



**UCAM**

UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD, DE LA  
ACTIVIDAD FÍSICA Y DEL DEPORTE

Departamento de Tecnología de la  
Alimentación y Nutrición

**Efecto de las condiciones ambientales sobre la  
conducta agronómica, calidad y capacidad  
antioxidante de tomate cultivado bajo diferentes  
materiales de cubierta.**

Marta Rodríguez Alburquerque

Directoras

Dra. Josefa López Marín

Dra. Juana M<sup>a</sup> Morillas Ruíz

Murcia, Junio de 2015





**UCAM**  
UNIVERSIDAD CATÓLICA  
DE MURCIA

## **AUTORIZACIÓN DE LOS DIRECTORES DE LA TESIS PARA SU PRESENTACIÓN**

La Dra. D<sup>ª</sup>. Josefa López Marín y la Dr. D<sup>ª</sup>. Juana M<sup>ª</sup> Morillas Ruíz como Directoras de la Tesis Doctoral titulada **“Efecto de las condiciones ambientales sobre la conducta agronómica, calidad y capacidad antioxidante de tomate cultivado bajo diferentes materiales de cubierta”** realizada por D<sup>ª</sup>. Marta Rodríguez Alburquerque en el Departamento de Tecnología de la Alimentación y Nutrición, **autoriza su presentación a trámite** dado que reúne las condiciones necesarias para su defensa.

Lo que firmo, para dar cumplimiento a los Reales Decretos 56/2005 y 778/98, en Murcia a 1 de Junio de 2015.

Dra. D<sup>ª</sup>. Josefa López Marín

Dr. D<sup>ª</sup>. Juana M<sup>ª</sup> Morillas Ruíz



*A mis padres,  
mi hermana  
y Javi*



## *Agradecimientos*

Ahora sí, al final todo llega y aunque me cueste creerlo estoy en ese instante en el que echo la vista atrás y recuerdo todos los momentos que he pasado hasta llegar aquí, a todas aquellas personas que a lo largo de estos años de investigación habéis aportado vuestro granito de arena, así que creo que no hay mejor manera de empezar esta Tesis que agradeciéndoos todo lo que habéis hecho para poder dedicaros estas páginas.

En primer lugar agradecer al IMIDA la concesión de la beca que ha hecho posible desarrollar esta Tesis Doctoral.

Al Equipo de Horticultura, gracias por todo lo que me habéis enseñado y por toda vuestra ayuda porque sin vosotros aquí no habría tomate.

A Amparo y Fuen ya que tuve la oportunidad de conoceros un poco mas, hace unos años erais mis compis de trabajo con las que compartí buenos y malos momentos y por eso hoy sois dos buenas amigas.

A mis directoras de tesis la Dra. M<sup>a</sup> José López Marín y la Dra. Juana M<sup>a</sup> Morillas Ruiz.

Por el aprecio y cariño que te tengo, a ti Juana, ese ángel que se cruzó en mi vida y que me acompaña haciéndome el camino más fácil. Un ejemplo a seguir, por tu perseverancia, tu optimismo y porque gran parte de este trabajo te lo debo a ti. Porque para ti nada es imposible y aquí tengo la prueba de ello. SIEMPRE AGRADECIDA...

A Alberto, por su esfuerzo y dedicación, por sus ánimos, sus charlas agronómicas de las que tanto me he enriquecido y porque si no hubiera sido por ti, aún estaría perdida en el invernadero. Gracias por reflejar parte de tu sabiduría en esta Tesis.

A la Universidad Católica San Antonio de Murcia (UCAM), por abrirme sus puertas y darme la oportunidad de poder continuar con el desarrollo de mi investigación.

Al Vicerrectorado de Investigación de la UCAM, especialmente a la Dra. Estrella Núñez.

Al Departamento de Tecnología de la Alimentación y Nutrición de la UCAM, en especial a Gabi por su tiempo conmigo en el laboratorio, por su ayuda para poder poner las técnicas a punto y por alguna risa que otra en momentos que no salía nada y ya no sabíamos que hacer.

A JRíos, por su gran labor, por su profesionalidad y por hacer estadísticamente significativo este trabajo.

A Silvia, Vicente y Diego, aunque pude disfrutar poco tiempo de vuestra compañía os tengo en mente.

Al Departamento de Tecnología de los Alimentos, Nutrición y Bromatología de la Universidad de Murcia (UMU), en especial a M<sup>a</sup> Jesús, Javi, Gala, Sergio, Inma y Joaquín por acogerme en el laboratorio, por aportarme sus conocimientos y prestarme su ayuda para poder desarrollar algunas técnicas analíticas.

Gracias al Grupo de Calidad, Seguridad y Bioactividad de Alimentos Vegetales del CEBAS, en especial a Mabel, Luna y Emilia por su ayuda prestada y porque gracias a vosotros conseguí poner fin a mis análisis.

A Alicia por sus dotes artísticas, ese toque "Vintage".

A Celia, por nuestros domingos con ritmo. Gracias guapa.

A Gema, lo mejor que me llevé de mis últimos años por la UMU, te acuerdas del viento... y de esos desayunos que tanto me animaban a continuar y no rendirme.

A TODAS MIS AMIGAS, Elvira, Encarni, Teresa, Cristina, Pili, Estella, Vanesa, Arantxa, y a mis "Chicas Pilates" Anabel, Carmen y Rocío por sus gestos de ánimo y por esos momentos bonicos que tanto me llenan. Cada una a vuestra manera, eso es lo mejor.

A mis compis mas bailongos, gracias por esos jueves tan enérgicos y que yo tanto disfruto con vosotros.

A esos chicos... "los judokas" que aunque han aparecido ya en el sprint final de la carrera les ha dado tiempo a conocer mis últimos nervios. También muchas risas, es fácil "cambiar el chip" con vosotros.

A Josemi, un gran amigo, en cada momento que te necesité siempre estuviste... hubieron muchos días grises.

A las "Pelayas" por esos ratos juntas, esas noches que han dan tanto de que hablar, nuestros viajes y aventuras, frases que nunca olvidaré, esas fotos editadas...que HERMOSAS!

A mi "Patri Patri", por sus mensajes de ánimo hasta el final, esas notas de buena mañana que tanto me alegraban el día. Espero ser "tu rubia" por mucho tiempo. Una suerte conocerte.

A Pilar, una amiga con iniciativa, siempre dispuesta y dando ese toque especial a las cosas. Gracias por estar ahí y por estos últimos días. Ya sabes que me gusta que me hables...

Y muy especialmente a mi familia, porque siempre me han hecho la vida más fácil. Por animarme a seguir adelante y por aconsejarme en todo momento. Gracias por estar ahí, siempre.

Con esto ya solo queda despedirme y deciros, simplemente...

Gracias



*“La constancia es la virtud  
por la que todas las obras dan fruto”.*

*Arturo Graf*



#### COMUNICACIONES DERIVADAS DE LOS RESULTADOS DE LA TESIS DOCTORAL:

- Rodríguez M, González A, Gálvez A, Fernández J.A, López-Marín J. "Effect of different photoselective films on quality of tomato in Mediterranean conditions". 28<sup>th</sup> International Horticultural Congress. SYMPOSIA. 2010.
- Rodríguez M, Bravo S, Muñoz-Ledesma A, López-Marín J, Morillas-Ruiz, J.M. "Evaluación de algunos parámetros de calidad de tomate bajo diferentes tratamientos fotoselectivos de cubierta". XII Jornadas del grupo de Horticultura de la S.E.C.H. 2011.
- Rodríguez M, Bravo S, Muñoz-Ledesma A, López-Marín J, Morillas-Ruiz, J.M. "Effect of different photoselective films on quality and content of total phenolics in tomato". 5<sup>th</sup> International Conference on Polyphenols and Health. 2011.
- Rodríguez M, Martín-Pozuelo G, López-Marín J, Muñoz-Ledesma A, Morillas-Ruiz J.M. "Antioxidant activity in tomato fruits grown in high tunnel as influenced by covering materials different". 5<sup>th</sup> International Conference on Polyphenols and Health. 2011.
- Rodríguez-Alburquerque, M, López-Marín J, García-Alonso F.J, Morillas-Ruiz J.M. "INCIDENT RADIATION EFFECT ON THE TOTAL PHENOLIC CONTENT AND ANTIOXIDANT ACTIVITY IN GREENHOUSE TOMATO CROP". IX Congreso internacional de Nutrición, Alimentación y Dietética (SEDCA). 2014.



## ÍNDICE GENERAL



## ÍNDICE GENERAL

LISTA DE ABREVIATURAS.....	29
ÍNDICE DE TABLAS .....	35
ÍNDICE DE FIGURAS.....	47
<b>CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....</b>	<b>51</b>
<b>I. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>53</b>
I.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL TOMATE .....	53
I.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ESPECIE: ORIGEN .....	58
I.3. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS.....	59
<b>I.3.1. Características de los órganos de la planta .....</b>	<b>60</b>
<i>I.3.1.1. Parte subterránea .....</i>	<i>60</i>
<i>I.3.1.2. Parte aérea .....</i>	<i>60</i>
I.3.1.2.1. Tallo principal.....	60
I.3.1.2.2. Hojas.....	61
I.3.1.2.3. Flores.....	62
I.3.1.2.4. Frutos .....	62
I.4. FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA.....	67
<b>I.4.1. Temperatura .....</b>	<b>67</b>
<b>I.4.2. Humedad .....</b>	<b>69</b>
<b>I.4.3. Radiación .....</b>	<b>70</b>
<i>I.4.3.1. Tipos de radiación .....</i>	<i>72</i>
I.4.3.1.1 Ultravioleta.....	72
I.4.3.1.2. Fotosintéticamente activa .....	73
I.4.3.1.3. Infrarroja.....	74
I.5. SISTEMAS DE CULTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE .....	75

<b>I.5.1. Cultivo al aire libre</b> .....	<b>75</b>
<b>I.5.2. Cultivo protegido: Infraestructura del invernadero</b> .....	<b>76</b>
I.6. MATERIALES DE CUBIERTA.....	81
<b>I.6.1. Propiedades mecánicas</b> .....	<b>82</b>
I.6.1.1. <i>Duración</i> .....	83
I.6.1.2. <i>Comportamiento frente a la condensación</i> .....	83
<b>I.6.2. Tipos de materiales de cubierta</b> .....	<b>83</b>
I.6.2.1. <i>Filmes normales</i> .....	84
I.6.2.2. <i>Filmes especiales: Aditivos</i> .....	86
I.6.2.2.1. <i>Filmes de larga duración</i> .....	86
I.6.2.2.2. <i>Filmes térmicos</i> .....	87
I.6.2.2.3. <i>Filmes antitérmicos</i> .....	87
I.6.2.3. <i>Filmes facultativos</i> .....	88
I.6.2.3.1. <i>Desarrollo de nuevas formulaciones</i> .....	88
I.6.2.3.2. <i>Fotoselectivos</i> .....	89
I.7. CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE.....	91
<b>I.7.1. Atributos de calidad</b> .....	<b>91</b>
I.7.1.1. <i>Apariencia</i> .....	91
I.7.1.2. <i>Firmeza</i> .....	92
<b>I.7.2. Calidad organoléptica</b> .....	<b>93</b>
<b>I.7.3. Calidad nutricional</b> .....	<b>94</b>
I.7.3.1. <i>Principales compuestos antioxidantes en el fruto de tomate</i> .....	97
I.7.3.1.1. <i>Polifenoles totales</i> .....	100
I.7.3.1.2. <i>Carotenoides: licopeno y <math>\beta</math>-caroteno</i> .....	103
I.7.3.1.3. <i>Vitamina C</i> .....	105
I.7.3.1.4. <i>Macro y microelementos</i> .....	107
I.8. INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN LA CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE.....	108
<b>I.8.1. Efecto de la radiación sobre los fitonutrientes del fruto de tomate</b> .....	<b>109</b>

