Paper No. 33*. Roma, Italia.
- Dugo, P., Lo Presti, M., Öhman, M., Fazio, A., Dugo, G., & Mondello, L. 2005. Determination of flavonoids in citrus juices by micro-HPLC–ESI/MS.*Journal of Separation Science*, 28 (11), 1149–1156.
- Eraso Ruiz E., Castilla Aguirre C. 2014. Análisis del sector cítrico en Andalucía. Actual cítricos 2016-2017.*Horticultura y Postcosecha*.

- Erner, Y. 1989. Citrus fruit set: carbohydrate, hormone and leaf mineral relationship. Manipulation of fruiting (Wright, C.J., Ed). Butterworth, London, 233-42.
- Esyrce. 2015. Encuesta sobre superficies y rendimientos, Ministerio de Agricultura Alimentación y Medio Ambiente.
- FAO. 2013. Afrontar la escasez del agua. Un marco de acción para la agricultura y la seguridad alimentaria. Informe sobre temas hídricos n°38, Roma, Italia.
- FENACORE. 2015. Federación Nacional de Comunidades de Regantes. Dossier de prensa.
- Fereres E., Soriano M.A., 2007. Deficit irrigation for reducing agricultural water use. *Journal of Experimental Botany* 58. 147-159.
- Frydman, A., Weisshaus, O., Bar-Peled, M., Huhman, D. V., Sumner, L. W., Marin, F. R., et al. 2004. Citrus fruit bitter flavors: Isolation and functional characterization of the gene Cm1, 2RhaT encoding a 1, 2 rhamnosyltransferase, a key enzyme in the biosynthesis of the bitter flavonoids of citrus. *The Plant Journal*, 40 (1), 88–100.
- García-Tejero I., Romero-Vicente R., Jiménez-Bocanegra J.A., Martínez-García G., Durán-Zuazo V.H., Muriel-Fernández J.L. 2010. Response of citrus trees to deficit irrigation during different phenological periods in relation to yield, fruit quality, and water productivity. *Agriculture Water Management* 97, 689-699.
- Gasque M., Martí P., Granero B., Gonzalez- Altozano P. 2016. Effects of long term summer deficit irrigation on 'Navelina' citrus trees. *Agricultural Water Management* 169, 140-147.
- Ginestar C., Castel, J.R. 1996. Responses of young Clementine citrus tree to water stress during different phenological periods. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 71, 551-559.

- Gironés-Vilaplana, A., Moreno, D., & García-Viguera, C. 2014. Phytochemistry and biological activity of Spanish Citrus fruits. *Food & Function*, 5, 764–772.
- Gonzalez–Altozano .P., Castel JR. 1999. Regulated deficit irrigation in “Clementina de Nules” citrus trees. I. Yield and fruit quality effects. *The Journal of Horticultural Science Biotech*; 74, 706-13.
- Gonzalez–Altozano .P., Castel JR. 2000. Regulated déficit irrigation in “Clementina de Nules” citrus trees II: Vegetative effect. *The Journal of Horticultural Science Biotech* ; 75 (4): 388-392.
- González-Altozano, P., Castel, J.R., 2003a. Riego deficitario controlado en Clementina de Nules. I. Efectos sobre la producción y la calidad de la fruta. *Spanish Journal of Agricultural Research*.. 1, 81–92.
- González-Altozano, P., Castel, J.R., 2003b. Riego deficitario controlado en Clementina de Nules. II. Efectos sobre el crecimiento vegetativo. *Spanish Journal of Agricultural Research*. 1, 93–101.
- Guimarães, R., Barros, L., Barreira, J. C., Sousa, M. J., Carvalho, A. M., & Ferreira, I. C. 2010. Targeting excessive free radicals with peels and juices of citrus fruits: Grapefruit, lemon, lime and orange. *Food and Chemical Toxicology*, 48(1), 99–106.
- Halliwell, B. Free radicals and antioxidants quo vadis? *Trends Pharmacology Science*. 2011, 32, 125–130.
- Hulum, C. Characterising the flavonoid profile of various citrus varieties and investigating the effect of processing on the flavonoid content .(2016). Stellenbosch University <https://scholar.sun.ac.za>.
- Hutton, R.J., Loveys B.R. 2011. A partial root zone drying irrigation strategy for citrus. Effects on water use efficiency and fruit characteristics. *Agricultural Water Management* 98 1485–1496.