I.8.1.1. Efecto de las distintas radiaciones dentro del espectro de la radiación solar (UVB, UVA y PAR) sobre el fruto de tomate.....	114
I.8.1.1.1. Radiación ultravioleta-B (UVB) .....	114
I.8.1.1.2. Radiación ultravioleta-A (UVA) .....	116
I.8.1.1.3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR) .....	117
I.8.1.1.4. Radiación infrarroja (IR) .....	118
<b>I.8.2. Efecto de la temperatura sobre los fitonutrientes del fruto de tomate ....</b>	<b>119</b>
<b>CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO .....</b>	<b>123</b>
<b>II. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS DEL ESTUDIO.....</b>	<b>125</b>
<b>CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>127</b>
<b>III. MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>129</b>
III.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ENSAYO .....	129
III.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE CUBIERTA.....	129
III.3. MEDIDAS DE VARIABLES AMBIENTALES DE INTERÉS.....	130
<b>III.3.1. Al aire libre .....</b>	<b>130</b>
<b>III.3.2. En invernadero .....</b>	<b>131</b>
III.3.2.1. Temperatura .....	131
III.3.2.2. Humedad relativa .....	132
III.3.2.3. Radiación .....	132
III.3.2.3.1. Global .....	132
III.3.2.3.2. Ultravioleta (UV).....	132
III.3.2.3.3. Fotosintéticamente activa (PAR) .....	133
III.3.2.3.4. Evolución de la transmisión de la radiación .....	133
III.4. DESCRIPCIÓN DE LOS INVERNADEROS EXPERIMENTALES.....	133
III.5. MATERIAL VEGETAL.....	135
III.6. OPERACIONES DE CULTIVO.....	136
<b>III.6.1. Siembra y trasplante .....</b>	<b>136</b>
<b>III.6.2. Densidad de plantación .....</b>	<b>137</b>

III.6.3. Prácticas de mantenimiento del cultivo .....	137
III.6.4. Tutorado .....	138
III.6.5. Características del riego .....	138
III.6.6. Detalles de la fertilización .....	140
III.6.7. Polinización de flores.....	141
III.6.8. Cuidados sanitarios.....	142
III.6.9. Recolecciones.....	144
III.7. CONTROLES VEGETATIVOS .....	144
III.7.1. Estado cero .....	144
III.7.2. Fases de crecimiento.....	145
III.7.2.1. Medida del área foliar .....	145
III.7.2.2. Medida instantánea de la clorofila.....	146
III.8. CONTROLES DE FRUCTIFICACIÓN.....	147
III.9. SEGUIMIENTO PRODUCTIVO.....	149
III.9.1. Producción comercial .....	149
III.9.2. Destrío .....	150
III.10. VALORACIÓN ANALÍTICA DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN.....	150
III.10.1. Selección y recolección de frutos .....	150
III.10.2. Preparación de muestras .....	151
III.11. VARIABLES ANALIZADAS.....	151
III.11.1. Peso .....	152
III.11.2. Firmeza.....	152
III.11.3. Calibre.....	152
III.11.4. Color.....	152
III.11.5. Jugosidad .....	153
III.11.6. pH y conductividad eléctrica (CE) .....	153
III.11.7. Sólidos solubles totales (SST).....	154
III.11.8. Acidez titulable (AT) .....	154
III.11.9. Relación SST/AT .....	154
III.11.10. Materia seca (MS) .....	155

<b>III.11.11. Proteína</b> .....	155
<b>III.11.12. Macro y microelementos</b> .....	156
III.12. ANÁLISIS DE LOS FRUTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE SU CAPACIDAD ANTIOXIDANTE .....	157
<b>III.12.1. Método “Trolox Equivalent Antioxidant” (TEAC)</b> .....	158
<i>III.12.1.1. Procedimiento de extracción de la fracción hidrofílica</i> .....	158
<i>III.12.1.2. Procedimiento de extracción de la fracción lipofílica</i> .....	158
<i>III.12.1.3. Procedimiento de análisis</i> .....	159
<b>III.12.2. Método “Oxygen Radical Absorbance Capacity” (ORAC)</b> .....	160
<i>III.12.2.1. Equipo: Lector de placa fluorescente</i> .....	160
<i>III.12.2.2. Microplaca de ensayo</i> .....	161
<i>III.12.2.3. Procedimiento</i> .....	161
<b>III.12.3. Determinación de polifenoles totales</b> .....	162
<i>III.12.3.1. Procedimiento</i> .....	162
<b>III.12.4. Determinación de carotenoides: <math>\beta</math>-caroteno y licopeno</b> .....	163
<b>III.12.5. Determinación de Vitamina C</b> .....	164
<i>III.12.5.1. Extracción</i> .....	164
<i>III.12.5.2. Análisis</i> .....	164
<b>III.12.6. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos de forma individual</b> .....	165
<i>III.12.6.1. Condiciones del HPLC</i> .....	165
<b>III.12.7. Análisis estadístico</b> .....	166
<b>CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	169
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	171
IV.1. PARÁMETROS AMBIENTALES AL AIRE LIBRE DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE ESTUDIO .....	171
<b>IV.1.1. Primera y segunda campaña</b> .....	171
<i>IV.1.1.1 Temperatura</i> .....	172
<i>IV.1.1.1.1. Temperaturas máximas</i> .....	172

IV.1.1.1.2. Temperaturas mínimas .....	173
IV.1.1.1.3. Temperaturas medias.....	173
IV.1.1.2. <i>Humedad relativa</i> .....	175
IV.1.1.2.1. Humedades relativas máximas.....	175
IV.1.1.2.2. Humedades relativas mínimas .....	175
IV.1.1.2.3. Humedades relativas medias .....	176
IV.1.1.3. <i>Pluviometría</i> .....	178
IV.1.1.4. <i>Radiación global semanal</i> .....	179
IV.1.1.5. <i>Horas de sol</i> .....	179
IV.2. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE CULTIVO.....	182
<b>IV.2.1. Primera y segunda campaña.....</b>	<b>182</b>
IV.2.1.1 <i>Temperatura</i> .....	182
IV.2.1.1.1. Temperaturas máximas .....	183
IV.2.1.1.2. Temperaturas mínimas .....	185
IV.2.1.1.3. Temperaturas medias.....	188
IV.2.1.2. <i>Humedad relativa</i> .....	189
IV.2.1.2.1. Humedades relativas máximas.....	190
IV.2.1.2.2. Humedades relativas mínimas .....	190
IV.2.1.2.3. Humedades relativas medias .....	191
IV.2.1.3. <i>Radiación</i> .....	193
IV.2.1.3.1. Radiación PAR .....	194
IV.2.1.3.2. Radiación UVA .....	196
IV.2.1.3.3. Radiación UVB.....	198
IV.3. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS VEGETATIVOS.....	200
<b>IV.3.1. Altura de la planta.....</b>	<b>201</b>
<b>IV.3.2. Diámetro del tallo principal .....</b>	<b>205</b>
<b>IV.3.3. Número de Hojas Verdaderas .....</b>	<b>208</b>
<b>IV.3.4. Evolución de la superficie foliar de dos hojas adultas .....</b>	<b>212</b>
<b>IV.3.5. Clorofilas.....</b>	<b>218</b>

IV.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS FRUTOS RECOLECTADOS.....	223
<b>IV.4.1. Duración del período de formación de frutos.....</b>	<b>223</b>
<b>IV.4.2. Valoración de las cualidades físicas .....</b>	<b>227</b>
IV.4.2.1. <i>En relación al conjunto de la planta .....</i>	<i>227</i>
IV.4.2.1.1. <i>Peso medio de frutos etiquetados .....</i>	<i>227</i>
IV.4.2.1.2. <i>Altura (diámetro longitudinal) y anchura (diámetro ecuatorial) de frutos etiquetados .....</i>	<i>230</i>
IV.4.2.2. <i>Por la situación en la planta (según racimo) .....</i>	<i>233</i>
IV.4.2.2.1. <i>Período de formación del fruto .....</i>	<i>234</i>
IV.4.2.2.2. <i>Peso medio del fruto .....</i>	<i>236</i>
IV.4.2.2.3. <i>Diámetro ecuatorial (anchura) y longitudinal (altura) del fruto .....</i>	<i>237</i>
IV.4.2.3. <i>Por la evolución semanal del tamaño del fruto (diámetro ecuatorial y longitudinal) .....</i>	<i>240</i>
<b>IV.4.3. Consideraciones sobre los resultados aportados por los diferentes métodos de seguimiento de los frutos recolectados .....</b>	<b>243</b>
IV.5. PRODUCCIONES .....	244
<b>IV.5.1. Producción Total Acumulada (Fases Precoz y Tardía) .....</b>	<b>245</b>
IV.5.1.1. <i>Producción Total Precoz: peso de frutos por planta.....</i>	<i>245</i>
IV.5.1.2. <i>Producción Total Tardía: peso de frutos por planta.....</i>	<i>247</i>
IV.5.1.3. <i>Producción Total: número total de frutos por planta .....</i>	<i>247</i>
<b>IV.5.2. Producción Comercial Acumulada (Fases Precoz y Tardía) .....</b>	<b>249</b>
IV.5.2.1. <i>Producción Comercial Precoz: peso y número total de frutos por planta .</i>	<i>249</i>
IV.5.2.2. <i>Producción Comercial Tardía: peso y número total de frutos por planta .</i>	<i>250</i>
<b>IV.5.3. Destrío acumulado .....</b>	<b>252</b>
IV.6. VARIABLES RELACIONADAS CON LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL FRUTO .....	255
<b>IV.6.1. Sólidos solubles: °Brix y SST/AT .....</b>	<b>256</b>
IV.6.1.1. <i>°Brix.....</i>	<i>256</i>
IV.6.1.2. <i>Relación SST/AT .....</i>	<i>260</i>
<b>IV.6.2. Acidez del tomate: pH y acidez titulable (AT) .....</b>	<b>263</b>

IV.6.2.1. <i>pH</i> .....	264
IV.6.2.2. <i>Acidez titulable (AT)</i> .....	268
<b>IV.6.3. Conductividad eléctrica (CE)</b> .....	<b>271</b>
<b>IV.6.4. Jugosidad</b> .....	<b>275</b>
<b>IV.6.5. Firmeza</b> .....	<b>278</b>
<b>IV.6.6. Color</b> .....	<b>282</b>
IV.6.6.1. <i>Coordenada a*</i> .....	283
IV.6.6.2. <i>Coordenada b*</i> .....	287
IV.6.6.3. <i>Croma (C*)</i> .....	290
IV.6.6.4. <i>Luminosidad (L*)</i> .....	293
IV.6.6.5. <i>Índice Hue</i> .....	296
IV.7. VARIABLES RELACIONADAS CON LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FRUTO .....	299
<b>IV.7.1. Proteína</b> .....	<b>299</b>
<b>IV.7.2. Materia seca (MS)</b> .....	<b>302</b>
<b>IV.7.3. Macroelementos</b> .....	<b>305</b>
IV.7.3.1. <i>Sodio (Na)</i> .....	305
IV.7.3.2. <i>Potasio (K)</i> .....	308
IV.7.3.3. <i>Calcio (Ca)</i> .....	311
IV.7.3.4. <i>Magnesio (Mg)</i> .....	314
IV.7.3.5. <i>Fósforo (P)</i> .....	317
<b>IV.7.4. Microelementos</b> .....	<b>320</b>
IV.7.4.1. <i>Hierro (Fe)</i> .....	320
IV.7.4.2. <i>Cobre (Cu)</i> .....	322
IV.7.4.3. <i>Manganeso (Mn)</i> .....	325
IV.7.4.4. <i>Cinc (Zn)</i> .....	327
IV.7.4.5. <i>Boro (B)</i> .....	328
IV.8. VARIABLES RELACIONADAS CON LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL FRUTO .....	331
<b>IV.8.1. Actividad antioxidante hidrofílica</b> .....	<b>331</b>
IV.8.1.1. <i>Ensayo de capacidad antioxidante: "Trolox Equivalent Antioxidant Capacity" (TEAC)</i> .....	332

IV.8.1.2. Ensayo de capacidad antioxidante: "Oxygen Radical Absorbance Capacity" (ORAC) .....	335
<b>IV.8.2. Actividad antioxidante lipofílica .....</b>	<b>340</b>
IV.8.2.1. TEAC lipofílico .....	340
<b>IV.8.3. Polifenoles .....</b>	<b>344</b>
IV.8.3.1. Polifenoles totales (PT) .....	344
IV.8.3.2. Perfil fenólico .....	349
IV.8.3.2.1. Ácido clorogénico .....	350
IV.8.3.2.2. Rutina .....	352
IV.8.3.2.3. Luteolina .....	355
<b>IV.8.4. Vitamina C.....</b>	<b>357</b>
IV.8.4.1. Ácido dehidroascórbico (ADHA).....	357
IV.8.4.2. Ácido L-ascórbico (AA) .....	360
IV.8.4.3. Vitamina C .....	362
<b>IV.8.5. Carotenoides .....</b>	<b>364</b>
IV.8.5.1. Licopeno .....	365
IV.8.5.2. $\beta$ -caroteno .....	369
<b>CAPÍTULO V. CONCLUSIONES .....</b>	<b>373</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>375</b>
<b>CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>379</b>
<b>VI. BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>381</b>



## **LISTA DE ABREVIATURAS**



## LISTA DE ABREVIATURAS

a\*: coordenada de color rojo-verde

A: Absorbancia

AA: ácido L-ascórbico

AAPH: 2,2'-Azobis (2-amidinopropane) dihydrochloride

ABTS: ácido-2, 2-azino-bis (3 etilbenzotiazolina)-6-sulfónico

ADHA: ácido dehidroascórbico

ADN: ácido desoxirribonucleico

ANOVA: análisis de varianza

AOAC: Asociación de Químicos Analíticos Oficiales

AT: acidez titulable

b\*: coordenada de color amarillo-azul

C\*: parámetro croma (saturación)

CE: conductividad eléctrica

CIE: Commission Internationale de l'Éclairage

DDT: días después del trasplante

DFQ: fluoroforo 3-(1,2-dihidroxietil) furol [3,4-b] quinoxalina-1-ona

DHA: ácido dehidroascórbico

DPPH: 2, 2-difenil-picril-hidracil

EDTA: ácido etildiaminotetraacético

EEUU: Estados Unidos

EVA: etileno y acetato de vinilo

FAO: Food and Agriculture Organization

FAOSTAT: Food and Agricultural Organization Statistical

FEPEX: Federación Española de Asociaciones de Productores Exportadores

GPx: Glutación peroxidasa

HAT: átomo de hidrógeno

HPLC: cromatografía líquida de alta resolución

Hue: valor h, índice de madurez (tono)

IMIDA: Instituto Murciano De Investigacion Y Desarrollo Agrario Y Alimentario

INFOAGRO: Información del Sector Agropecuario

INTIA: Instituto Navarro de Tecnologías e Infraestructuras Agroalimentarias

IR: infrarrojo

L\*: luminosidad

L\*: luminosidad (blanco-negro)

LSL: Long Self Life

MAGRAMA: Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente

MAR: radiación morfogénicamente activa

MeOH: metanol

MIP: manejo integrado de plagas

M.O: materia orgánica

MS: materia seca

NaOH: hidróxido sódico

NIR: Near Infrared Radiation

ODEPA: Oficina de Estudios y Políticas Agrarias

OPDA: 1,2-fenilendiamina dihidrocloruro

ORAC: capacidad de absorción de radicales de oxígeno

PAL: fenilalanina amonio-liasa

PAR: fotosintéticamente activa

PE: polietileno

PEBD: polietileno de baja densidad

PE-IR: polietileno térmico o infrarrojo

PE-LD: polietileno de larga duración

PE-UV: polietileno de larga duración

PF: peso fresco

PP: polipropileno

PSII: fotosistema II

PT: polifenoles totales

PVC: cloruro de polivinilo

PVF: fluoruro de polivinilo

ROS: especies reactivas de oxígeno

SOD: Superóxido dismutasa

SST/AT: sólidos solubles totales/ acidez titulable

TEAC: capacidad antioxidante como equivalentes trolox

TROLOX: 6-hydroxy-2,5,7,8-tetramethylchroman-2-carboxylic acid

TSWV: Virus del Bronceado del tomate

USA: Estados Unidos de América

USDA: Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América

UV: ultravioleta

UVA: ultravioleta A

UVB: ultravioleta B



## ÍNDICE DE TABLAS



## ÍNDICE DE TABLAS

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

<b>Tabla I.1.</b> <i>Serie histórica de consumo de hortalizas en España (2005 a 2013)</i> .....	54
<b>Tabla I.2.</b> <i>Evolución de las exportaciones e importaciones españolas de tomate en la Unión Europea (Período 2011 a 2013)</i> .....	56
<b>Tabla I.3.</b> <i>Distribución del cultivo de tomate en España conforme a su modalidad de cultivo en 2013</i> .....	57
<b>Tabla I.4.</b> <i>Superficie cubierta con algún tipo de protección a nivel mundial (ha)</i> .....	80
<b>Tabla I.5.</b> <i>Parámetros que definen el sabor del fruto de tomate</i> .....	93
<b>Tabla I.6.</b> <i>Valor nutricional de un tipo de tomate fresco</i> .....	95
<b>Tabla I.7.</b> <i>Composición del fruto de tomate maduro (% materia seca)</i> .....	96
<b>Tabla I.8.</b> <i>Principales compuestos fenólicos del fruto de tomate</i> .....	102

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

<b>Tabla III.9.</b> <i>Porcentaje de transmisión de la radiación en los distintos materiales vírgenes evaluados (Enero, 2010)</i> .....	130
<b>Tabla III.10.</b> <i>Características químicas medias del agua de riego aportada a los cultivos (2009-2011)</i> .....	139
<b>Tabla III.11.</b> <i>Análisis medio de suelo en extracto de saturación de los invernaderos experimentales (2009-2011)</i> .....	141
<b>Tabla III.12.</b> <i>Materias activas utilizadas en el ensayo durante las dos campañas para el control de plagas</i> .....	143
<b>Tabla III.13.</b> <i>Materias activas utilizadas en el ensayo durante las dos campañas para el control de enfermedades</i> .....	144

## CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>Tabla IV.14.</b> <i>Media mensual de pluviometría máxima diaria (mm)</i> .....	178
<b>Tabla IV.15.</b> <i>Total semanal de pluviometría (mm)</i> .....	179
<b>Tabla IV.16.</b> <i>Incidencia media semanal de la radiación global (W/m<sup>2</sup>)</i> .....	181
<b>Tabla IV.17.</b> <i>Media de número de horas de sol diarias</i> .....	181
<b>Tabla IV.18.</b> <i>Porcentaje de transmisión de radiación PAR durante las dos campañas: Momentos relevantes</i> .....	195
<b>Tabla IV.19.</b> <i>Porcentaje de transmisión de radiación UVA durante las dos campañas: Momentos relevantes</i> .....	197
<b>Tabla IV.20.</b> <i>Porcentaje de transmisión de radiación UVB durante las dos campañas: Momentos relevantes)</i> .....	199
<b>Tabla IV.21.</b> <i>Características de plántulas en estado cero durante la primera campaña</i> .....	201
<b>Tabla IV.22.</b> <i>Altura de la planta durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 84 DDT</i> .....	202
<b>Tabla IV.23.</b> <i>Altura de la planta durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 152 DDT</i> ....	202
<b>Tabla IV.24.</b> <i>Altura de la planta durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 70 DDT</i> .....	203
<b>Tabla IV.25.</b> <i>Altura de la planta durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 139 DDT</i> .....	204
<b>Tabla IV.26.</b> <i>Evolución del diámetro del tallo principal durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 84 DDT</i> .....	206
<b>Tabla IV.27.</b> <i>Evolución del diámetro del tallo principal durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 152 DDT</i> .....	206
<b>Tabla IV.28.</b> <i>Evolución del diámetro del tallo principal durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 70 DDT</i> .....	207
<b>Tabla IV.29.</b> <i>Evolución del diámetro del tallo principal durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 139 DDT</i> .....	208

<b>Tabla IV.30.</b> <i>Variación del número de hojas verdaderas durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 84 DDT</i> .....	209
<b>Tabla IV.31.</b> <i>Variación del número de hojas verdaderas durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 152 DDT</i> .....	210
<b>Tabla IV.32.</b> <i>Variación del número de hojas verdaderas durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 70 DDT</i> .....	211
<b>Tabla IV.33.</b> <i>Variación del número de hojas verdaderas durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 139 DDT</i> .....	212
<b>Tabla IV.34.</b> <i>Superficie foliar de órganos adultos durante el primer ciclo de cultivo: Hoja <math>\alpha</math> hasta 84 DDT</i> .....	213
<b>Tabla IV.35.</b> <i>Superficie foliar de órganos adultos durante el primer ciclo de cultivo: cambio de Hoja <math>\alpha</math> (114 DDT) hasta 152 DDT</i> .....	214
<b>Tabla IV.36.</b> <i>Superficie foliar de órganos adultos durante el primer ciclo de cultivo: Hoja <math>\beta</math> hasta 84 DDT</i> .....	214
<b>Tabla IV.37.</b> <i>Superficie foliar de órganos adultos durante el primer ciclo de cultivo: cambio de Hoja <math>\beta</math> (114 DDT) hasta 152 DDT</i> .....	215
<b>Tabla IV.38.</b> <i>Superficie foliar de órganos adultos durante el segundo ciclo de cultivo: Hoja <math>\alpha</math> hasta 70 DDT</i> .....	216
<b>Tabla IV.39.</b> <i>Superficie foliar de órganos adultos durante el segundo ciclo de cultivo: cambio de Hoja <math>\alpha</math> (82 DDT) hasta 139 DDT</i> .....	216
<b>Tabla IV.40.</b> <i>Superficie foliar de órganos adultos durante el segundo ciclo de cultivo: Hoja <math>\beta</math> hasta 70 DDT</i> .....	217
<b>Tabla IV.41.</b> <i>Superficie foliar de órganos adultos durante el segundo ciclo de cultivo: cambio de Hoja <math>\beta</math> (96 DDT) hasta 139 DDT</i> .....	218
<b>Tabla IV.42.</b> <i>Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Haz, hasta 72 DDT (1ª campaña)</i> .....	219
<b>Tabla IV.43.</b> <i>Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Haz, hasta 152 DDT (1ª campaña)</i> .....	219