- Iglesias Castellarnau I. 2013. ¿Hacia dónde va el consumo de fruta?. Análisis de los vectores que rigen su compra. *Fruticultura*, 28, 6-51.
- Kabasakalis V, Siopidou D., Moshatou E. 2000. Ascorbic acid content of commercial fruit juice and its rate of loss upon storage. *Food chemistry* 70: 325-328.
- Kader A.A. 2002. Postharvest biology and technology: an overview. *Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Ed. A.A. Kader, Division of Agricultural and Natural Resources. pp 39-48.
- Khan, M. K., Abert-Vian, M., Fabiano-Tixier, A.-S., Dangles, O., & Chemat, F. 2010. Ultrasound-assisted extraction of polyphenols (flavanone glycosides) from orange (*Citrus sinensis* L.) peel. *Food Chemistry*, 119(2), 851–858.
- Khan, M. K., Zill-E-Huma & Dangles, E. 2014. A comprehensive review on flavanones, the major citrus polyphenols. *Journal of Food Composition and Analysis*, 33 , 85–104.
- Lee S., Kader AA. 2000. Preharvest and post harvest factor influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biology and technology* 20(3): 207-220.
- Lee, C. Y. 2013. Challenges in providing credible scientific evidence of health benefits of dietary polyphenols. *Journal of Functional Foods*, 5, 524–526.
- Liu, Y., Heying, E., & Tanumihardjo, A. 2012. History, global distribution, and nutritional importance of Citrus fruits. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 11, 530–545.
- Londoño-Londoño, J., de Lima, V. R., Lara, O., Gil, A., Pasa, T. B. C., Arango, G. J., et al. 2010. Clean recovery of antioxidant flavonoids from citrus peel: Optimizing an aqueous ultrasound-assisted extraction method. *Food Chemistry*, 119 (1), 81–87.

- Lurie S. 1998. Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Horticultural Reviews*. 22, 91-121.
- Lv, X., Zhao, S., Ning, Z., Zeng, H., Shu, Y., Tao, O., et al. 2015. Citrus fruits as a treasure trove of active natural metabolites that potentially provides benefits for human health. *Chemistry Central Journal*, 9 (68), 1–14.
- Majo, D. D., Giammanco, M., Guardia, M. L., Tripoli, E., Giammanco, S., & Finotti, E. 2005. Flavanones in citrus fruit: Structure–antioxidant activity relationships. *Food Research International*, 38(10), 1161–1166.
- Martinez-Javega J.M. 1996. Manejo del frío: Conservación y transporte de frutos cítricos. Primera reunión internacional de postcosecha y mercados cítricos. FAO-RIAC. Concordia, Arg.: 73-81.
- Minguez I., Ruiz A., Estrada a. 2005. Impacts of the agrarian sector. A preliminary general assessment of the impacts in Spain due to effects of climate change. Ministerio de medio ambiente, Gobierno de España.
- Navarro J.M., Pérez-Pérez J.G., Romero P., Botía P., 2010. Analisis of the changes in quality in mandarin fruit, produced by déficit irrigation treatments. *Food Chemistry*. 119: 1591-1596.
- Navarro P., Monterde A., Salvador A., Cuquerella J., Martinez-Jávega. 2004. Tratamientos postcosecha en mandarinas y naranjas. *Vida Rural*, 197, 60-64.
- Palou L., Smilanick J.L., Usall J., Viñas I. 2001. Control of postharvest blue and green molds of oranges by not water, sodim carbonate sodim bicarbonate. *Plant Disease* 85(4), 371-376.
- Panigrahi P., Sharma R.K., Hasan M., Parihar S.S. 2014. Deficit irrigation scheduling and yield prediction of “Kinnow mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) in semiarid region. *Agricultural Water Management*. 140 48-60.



- Pássaro Carvalho, C.P., Navarro, P., Salvador .A. 2012. Postcosecha Capítulo 9. Ed. Corporación Universitaria Lasallista.
- Paull R.E., Chen N.J. 2000. Heat treatments and fruit ripening. *Postharvest Biology and Thecnology*. 21, 21-37.
- Pedrero, F., Maestre- Valero,J.F., Mounzer,O., Alarcón, J.J., Nicolás E.,2014. Physiological and agronomic mandarin trees performance under saline reclaimed water combined with regulated deficit irrigation. *Agricultural Water Management*.146,228-237.
- Pérez Pérez ,G.J., Robles M.J.,Garcia Sanchez F.,2016 Comparison of deficit and saline irrigation strategies to confront water restriction in lemon trees grown in semi-arid regions. *Agricultural Water Management*. 164, 46-57.
- Pérez-Aparicio J., Zapata-Soberá L., Lafuente-Rosales V., M. Toledano-Medina A. 2007. Almacenamiento de naranjas cv. "Salustiana" y cv. "Valencia" y su influencia en la calidad del fruto (I).*Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. Rev. Iber. Tecnología Postcosecha, 8, 66-73.
- Pérez-Pérez J.G., Robles J.M. Botía P. 2014. Effects of deficit irrigation in different fruit growth stages on "Star Ruby" grapefruit trees in semi-arid conditions. *Agricultural Water Management* 133 pg 44-54.
- Raigón M.D., Navarro-Herrero I., Pozuelo R., Poveda D. Comparativo de costes de producción en agricultura ecológica y convencional .*Cátedra Iberoamericana*. Universitat de les Illes Balears.
- Rapisarda P., Lo Bianco M., Pannuzzo P., Timpanaro N., 2008. Effect of cold storage on vitamin C, phenolics and antioxidant activity of five orange genotypes (*Citrus sinensis*(L.) Osbeck). *Postharvest Biology and Technology* 49: 348-354.