<b>Tabla IV.44.</b> <i>Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Envés, hasta 72 DDT (1ª campaña)</i> .....	220
<b>Tabla IV.45.</b> <i>Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Envés, hasta 152 DDT (1ª campaña)</i> .....	220
<b>Tabla IV.46.</b> <i>Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Haz, hasta 70 DDT (2ª campaña)</i> .....	221
<b>Tabla IV.47.</b> <i>Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Haz, hasta 139 DDT (2ª campaña)</i> .....	221
<b>Tabla IV.48.</b> <i>Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Envés, hasta 70 DDT (2ª campaña)</i> .....	222
<b>Tabla IV.49.</b> <i>Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Envés, hasta 139 DDT (2ª campaña)</i> .....	223
<b>Tabla IV.50.</b> <i>Número de días necesarios para formar el fruto: 1ª Campaña (1ª a 4ª recolección)</i> .....	225
<b>Tabla IV.51.</b> <i>Número de días necesarios para formar el fruto: 1ª Campaña (5ª a 8ª recolección)</i> .....	226
<b>Tabla IV.52.</b> <i>Número de días necesarios para formar el fruto: 2ª Campaña (1ª a 4ª recolección)</i> .....	226
<b>Tabla IV.53.</b> <i>Número de días necesarios para formar el fruto: 2ª Campaña (5ª a 9ª recolección)</i> .....	227
<b>Tabla IV.54.</b> <i>Peso medio de frutos etiquetados (g): 1ª Campaña (1ª a 4ª recolección)</i> ....	228
<b>Tabla IV.55.</b> <i>Peso medio de frutos etiquetados (g): 1ª Campaña (5ª a 8ª recolección)</i> ....	228
<b>Tabla IV.56.</b> <i>Peso medio de frutos etiquetados (g): 2ª Campaña (1ª a 4ª recolección)</i> ....	229
<b>Tabla IV.57.</b> <i>Peso medio de frutos etiquetados (g): 2ª Campaña (5ª a 9ª recolección)</i> ....	229
<b>Tabla IV.58.</b> <i>Altura de frutos etiquetados (mm): 1ª Campaña (1ª a 4ª recolección)</i> .....	230
<b>Tabla IV. 59.</b> <i>Altura de frutos etiquetados (mm): 1ª Campaña (5ª a 8ª recolección)</i> .....	230
<b>Tabla IV.60.</b> <i>Altura de frutos etiquetados (mm): 2ª Campaña (1ª a 4ª recolección)</i> .....	231
<b>Tabla IV.61.</b> <i>Altura de frutos etiquetados (mm): 2ª Campaña (5ª a 9ª recolección)</i> .....	231

<b>Tabla IV.62.</b> <i>Anchura de frutos etiquetados (mm): 1ª Campaña (1ª a 4ª recolección) ...</i>	232
<b>Tabla IV.63.</b> <i>Anchura de frutos etiquetados (mm): 1ª Campaña (5ª a 8ª recolección) ...</i>	232
<b>Tabla IV.64.</b> <i>Anchura de frutos etiquetados (mm): 2ª Campaña (1ª a 4ª recolección) ...</i>	233
<b>Tabla IV.65.</b> <i>Anchura de frutos etiquetados (mm): 2ª Campaña (5ª a 9ª recolección) ...</i>	233
<b>Tabla IV.66.</b> <i>Nº frutos etiquetados recolectados por racimo en ambas campañas.....</i>	234
<b>Tabla IV.67.</b> <i>Características descriptivas del contenido de °Brix de los frutos .....</i>	257
<b>Tabla IV.68.</b> <i>Diferencias medias en los valores de °Brix según el tratamiento .....</i>	258
<b>Tabla IV.69.</b> <i>Diferencias medias en los valores de °Brix según el nº de racimo.....</i>	259
<b>Tabla IV.70.</b> <i>Características descriptivas de la variable SST/AT de los frutos .....</i>	260
<b>Tabla IV.71.</b> <i>Diferencias medias en los valores SST/TA según el tratamiento.....</i>	261
<b>Tabla IV.72.</b> <i>Diferencias medias en los valores SST/TA según el nº de racimo .....</i>	263
<b>Tabla IV.73.</b> <i>Características descriptivas de la variable pH de los frutos .....</i>	265
<b>Tabla IV.74.</b> <i>Diferencias medias en los valores pH según el tipo tratamiento.....</i>	266
<b>Tabla IV.75.</b> <i>Diferencias medias en los valores pH según el nº de racimo.....</i>	267
<b>Tabla IV.76.</b> <i>Características descriptivas de la variable AT (% ácido cítrico g<sup>-1</sup> PF) de los frutos.....</i>	268
<b>Tabla IV.77.</b> <i>Diferencias medias en los valores de AT según el tipo de tratamiento .....</i>	269
<b>Tabla IV.78.</b> <i>Diferencias medias en los valores AT según el nº de racimo .....</i>	270
<b>Tabla IV.79.</b> <i>Características descriptivas de la variable conductividad eléctrica (mS) de los frutos.....</i>	272
<b>Tabla IV.80.</b> <i>Diferencias medias en los valores conductividad eléctrica según el tipo de tratamiento .....</i>	273
<b>Tabla IV.81.</b> <i>Diferencias medias en los valores conductividad eléctrica según el nº de racimo.....</i>	274
<b>Tabla IV.82.</b> <i>Características descriptivas de la variable jugosidad (%) de los frutos .....</i>	275

<b>Tabla IV.83.</b> <i>Diferencias medias en los valores jugosidad según el tipo de tratamiento.....</i>	276
<b>Tabla IV.84.</b> <i>Diferencias medias en los valores jugosidad según el n° de racimo.....</i>	277
<b>Tabla IV.85.</b> <i>Características descriptivas de la variable firmeza (Kg cm<sup>-2</sup>) de los frutos.....</i>	279
<b>Tabla IV.86.</b> <i>Diferencias medias en los valores firmeza según el tipo de tratamiento .....</i>	280
<b>Tabla IV.87.</b> <i>Diferencias medias en los valores firmeza según el n° de racimo .....</i>	281
<b>Tabla IV.88.</b> <i>Características descriptivas para la variable coordenada a* de los frutos....</i>	284
<b>Tabla IV.89.</b> <i>Diferencias medias en los valores coordenada a* según el tipo de tratamiento.....</i>	285
<b>Tabla IV.90.</b> <i>Diferencias medias en los valores coordenada a* según el n° de racimo.....</i>	286
<b>Tabla IV.91.</b> <i>Características descriptivas para la variable coordenada b* de los frutos ...</i>	287
<b>Tabla IV.92.</b> <i>Diferencias medias en los valores coordenada b* según el tipo de tratamiento.....</i>	288
<b>Tabla IV.93.</b> <i>Diferencias medias en los valores coordenada b* según el n° de racimo.....</i>	289
<b>Tabla IV.94.</b> <i>Características descriptivas para la variable C* de los frutos.....</i>	290
<b>Tabla IV.95.</b> <i>Diferencias medias en los valores C* según el tipo de tratamiento .....</i>	291
<b>Tabla IV.96.</b> <i>Diferencias medias en los valores C* según el nivel del racimo .....</i>	292
<b>Tabla IV.97.</b> <i>Características descriptivas para la variable L* de los frutos .....</i>	294
<b>Tabla IV.98.</b> <i>Diferencias medias en los valores luminosidad según el tipo de tratamiento.....</i>	295
<b>Tabla IV.99.</b> <i>Diferencias medias en los valores luminosidad según el n° de racimo .....</i>	296
<b>Tabla IV.100.</b> <i>Características descriptivas para la variable índice Hue de los frutos .....</i>	297
<b>Tabla IV.101.</b> <i>Diferencias medias en los valores del índice Hue según el tipo de tratamiento.....</i>	298
<b>Tabla IV.102.</b> <i>Diferencias medias en los valores del índice Hue según el n° de racimo.....</i>	298

<b>Tabla IV.103.</b> <i>Características descriptivas para la variable proteína (% sobre MS) de los frutos</i> .....	300
<b>Tabla IV.104.</b> <i>Diferencias medias en los valores de proteína según el tipo de tratamiento</i> .....	301
<b>Tabla IV.105.</b> <i>Características descriptivas de la variable MS (%) de los frutos</i> .....	303
<b>Tabla IV.106.</b> <i>Diferencias medias en los valores MS según el tipo de tratamiento</i> .....	304
<b>Tabla IV.107.</b> <i>Diferencias medias en los valores MS según el n° de racimo</i> .....	304
<b>Tabla IV. 108.</b> <i>Características descriptivas para la variable Na (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos</i> .....	306
<b>Tabla IV.109.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Na según el tipo de tratamiento</i> .....	307
<b>Tabla IV.110.</b> <i>Características descriptivas para la variable K (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos</i> .....	309
<b>Tabla IV.111.</b> <i>Diferencias medias en los valores de K según el tipo de tratamiento</i> .....	310
<b>Tabla IV.112.</b> <i>Diferencias medias en los valores de K según el n° de racimo</i> .....	310
<b>Tabla IV.113.</b> <i>Características descriptivas para la variable Ca (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos</i> .....	312
<b>Tabla IV.114.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Ca según el tipo de tratamiento</i> .....	313
<b>Tabla IV.115.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Ca según el n° de racimo</i> .....	314
<b>Tabla IV.116.</b> <i>Características descriptivas para la variable Mg (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos</i> .....	315
<b>Tabla IV.117.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Mg según el tipo de tratamiento</i> .....	316
<b>Tabla IV.118.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Mg según el n° de racimo</i> .....	317
<b>Tabla IV.119.</b> <i>Características descriptivas para la variable P (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos</i> .....	318
<b>Tabla IV.120.</b> <i>Diferencias medias en los valores de P según el tipo de tratamiento</i> .....	319
<b>Tabla IV.121.</b> <i>Diferencias medias en los valores de P según el n° de racimo</i> .....	320

<b>Tabla IV.122.</b> <i>Características descriptivas para la variable Fe (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> MS) de los frutos.....</i>	321
<b>Tabla IV.123.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Fe según el n<sup>o</sup> de racimo.....</i>	322
<b>Tabla IV.124.</b> <i>Características descriptivas para la variable Cu (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> MS) de los frutos.....</i>	323
<b>Tabla IV.125.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Cu según el n<sup>o</sup> de racimo .....</i>	324
<b>Tabla IV.126.</b> <i>Características descriptivas para la variable Mn (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> MS) de los frutos.....</i>	325
<b>Tabla IV.127.</b> <i>Diferencias medias en los valores Mn según el tipo de tratamiento .....</i>	326
<b>Tabla IV.128.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Mn según el n<sup>o</sup> de racimo .....</i>	326
<b>Tabla IV.129.</b> <i>Características descriptivas para la variable Zn (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> MS) de los frutos.....</i>	327
<b>Tabla IV.130.</b> <i>Diferencias medias en los valores de Zn según el n<sup>o</sup> de racimo .....</i>	328
<b>Tabla IV.131.</b> <i>Características descriptivas para la variable B (<math>\mu\text{g g}^{-1}</math> MS) de los frutos.....</i>	329
<b>Tabla IV.132.</b> <i>Diferencias medias en los valores de B según el tipo de tratamiento .....</i>	330
<b>Tabla IV.133.</b> <i>Diferencias medias en los valores boro según el n<sup>o</sup> de racimo .....</i>	330
<b>Tabla IV.134.</b> <i>Características descriptivas para la variable TEAC hidrofílico (<math>\mu\text{mol de equivalentes de Trolox g}^{-1}</math> PF) de los frutos.....</i>	333
<b>Tabla IV.135.</b> <i>Diferencias medias en los valores TEAC hidrofílico según el tipo de tratamiento.....</i>	334
<b>Tabla IV.136.</b> <i>Diferencias medias en los valores TEAC hidrofílico según el n<sup>o</sup> de racimo.....</i>	335
<b>Tabla IV.137.</b> <i>Características descriptivas para la variable ORAC hidrofílico (<math>\mu\text{mol de equivalentes de Trolox g}^{-1}</math> PF) de los frutos.....</i>	336
<b>Tabla IV.138.</b> <i>Diferencias medias en los valores ORAC hidrofílico según el tipo de tratamiento.....</i>	337

<b>Tabla IV.139.</b> <i>Diferencias medias en los valores ORAC hidrofílico según el número de racimo</i> .....	339
<b>Tabla IV.140.</b> <i>Características descriptivas para la variable TEAC lipofílico (<math>\mu\text{mol}</math> de equivalentes de Trolox <math>\text{g}^{-1}</math> PF) de los frutos</i> .....	341
<b>Tabla IV.141.</b> <i>Diferencias medias en los valores TEAC lipofílico según el tipo de tratamiento</i> .....	342
<b>Tabla IV.142.</b> <i>Diferencias medias en los valores TEAC lipofílico según el n<sup>o</sup> de racimo</i> .....	342
<b>Tabla IV.143.</b> <i>Características descriptivas para la variable PT [mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) <math>\text{Kg}^{-1}</math> PF] de los frutos</i> .....	345
<b>Tabla IV.144.</b> <i>Diferencias medias en los valores polifenoles totales según el tipo de tratamiento</i> .....	346
<b>Tabla IV.145.</b> <i>Diferencias medias en los valores polifenoles totales según el n<sup>o</sup> de racimo</i> .....	348
<b>Tabla IV.146.</b> <i>Características descriptivas para la variable ácido clorogénico (mg <math>\text{Kg}^{-1}</math> PF) de los frutos</i> .....	351
<b>Tabla IV. 147.</b> <i>Diferencias medias en los valores de ácido clorogénico según el n<sup>o</sup> de racimo</i> .....	352
<b>Tabla IV.148.</b> <i>Características descriptivas para la variable rutina (mg <math>\text{Kg}^{-1}</math> PF) de los frutos</i> .....	353
<b>Tabla IV.149.</b> <i>Diferencias medias en los valores de rutina según el tipo de tratamiento</i> .....	354
<b>Tabla IV.150.</b> <i>Diferencias medias en los valores de rutina según el n<sup>o</sup> de racimo</i> .....	355
<b>Tabla IV.151.</b> <i>Características descriptivas para la variable luteolina (mg <math>\text{Kg}^{-1}</math> PF) de los frutos</i> .....	356
<b>Tabla IV.152.</b> <i>Diferencias medias en los valores de luteolina según el n<sup>o</sup> de racimo</i> .....	357
<b>Tabla IV.153.</b> <i>Características descriptivas para la variable ADHA (mg <math>100 \text{ g}^{-1}</math> PF) de los frutos</i> .....	358

<b>Tabla IV.154.</b> <i>Diferencias medias en los valores de ADHA según el n° de racimo .....</i>	359
<b>Tabla IV.155.</b> <i>Características descriptivas para la variable ácido ascórbico (mg 100 g<sup>-1</sup> PF) de los frutos .....</i>	360
<b>Tabla IV.156.</b> <i>Diferencias medias en los valores de AA según el n° de racimo.....</i>	361
<b>Tabla IV.157.</b> <i>Características descriptivas para la variable vitamina C (mg 100 g<sup>-1</sup> PF) de los frutos .....</i>	362
<b>Tabla IV.158.</b> <i>Diferencias medias en los valores de vitamina C según el número de racimo.....</i>	363
<b>Tabla IV.159.</b> <i>Características descriptivas para la variable licopeno (μg g<sup>-1</sup> PF) de los frutos .....</i>	366
<b>Tabla IV.160.</b> <i>Diferencias medias en los valores de licopeno según el tipo de tratamiento.....</i>	367
<b>Tabla IV.161.</b> <i>Diferencias medias en los valores de licopeno según el n° de racimo .....</i>	368
<b>Tabla IV.162.</b> <i>Características descriptivas para la variable β-caroteno (μg g<sup>-1</sup> PF) de los frutos .....</i>	369
<b>Tabla IV.163.</b> <i>Diferencias medias en los valores de β-caroteno según el tipo de tratamiento.....</i>	370
<b>Tabla IV.164.</b> <i>Diferencias medias en los valores de β-caroteno según el n° de racimo ...</i>	371

## ÍNDICE DE FIGURAS



## ÍNDICE DE FIGURAS

## CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

<b>Figura I.1.</b> <i>Volumen exportado de tomate fresco español.....</i>	55
<b>Figura I.2.</b> <i>Evolución de la superficie de tomate cultivada en España desde 2007 a 2011.....</i>	57
<b>Figura I.3.</b> <i>Rangos de clasificación de la radiación.....</i>	72
<b>Figura I.4.</b> <i>Distribución porcentual de la superficie cultivada de tomate en invernadero en España durante los años 2010/2011 (sup. total=1.7812 ha).....</i>	81
<b>Figura I.5.</b> <i>Estructura química del grupo fenol.....</i>	100
<b>Figura I.6.</b> <i>Clasificación de compuestos fenólicos.....</i>	101
<b>Figura I.7.</b> <i>Estructura química de licopeno.....</i>	104
<b>Figura I.8.</b> <i>Estructura química de <math>\beta</math>-caroteno.....</i>	105
<b>Figura I.9.</b> <i>Estructura química del ácido L-ascórbico y reacción de oxidación en la que se convierte en ácido dehidroascórbico.....</i>	105

## CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS

<b>Figura III.10.</b> <i>Batería de sensores portátiles de radiación .....</i>	130
<b>Figura III.11.</b> <i>Minirregistrator de humedad y T<sup>a</sup> Testo, 177-H1.....</i>	131
<b>Figura III.12.</b> <i>Vista exterior de los invernaderos experimentales, tipo túnel visitable, modelo Kyoto .....</i>	134
<b>Figura III.13.</b> <i>Estructura del invernadero.....</i>	135
<b>Figura III.14.</b> <i>Frutos maduros de tomate, variedad Brenda .....</i>	136
<b>Figura III.15.</b> <i>Vista interior del invernadero experimental con el cultivo de tomate Brenda.....</i>	137

<b>Figura III.16.</b> <i>Plántulas de tomate en el estado cero</i> .....	145
<b>Figura III.17.</b> <i>Medidor de área foliar LI-COR LI-3100 Area Meter</i> .....	146
<b>Figura III.18.</b> <i>Detalle de medida de clorofilas en campo con un clorofilómetro Minolta SPAD-502</i> .....	147
<b>Figura III.19.</b> <i>Detalle de la medida del diámetro ecuatorial en el fruto de tomate</i> .....	149
<b>Figura III.20.</b> <i>Detalle de la medida del diámetro longitudinal en el fruto de tomate</i> .....	149
<b>Figura III.21.</b> <i>Esquema de la distribución de los racimos analizados en la planta de tomate</i> .....	151
<b>Figura III.22.</b> <i>Colorímetro Minolta, CR-300</i> .....	153
<b>Figura III.23.</b> <i>Refractómetro Athago, Pocket PAL-1</i> .....	154
<b>Figura III.24.</b> <i>Analizador LECO FP-528 (Leco Corporation, St. Joseph, MI. USA)</i> .....	156
<b>Figura III.25.</b> <i>Espectrofotómetro VARIAN, CARY 50 Bio</i> .....	160
<b>Figura III.26.</b> <i>Lector de placa fluorescente Bio-Tek, Synergy HT</i> .....	160
<b>Figura III.27.</b> <i>Homogeneizador Ultra-Turrax T-18, IKA Basic</i> .....	163
<b>Figura III.28.</b> <i>HPLC Agilent 1200 Series</i> .....	166

#### CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>Figura IV.29.</b> <i>Temperaturas máximas, mínimas y medias registradas al aire libre en la 1ª (A) Y 2ª (B) campaña de cultivo</i> .....	174
<b>Figura IV.30.</b> <i>Humedades relativas máximas, mínimas y medias registradas al aire libre en la 1ª (A) y 2ª (B) campaña de cultivo</i> .....	177
<b>Figura IV.31.</b> <i>Temperaturas máximas registradas en el interior del invernadero durante la 1ª (A) y 2ª (B) campaña</i> .....	185
<b>Figura IV.32.</b> <i>Temperaturas mínimas registradas en el interior del invernadero durante la 1ª (A) y 2ª (B) campaña</i> .....	187
<b>Figura IV.33.</b> <i>Temperaturas medias registradas en el interior del invernadero durante la 1ª campaña (A) y la 2ª campaña (B)</i> .....	189

<b>Figura IV.34.</b> <i>Humedades mínimas registradas en el interior del invernadero durante la 1ª campaña (A) y la 2ª campaña (B) .....</i>	191
<b>Figura IV.35.</b> <i>Humedades relativas medias registradas en el interior del invernadero durante la 1ª (A) y la 2ª (B) campaña.....</i>	193
<b>Figura IV.36.</b> <i>Nº de días deformación del fruto durante el primer (A) y segundo (B) período productivo .....</i>	235
<b>Figura IV.37.</b> <i>Peso de los frutos de tomate durante la primera (A) y segunda campaña (B).....</i>	237
<b>Figura IV.38.</b> <i>Diámetro longitudinal del fruto de tomate durante la primera (A) y segunda campaña (B).....</i>	238
<b>Figura IV.39.</b> <i>Diámetro ecuatorial del fruto de tomate durante la primera (A) y segunda campaña (B).....</i>	239
<b>Figura IV.40.</b> <i>Evolución del diámetro ecuatorial (Ø Ec.) y longitudinal (Ø Long.) del fruto de tomate durante la primera campaña .....</i>	241
<b>Figura IV.41.</b> <i>Evolución del diámetro ecuatorial (Ø Ec.) y longitudinal (Ø Long.) del fruto de tomate durante la segunda campaña .....</i>	243
<b>Figura IV.42.</b> <i>Producción total acumulada en peso por planta en los 5 tratamientos durante el primer (A) y segundo (B) período productivo .....</i>	246
<b>Figura IV.43.</b> <i>Comparación del número de frutos totales por planta en los 5 tratamientos durante el primer (A) y segundo (B) período productivo .....</i>	248
<b>Figura IV.44.</b> <i>Comparación de la producción comercial acumulada en peso por planta en los 5 tratamientos durante el primer (A) y segundo (B) ciclo de cultivo .....</i>	250
<b>Figura IV.45.</b> <i>Comparación de la producción comercial en número de frutos en los 5 tratamientos durante el primer (A) y segundo (B) ciclo de cultivo .....</i>	251
<b>Figura IV.46.</b> <i>Producción acumulada en el destrío del peso de los frutos de tomate por planta durante el primer año de cultivo .....</i>	252
<b>Figura IV.47.</b> <i>Número de frutos acumulado por planta en el destrío durante el primer año de cultivo .....</i>	253

**Figura IV.48.** *Producción acumulada en el destrío del peso de frutos por planta durante el segundo año de cultivo.....* 253

**Figura IV.49.** *Número de frutos acumulado por planta en el destrío durante el segundo año de cultivo.....* 254

## **CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN**



## I. INTRODUCCIÓN

### I.1. IMPORTANCIA DEL CULTIVO DEL TOMATE

En los estudios estadísticos del estado actual de la producción de tomate, no siempre vienen especificados las distintas modalidades de cultivo que integran esos datos productivos. De tal manera que reúnen en un solo concepto aquellas superficies y producciones de diferentes tipos de cultivos, como en invernadero y aire libre, y dentro de los segundos, si su aprovechamiento es para consumo en fresco o para industria. Ello hace que algunas de las macromagnitudes que recogen estos documentos no expresen realmente la importancia económica del cultivo en esas zonas, porque no se puede comparar el impacto y repercusión económica que tienen un cultivo protegido con relación a otro que se lleva a cabo al aire libre.