- Rodov V., Ben-Yehoshua S., Kim J.J., Shapiro B., Itta Y. 1992. Ultraviolet illumination induces scoporone production in Kumquat and orange fruit and improves decay resistance. *J.Amer. Soc. Hort.Sci.* 117, 788-792.
- Sampedro Sánchez D., Del Moral Ituarte. 2014. Tres décadas de política de agua en Andalucía. Análisis de procesos y perspectiva territorial. Cuadernos geográficos. Vol 53.No1.
- Sánchez-Blanco, M. J., Torrecillas, A., León, A. Del Amor, F. 1989. Growth of Verna lemons under different irrigation regimes. *Advances in Horticultural Science*, 3, 109-11.
- Sanfeliu Feliu I. 2016. La citricultura en España: Presente y futuro. Comité de Gestión de Cítricos. Comunicación personal. 20 de abril de 2016. Valencia (España).
- Shalhevet, J. and Levy, 1990. Citrus trees. In: *Irrigation of agricultural crops.* (Stewart, B. A. and Nielsen, D. R., Eds). *Agronomy Monograph 30*, A.S.A., Madison, Wisconsin, USA, (1990) 951-86.
- Smilanick J.L., Brown E.G., Eckert J.W. 2006. The biology and control of postharvest diseases. En: *Fresh citrus fruits*, 2d. Ed. Edited by Wilfred F. Wardowski, William M. Miller, David J. Hall and William Grierson.
- Southwick, S.M. and Davenport, T.L.. 1986. Characterization of water stress and low temperature effects on flower induction in citrus. *Plant Physiology*, 81, 26-9.
- Stinco, C. M., Baroni, M. V., Naranjo, R. D. D. P., Wunderlin, D. A., Heredia, F. J., Meléndez-Martínez, A. J., & Vicario, I. M. 2015. Hydrophilic antioxidant compounds in orange juice from different cultivars: Composition and antioxidant activity evaluated by chemical and cellular based (*Saccharomyces cerevisiae*) assays. *Journal of Food Composition and Analysis*, 37, 1–10.

- Torrecillas A., Sánchez Blanco M.J., Segura P., R. Domingo, Alarcón JJ Ruiz Sánchez MC. 1996. Riego deficitario controlado. Hortoinformación. 72, 43-46.
- Tudela ,D. and Primo-Millo. E 1992.1-Aminocyclopropane-1carboxylic acid transported from roots to shoots promotes leaf abscission in Cleopatra Mandarin(*Citrus reshni* Hort.ex Tan) seedlings rehydrated after wáter stress. *Plant Physiology*,100,131-7.
- Tuset J.J. 1987. Podredumbre de los frutos cítricos. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). Conselleria d'Agricultura i Pesca. Generalitat Valenciana (España), 206 pp.
- Ünver O. 2015. Agua y Agricultura para un desarrollo sostenible, Agua y desarrollo sostenible, Water Monographies, WM 3.
- Vargas Molina J. 2013. El cambio climático y el problema de la sequía en Andalucía. Actas de las jornadas internacionales medios de comunicación y cambio climático. pp. 371-382.
- Vélez Javier E, Álvarez-Herrera Javier G., Alvarado-Sanabria H. 2012.El estrés hídrico Vélez en cítricos (*Citrus* spp.): Una revisión ORINOQUIA Universidad los Llanos – Villavicencio, Meta. Colombia Vol. 16-No 2.
- Vélez-Sánchez, E., Intrigolo DS, Castel JR. 2011. Programación de riego en base a sensores de medida del estado hídrico del suelo y de la planta. *Revista UDCA Actualidad y Divulgación Científica*; 14(2):65-73.
- Wilson C.L., Wisnieewski M. 1989. Biological control of postharvest disease. *Annual Rev. Phytopathol* 27, 425-442.
- Yakushiji, H., Morinaga, H., Nonami, H., 1998. Sugar accumulation and partitioning in 'Satsuma' mandarin tree tissues and fruit in response to drought stress. *J. Am. Soc. Hortic. Sci.* 123, 719–726.

Yakushiji, H., Nonami, H., Fukuyama, T., Ono, S., Takagi, N., Hashimoto, Y., 1996.  
Sugar accumulation enhanced by osmoregulation in 'Satsuma' mandarin  
fruit. J. Am. Soc. Hortic. Sci. 121, 466–472.

Yakushiji,H., Nonami H.,Fukuyama T., Ono,S.,Takagi,N.,Hashimoto,Y.,1996.  
Sugar acumulation enhanced by osmorregulation in Satsuma mandarin fruit  
J. Am.Soc Hortic.Sci.121,466-472.