De la producción mundial de tomate, aproximadamente, el 93% se produce en el hemisferio Norte (Zona mediterránea, Estados Unidos de América, China, etc.), y el resto en el hemisferio Sur (Brasil, Argentina, Australia, etc.). En el año 2009, California (USA) ostentaba el 31,5% de la producción mundial, porcentaje que tuvo apropiado durante los tres últimos años debido a la gran estabilidad de su producción. Durante este período de tiempo, Italia le seguía en el ranking productivo a nivel mundial, con un 12% del conjunto, aunque en este caso no se mantuvieron sus rendimientos y se produjera un descenso de un 25% hasta el 2011. China, que figuraba en el tercer puesto, también sufrió una tendencia similar a la italiana, llegando incluso a mayores reducciones productivas que pudieron valorarse en un 50% durante ese período. Según informaciones consultadas (INTIA, 2012), España ocupaba el cuarto puesto, como país productor, incluso después de la caída de superficies productivas a partir de 2009, las cuales descendieron hasta el 25%.

Remontándose al año 2000, la producción se estimaba en 27.102.000 t, presentando una tendencia al crecimiento que llegó al máximo en 2009, con 42.500.000 t. Debiéndose este aumento a una mejoría en los rendimientos y no a un aumento notable de la superficie cultivada (Rosales, 2008). En los años siguientes la

producción siguió una tendencia descendente siendo en 2012 de 35.195.000 t (INTIA, 2012).

Según la serie histórica del Panel de Consumo Alimentario del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente de 2014 (**Tabla I.1**), el tomate es la hortaliza de gran consumo nacional suponiendo un porcentaje muy importante sobre el total de hortalizas consumidas en España, siendo en 2012 la más demandada (FEPEX, 2014), con 684 miles de toneladas, seguida por la cebolla, con 345, que supuso un total de 4.550 millones de euros.

**Tabla I.1.** Serie histórica de consumo de hortalizas en España (2005 a 2013) (FEPEX, 2014).

Año	2005	2007	2009	2011	2013
Tomate (t x 1000)	583	557	679	700	689
Total hortalizas ( t x 1000)	2.413	2.521	2934	2.884	2.924

Además, con relación a 2013, observamos la misma tendencia de consumo de tomate en los hogares españoles, ya que se alcanzaron valores muy similares al año anterior respecto al resto de hortalizas, lográndose un gasto total de éstas que se incrementó a 4.627 millones de euros en relación a 2012 (**Tabla I.1**).

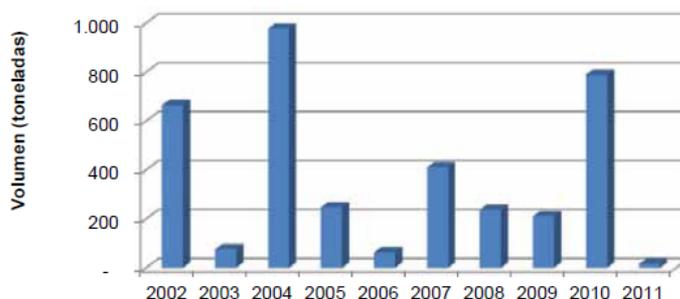
En la actualidad, el comercio internacional del tomate está localizado en dos áreas concretas con alto poder adquisitivo: La Unión Europea y Estados Unidos. Los países que suministran a la Unión Europea son principalmente España, Holanda, Egipto, Israel, Marruecos y Turquía, siendo estos dos últimos los que tienen mayor cupo de exportación, encontrándose un 75% de las importaciones europeas en manos de estos países extracomunitarios. Estados Unidos es receptor de las exportaciones de México y Canadá.

A nivel europeo, Italia con toda la producción conjunta, según datos publicados por la FAO, fue el país productor con mayor superficie cultivada, 65.000 ha, en 2011, seguido por España, con aproximadamente 26.000 ha, lo que le convertía en el segundo país transformador de tomate. En la campaña 2012 se produjo un descenso generalizado de superficie dedicada al cultivo en toda la

Unión Europea, que en el caso de España fue de un 18%, unas 4.000 ha menos (FAOSTAT, 2011).

España es uno de los principales países productores y exportadores de frutas y hortalizas a la Unión Europea, es la principal fuente suministradora de tomate procedente de los cultivos de invernadero en los meses de otoño-invierno (Pérez J.L. *et al.*, 2002), esencialmente de Almería, complementado por Marruecos que ya en el 2007 exportó más de 300.000 t a la Unión Europea, siendo Holanda el mayor exportador en los meses de primavera y verano (Reche, 2009).

Aunque España se considera el principal país europeo productor de tomate fresco en la Unión Europea (INFOAGRO, 2009), y teniendo en cuenta que en 2001 se llegaron a exportar 6.500 t de producto fresco, que era más del 500% sobre el máximo alcanzado en la última década, con 977 t en 2004 (ODEPA, 2012), se ha evidenciado una reducción de las exportaciones con altibajos importantes, que se pueden reflejar, por ejemplo, en la reducción del 98% de lo exportado en 2011, con 790 t, con relación a lo realizado en 2010 (**Figura I.1**).



**Figura I.1.** Volumen exportado de tomate fresco español (ODEPA, 2012).

Según fuentes de FEPEX (2014), el balance de exportaciones, de tomate en particular y de hortalizas en general, descendió en 2012 con respecto a los montantes de 2011, observándose un repunte en el 2013 (**Tabla I.2**). Y esto mismo ha ocurrido a nivel de importaciones, con una tendencia similar (**Tabla I.2**). Así mismo, dentro de las comunidades autónomas aparece como con mayor volumen de exportación Andalucía, siendo Alemania el país de la Unión Europea que registra el mayor volumen de importación y los Países Bajos, del que se importa el mayor tonelaje de tomate, según las citadas fuentes de FEPEX.

**Tabla I.2.** Evolución de las exportaciones e importaciones españolas de tomate en la Unión Europea (Período 2011 a 2013) (FEPEX, 2014).

Año	Exportaciones (t)		Importaciones (t)	
	Tomate	Total hortalizas	Tomate	Total hortalizas
2011	959.008	2.055.802	142.893	1.111.809
2012	573.097	2.018.464	92.888	1.091.487
2013	640.306	2.200.710	106.278	1.127.224

Uno de los problemas al que se enfrenta el productor español es la competencia en los mercados internacionales, intensificándose en cada campaña, lo que repercute en los precios, lo que se agrava, al permitir la entrada incontrolada de frutos que ocasiona tendencia a la baja de los precios. Estando propiciado porque, en alguno de los países extracomunitarios exportadores, los agricultores no están sometidos a los controles rigurosos que se llevan en España, lo que obliga a buscar constantemente nuevos mercados y ofrecer a los consumidores alternativas de mejor calidad basadas en variedades más sabrosas (Reche, 2009).

En 2009, según datos del antiguo Ministerio de Medio Ambiente, Medio Rural y Marino, partiendo de las 54.000 ha de 2008 que conllevaban una producción de 3.922.500 t, se preveía un aumento de las superficies dedicadas globalmente al cultivo del tomate para 2009, y donde se llegaba a las 57.100 ha, de las que 20.000 ha estarían bajo invernadero. Estimándose, por otro lado, para tomate procesado una superficie de 35.833 ha que indicaban un aumento con relación a las 24.539 ha de 2008.

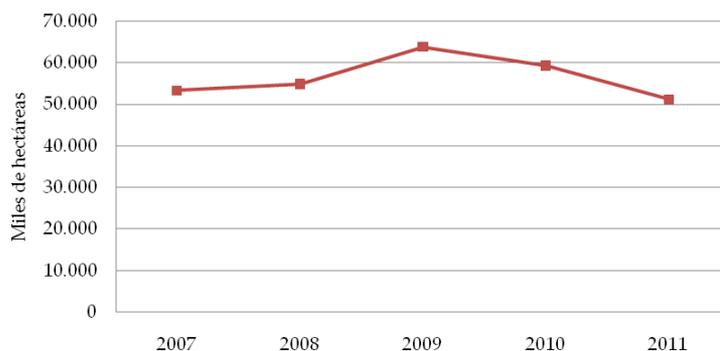
Por comunidades autónomas, en 2008, Extremadura era la mayor productora de tomate para conserva, con una extensión de 18.900 ha que producían 1.183.500 t, y donde se auspiciaba para 2009 un incremento de superficies que llegaría a las 27.150 ha. También en esa época se presentaban superficies de cultivo importantes para tomate procesado en otras comunidades como, Navarra con 1.600 ha, Castilla La Mancha, con 1.077 ha, y Andalucía con 2.174 ha.

Datos estadísticos del Ministerio de Agricultura sobre la modalidad de cultivo practicada (MAGRAMA, 2013), dan una visión muy real de la importancia del cultivo a nivel nacional (**Tabla I.3**).

**Tabla I.3.** *Distribución del cultivo de tomate en España conforme a su modalidad de cultivo en 2013 (MAGRAMA, 2013).*

Comunidad Autónoma	Secano	Regadío	Invernadero	Total
Murcia	-	88	1.739	<b>1.827</b>
Canarias	5	34	1.360	<b>1.399</b>
Andalucía	14	1.166	2.450	<b>3.630</b>
Valencia	120	303	175	<b>598</b>
<b>España</b>	<b>310</b>	<b>5.058</b>	<b>6.189</b>	<b>11.557</b>

A nivel nacional, de acuerdo con los datos obtenidos durante los años 2007/2011 referentes a superficie cultivada de tomate, fue en 2009 cuando se produjo un incremento de la misma (**Figura I.2**), llegando a valores de 63.800 ha con relación a años anteriores, observándose un descenso, hasta las 51.200 ha, en 2011 (MAGRAMA, 2011).



**Figura I.2.** *Evolución de la superficie de tomate cultivada en España desde 2007 a 2011 (MAGRAMA, 2011).*

En 2011, Extremadura fue la comunidad autónoma con mayor superficie dedicada al cultivo, en general, de tomate, totalizándose unas 19.590 ha, siguiéndole Andalucía, con 18.464 ha, Murcia, con 2.780, y Navarra, Cataluña, Castilla La Mancha, Canarias, Galicia y la Comunidad de Valencia, con menos de 2.000 ha cultivadas.

A nivel regional en los últimos años se ha producido un descenso notable de la producción al aire libre, por la gran incidencia de enfermedades producidas por

virus, en variedades de porte rastrero como en aquellas de aprovechamiento industrial. Y en los cultivos protegidos, en invernadero, y semiprotegidos, bajo malla, también ante el cierre de ciertas empresas locales, a lo que se ha unido la competencia de terceros países que producen con unos costes muy inferiores (López *et al.*, 2005d).

## I.2. ANTECEDENTES HISTÓRICOS DE LA ESPECIE: ORIGEN

El tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es una especie cuyo origen se localiza en la región de los Andes y de ahí, es llevado a México, donde parece ser que fue la cuna de su domesticación; los aztecas llamaban Xitomail, al resultado del cruce natural de especies genéticas de *L. hirsutum*, *chilense*, *peruvianum*, etc., las cuales dieron lugar a variedades traídas del Sur.

En el lenguaje Nahuatl, la palabra Tomatl se usa para designar una planta con frutos pequeños (tipo cereza), que fue descubierta por los conquistadores de México en 1503 (Vergani, 2002). Todas ellas de fenotipos de color verde y no autopolinizantes, siendo *esculentum* la única especie que se dispersó hacia diferentes lugares del mundo (Reche, 2009).

Según las últimas investigaciones, fue con Hernán Cortés, en el año 1519 con quien llega el tomate a España como una planta ornamental, a consecuencia del colorido de sus flores y frutos (Reche, 2009).

Su propagación continuó por el resto de países europeos, iniciándose por Italia, siendo éste uno de los países donde lo tomaban sazonado con aceite, sal y en donde Guilandinus, en la ciudad de Padua (Peralta y Spooner, 2007), introduce por primera vez el nombre de tomate llamándolo *Tomatl americanorum*.

De forma gradual y por muchos siglos, el tomate se empieza a extender por Francia y Portugal y más tarde por Oriente medio, África, Asia y China.

Y es en 1768, cuando los botánicos adoptaron para el tomate el nombre científico de *Lycopersicon* ya que según el pueblo inglés, se creía que su color rojo era señal de alerta, de que se trataba de una fruta venenosa por su calidad propia de la familia solanácea, por sus hojas punzantes y por pura superstición, lo cual hizo que se le nombrara como un "melocotón de lobo" (Peralta y Spooner, 2007).

El francés Andrieux-Vilmorin incluye por primera vez el tomate en un catálogo comercial en 1778 y en 1850 esta hortaliza ya formaba parte de la oferta de los mercados más importantes de las ciudades de Norteamérica (Vergani, 2002).

En Europa, durante el siglo XIX comienzan los procesos de mejora sistemática en diferentes variedades que se cultivaban, según los principios fundamentales de la genética de Mendel, y además se descarta la teoría en la que los científicos ingleses y americanos afirmaban que el tomate causaba cáncer, debido a los estudios posteriormente realizados acerca de sus propiedades antioxidantes (Jones, 1999).

Ya en el siglo XX es cuando tiene lugar la aparición de un gran número de variedades locales y surge el posterior desarrollo de empresas productoras de semillas de tomate como consecuencia de la mejora genética; todas ellas autógamas que facilitaban la polinización cruzada.

Pero es a finales del siglo XX cuando comienza realmente la verdadera época dorada del tomate con la aparición de las variedades “Long Self Life” (LSL) procedente de investigaciones israelitas (Reche, 2009).

### I.3. CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

Se trata de una planta perenne de porte arbustivo y con variedades tanto de crecimiento determinado como indeterminado. Puede crecer de forma rastrera, semierecta o erecta y se cultiva como anual, para consumo humano de sus frutos. Su taxonomía es la siguiente:

- Reino *Plantae*.
- División *Magnoliophyta*.
- Clase *Magnoliopsida*.
- Subclase *Asteridae*.
- Orden *Solanales*.
- Familia *Solanaceae*.
- Género *Solanum*.
- Especie *S. lycopersicum*.

Las variedades precoces de porte determinado suelen alcanzar una longitud de 1,2 m; las tardías, en cambio, casi siempre presentan un mayor crecimiento llegando incluso a varios metros de longitud. El hábito de crecimiento es muy diverso, siendo en su estadio juvenil erguidas y en su estadio adulto semierguidas o decumbentes (Smith, 1994).

### **I.3.1. Características de los órganos de la planta**

La planta está diferenciada en dos partes, subterránea, que abarca al sistema radicular hasta su entronque con el tallo principal, y aérea, en la que éste tallo con crecimiento sostenido durante bastante tiempo, sustenta, hojas, flores y frutos. Esta especie tiene la capacidad de emitir raíces adventicias en la superficie del tallo, por lo que ante problemas en la raíz se puede utilizar esta facultad para continuar el ciclo vital de la planta.

#### *I.3.1.1. Parte subterránea*

El sistema radicular está formado por una raíz principal, pivotante, si procede directamente de semilla, y otras raíces secundarias y adventicias, cuya penetración puede alcanzar más de 60-70 cm, aunque en sistemas especiales de cultivo, como en los enarenados, la mayoría de la masa radicular se encuentra en los primeros 30 cm debajo de la arena y dependiendo de las características físico químicas del suelo.

Al seccionar transversalmente la raíz se distingue la epidermis, donde se sitúan los pelos absorbentes, y el cilindro central, formado por el floema y el xilema.

Por tanto, la raíz tiene una doble función, por un lado sirve de anclaje y además permite el transporte de agua y la absorción de nutrientes, a partir de los pelos absorbentes que la constituyen (Nuez, 1995a).

#### *I.3.1.2. Parte aérea*

##### **I.3.1.2.1. Tallo principal**

La planta está constituida por un tallo principal de consistencia herbácea que se ramifica. Cuando está en crecimiento no es lo suficientemente rígido como para soportar el peso de las hojas, ramas secundarias y frutos por lo que necesita de otra

planta o alguna estructura para sostenerse. Por esta razón, es común ver diversas estructuras como tutores o espalderas en los cultivos de tomate con el fin de sostener la planta.

Según las formas de crecimiento, podemos diferenciar entre variedades de crecimiento determinado o limitado, donde las inflorescencias, en ramillete floral, se alternan cada dos o tres hojas, y que tras aparecer un número concreto de éstas, 6-8 normalmente, detiene el crecimiento; el brote terminal acaba en un ramillete a menos que se aproveche un brote lateral secundario que nace de las axilas de las últimas hojas, por debajo del racimo floral, lo que es importante a la hora de realizar las podas, ya que si no se tiene en cuenta las plantas quedan “ciegas”, no continuando su crecimiento (Smith, 1994; Reche, 2009).

Las variedades de crecimiento indeterminado poseen un brote terminal o meristemo apical que confiere crecimiento continuo al tallo. Las inflorescencias suelen aparecer cada 3-4 hojas y las plantas continúan creciendo porque el brote principal no acaba en inflorescencia. En este tipo de plantas siempre suele haber un brote, por encima del racimo floral, que da origen a nuevas hojas, brotes y racimos. La mayoría de las plantas cultivadas en invernadero poseen crecimiento indeterminado (Reche, 2009).

#### I.3.1.2.2. Hojas

La hoja de tomate está formada por numerosos folíolos, en los cuales el limbo es la parte suculenta plana, llamándose haz la parte superior y envés la inferior; la extensión más o menos cilíndrica que une la hoja con la planta es el pecíolo.

Nacen de forma alternada en el tallo, son bipinatisectas, lobuladas y pecioladas insertas en los nudos del tallo, compuestas por un número variable de folíolos laterales, también peciolados, de diferente tamaño y que oscilan entre 8-18 en función de las variedades y su ubicación sobre la planta.

El tejido parenquimático o mesófilo queda recubierto por una epidermis superior y otra inferior, ausentes de cloroplastos, conteniendo la inferior un alto número en estomas. Dentro del parénquima, la zona superior o en empalizada es rica en cloroplastos. Los haces vasculares constan de un nervio principal, son prominentes sobre todo en el envés de la hoja y su estructura es similar a la del tallo (Nuez, 1995a).

Su función es la de llevar a cabo la respiración, transpiración y actividad clorofílica.

#### I.3.1.2.3. Flores

En cuanto a las flores, éstas son hermafroditas, actinomorfas y péndulas, de 1 a 2 cm de largo y color amarillo brillante. Constan de cinco o más sépalos e igual número de pétalos y estambres soldados.

Las flores se agrupan en inflorescencias en racimo y lo normal es encontrar de 3 a 10 flores por racimo en las variedades comerciales de tomate.

La corola de la flor es tubulosa, de color amarillo, rotada, con el tubo corto y está dividida en 5 o más lóbulos, con numerosos pelos glandulares en la cara dorsal. Es monoica por poseer los dos sexos en la misma flor y posee cinco o más estambres adheridos al tubo de la corola, de filamentos cortos y anteras conniventes, dehiscentes por hendiduras longitudinales (Atherton y Rudich, 1986).

#### I.3.1.2.4. Frutos

El fruto de tomate es una baya bi o plurilocular en variedades cultivadas, siendo lo más habitual poseer entre 5-9 lóculos ; éste se desarrolla a partir de un ovario de unos 5-10 mg y alcanza un peso final en la madurez que oscila entre los 5 y los 500 gramos, dependiendo de la variedad y las condiciones de desarrollo.

La maduración de los frutos puede no ser uniforme, pudiendo presentar falta de homogeneidad y de intensidad del color en algunas zonas, sobre todo en la proximidad de la zona del pedúnculo floral.

El fruto de tomate tiene el cáliz con 5 a 7 sépalos. Aún en la misma planta y en el mismo ramillete puede haber frutos con diferente número de sépalos.

El pedúnculo del fruto mide entre 3-4 cm y cerca de 0,5 cm de grosor. Al dar un corte transversal al fruto se distingue la piel o pericarpio delgado y un mesocarpio gelatinoso, con un número variable de lóculos formado por la placenta y numerosas semillas, encontrándose dichas divisiones o lóculos en número variable de 2, 3, 4 ó más.

Al principio, cuando el fruto es aún verde tiene una epidermis muy gruesa que disminuye de grosor según madura.

El color, al igual que en otras especies vegetales, y tan fundamental como sucede en hortalizas ornamentales (López *et al.*, 2008b; López-Marín *et al.*, 2010b), varía cuando se trata del fruto maduro, cambiando del amarillo al rojo en función de la proporción de dos pigmentos: caroteno (amarillo) y licopeno (rojo). La forma es diversa: globosa, aplanada o piriforme, aplanada, esférica asurcada o lisa.

Desde la fecundación de la flor hasta que el fruto está maduro suelen transcurrir entre 2 y 2,5 meses. Dicho proceso está influenciado por las condiciones ambientales, la posición del racimo y el tipo de cultivo, y la coloración puede no ser uniforme, ya que los tomates pueden poseer hombros verdes, que se intensifican según la exposición al sol (Reche, 2009).

El desarrollo de los frutos tiene lugar en varios períodos de crecimiento coincidiendo el último con un desarrollo lento, de unas dos semanas, en donde el aumento en el peso del fruto es pequeño y donde se producen los cambios metabólicos propios de la maduración.

Actualmente, existe una oferta de tipos de tomate muy amplia ya que nos encontramos con frutos que difieren en el aspecto exterior (forma, tamaño y color) e interior (sabor, textura, dureza), variedades que van destinadas para consumo en fresco o procesado industrial y dentro de todo ello, muchas especializaciones del producto.

La mayoría de las plantas de tomate cultivadas en invernadero para consumo en fresco son variedades híbridas procedentes de mejora genética, dotadas de uniformidad de planta y frutos, alta producción y calidad, y con posesión, algunas de ellas, del carácter LSL y resistencia a determinadas plagas y enfermedades. Todo el conjunto de características demandadas tanto por los agricultores como por el consumidor crean una gran versatilidad del producto destacando el sabor y color como unas de las más apreciadas según las preferencias personales y las costumbres de cada uno.

Pertenecen al grupo LSL, los frutos de tomate recolectados en rojo anaranjado-rojo, de superficie lisa y con un sabor medio y muy jugoso. De calibre G, M y MM y peso entre 130 y 180 g. Son frutos que poseen la ventaja de ser recolectados en períodos más largos y ser exportados a países más lejanos. Su tiempo de conservación es mayor y mantienen sus características iniciales sin

perder la frescura ni la consistencia. Un ejemplo de ello es la variedad “Daniela”, que además fue la primera en cultivarse en invernadero (Reche, 2009).

#### A) Desarrollo

El tiempo necesario para que un ovario fecundado se desarrolle y dé lugar a un fruto maduro es de 7 a 9 semanas, en función del cultivar, la posición en el racimo y las condiciones ambientales.

El crecimiento del fruto puede dividirse en tres períodos; un *primer período* de crecimiento lento, que dura 2 ó 3 semanas, alcanzando el fruto al final de esta fase, un peso inferior al 10% del total final. Durante este período tiene lugar la división celular y en mucho menor grado el crecimiento de células.

En el *segundo período* el crecimiento es rápido durante 3-5 semanas y se prolonga hasta el inicio de la maduración. Hacia la mitad de este período (20-25 días después de la antesis), la velocidad de crecimiento es máxima (Ho *et al.*, 1983) y, al final del mismo, el fruto ha alcanzado prácticamente su máximo desarrollo; se produce un aumento del tamaño de las células preformadas y comienza a acumularse almidón, ácidos orgánicos y otros componentes que, posteriormente, darán lugar a las características típicas del fruto maduro.

Finalmente hay un *período de crecimiento lento*, de unas dos semanas, en el que el aumento en el peso del fruto es pequeño pero se producen los cambios metabólicos propios de la maduración. La importación de asimilados por el fruto termina unos 10 días después del inicio del cambio de color, ya avanzado el proceso de maduración, a través de la capa de abscisión que se forma entre el cáliz y el fruto.

Los frutos verdes contienen clorofila y son capaces de fijar CO<sub>2</sub>, pero la actividad fotosintética neta es muy reducida; por tanto, la cantidad de fotoasimilados fijada por el fruto es sólo el 10-15% de la necesaria para su crecimiento. Probablemente, la contribución más significativa de la luz y de la fase oscura es conservar el carbono liberado por la respiración destinado para la síntesis de proteínas y pigmentos durante la maduración (Ho *et al.*, 1983).

La velocidad de desarrollo del fruto está fuertemente afectada por la temperatura, ya que ésta influye en su velocidad de respiración y síntesis de almidón y, en consecuencia, en la velocidad de importación de asimilados.

Esta mezcla de metabolitos que están asimilados por las hojas, llega a los frutos, donde la demanda es mayor que por ningún otro órgano en crecimiento. Tanto la velocidad de exportación como el reparto de los asimilados de carbono en la planta resultan afectados por la velocidad de crecimiento del fruto. Pudiendo variar, al igual que en determinadas especies ornamentales, el contenido de los sumideros en función de la longitud del día en la que crece la planta (López *et al.*, 2005c).

Durante este proceso, el contenido en materia seca, referido al peso fresco, disminuye, debido a la dilución producida por la rápida incorporación de agua.

El almidón comienza a acumularse en el tejido locular y placentario e inicia su hidrólisis cuando el crecimiento del fruto alcanza su máximo.

También aumenta el contenido en ácidos orgánicos, principalmente ácido málico y ácido cítrico, junto con el nitrógeno, el fósforo y el potasio, el cual representa el 85% de los cationes en el fruto y su acumulación es proporcional a la de materia seca. El aumento en el suministro de potasio incrementa la acidez y el color del fruto (Nuez, 1995b).

## B) Maduración

Durante la maduración del tomate, una vez que ha alcanzado su tamaño final, podemos distinguir varios estadios: verde inmaduro (fruto completamente verde y que si se separa de la planta no llega a madurar totalmente), verde maduro (con algún tinte amarillento), pintón (verde con algunas manchas naranjas externamente y naranja en el mucílago interior), naranja y rojo.

Conforme va madurando el fruto de tomate y va cambiando su color de verde a rojo, se producen una serie de procesos que conducen a un aumento del contenido en azúcares, una disminución de la acidez, pérdida de firmeza e incremento de los aromas por la producción de sustancias volátiles.

Durante dicho proceso, las paredes celulares del fruto se van degradando de forma progresiva debido, en gran parte, a la acción de la poligalacturonasa, provocando un ablandamiento del fruto.

El contenido en azúcares del fruto va aumentando desde verde inmaduro a rojo, aumentando el °Brix un 60%, principalmente en el paso de verde inmaduro a

pintón, lo cual puede ser debido sobre todo al aumento en fructosa (Davies y Kempton, 1975).

En cuanto al contenido de ácidos orgánicos, alcanzan su valor máximo entre los estadios verde a maduro-pintón (Opiyo y Ying, 2005) para después decrecer alrededor de un 40% en el fruto totalmente maduro.

La distribución de ácidos orgánicos y azúcares en el fruto no es homogénea. Los azúcares se acumulan preferentemente en el pericarpio mientras que los ácidos lo hacen en el mucílago que rellena las cavidades locales (Escobar *et al.*, 2012).

Por otro lado, se produce la acumulación y transformación de cloroplastos en cromoplastos; los cloroplastos pierden la clorofila y la estructura típica de las tilacoides desaparece, reemplazada por un sistema de membranas internas con un aspecto ondulado característico. El pigmento rojo, licopeno, se acumula en asociación con este sistema de membranas interno a medida que se desarrolla el cromoplasto, y el  $\beta$ -caroteno, que tiene una solubilidad diferente, se acumula en glóbulos lipídicos (Nuez, 1995b).

### C) Producción

En cuanto a los rendimientos medios, existe una gran variabilidad, ya que dependen principalmente de la duración del ciclo de cultivo, de la fertilidad del suelo, de la densidad de plantación, tipo de entutorado, incidencia de plagas y enfermedades, del número de racimos por planta, si es ciclo corto o largo, variedad cultivada y si es cultivo al aire libre o en invernadero. Las producciones medias por hectárea están en torno a 16.000 Kg ha<sup>-1</sup> si se trata de cultivo de secano, en el caso de regadío al aire libre la cifra alcanza los 60.000 Kg ha<sup>-1</sup>, alcanzando el cultivo protegido un rendimiento medio entre 90.000 y 100.000 Kg ha<sup>-1</sup>. Dentro de este rango productivo se encuentra la Región de Murcia, en la que se obtuvieron unos 98.212 Kg ha<sup>-1</sup> en 2011 (MAGRAMA, 2011).

Aunque en algunas provincias, debido a sus condiciones climáticas y de suelo pueden lograr rendimientos más elevados, como ocurre en Extremadura, para tomate de aprovechamiento industrial, que en ese mismo año alcanzó valores de 220.000 Kg ha<sup>-1</sup>. Al igual que en cultivo protegido en el que se pueden conseguir entre 150 ó 250.000 Kg ha<sup>-1</sup>, dependiendo de las condiciones productivas que se utilicen.

#### I.4. FACTORES AMBIENTALES QUE INFLUYEN EN EL COMPORTAMIENTO DE LOS ÓRGANOS DE LA PLANTA

No todas las especies hortícolas presentan los mismos requerimientos ambientales para crecer y fructificar, debiendo conocerse sus limitaciones y factores bióticos y abióticos que intervienen en ello.

Tanto la temperatura del suelo como la del ambiente tienen gran incidencia en los procesos de germinación, floración, fecundación y maduración del fruto.

Las tres variables ambientales más importantes a tener en cuenta, son: temperatura, humedad, y radiación luminosa (Reche, 2009).

##### I.4.1. Temperatura

Dependiendo de la época de plantación, la planta está sometida a variaciones sensibles de temperaturas. En ciclos de primavera cuando el cultivo se inicia en diciembre o enero, las heladas o la inversión térmica pueden llegar a afectar al desarrollo de tallos y hojas. También los excesos de temperatura que se inician a principios de primavera van a influir en el desarrollo de la planta, al igual que en otras solanáceas, afectando los procesos de floración y fecundación (López-Marín *et al.*, 2011).

Así, el tomate, de la misma forma que otras especies (Balenzategui *et al.*, 2003) es sensible a las bajas temperaturas durante todos los estados de desarrollo, incluyendo la germinación de las semillas, etapas tempranas y tardías del crecimiento vegetativo y la reproducción (Foolad y Lind, 1998).

Las condiciones climáticas desfavorables para el cuajado del fruto inciden en su calidad. Las temperaturas bajas inducen frutos irregulares con mal color y de maduración lenta (Castilla, 1995).

La temperatura mínima del suelo para la etapa de germinación es de 10°C, mientras que la óptima se encuentra entre 20 y 30°C (Escaff *et al.*, 2005). Según Jones (1999) las temperaturas entre 21-29,5°C de día y, entre 18,5-21°C de noche, permiten un óptimo crecimiento de la planta de tomate.

La polinización es otra etapa crítica que necesita temperaturas específicas, ya que para que sea efectiva requiere de 13-24°C en el día y 15,5-18°C en la noche (Jones, 1999).

En climas mediterráneos y en cultivo en invernadero, temperaturas diurnas alrededor de 11°C permiten la fecundación con polen viable; algunos problemas en ésta pueden derivarse si el ambiente tiene una humedad relativa elevada, al no poderse trasladar fácilmente los granos de polen.

Se han descrito varios efectos de las temperaturas frías en tomate: Kamps *et al.* (1987) indicaron que las temperaturas sub-óptimas producen una reducción del vigor, baja producción, incremento de la duración de la temporada de crecimiento, deformación y caída de sus hojas.

En cuanto a los procesos de desarrollo del polen, germinación y desarrollo del tubo polínico, la temperatura óptima es de 21°C, viéndose retardados al superar o disminuir esta temperatura.

En la polinización y en la fecundación también se provocan serios problemas con temperaturas por debajo de los 10°C (Nuez, 1995a).

Para una eficaz fecundación se necesitan temperaturas diurnas entre 23 y 26°C y entre 15 y 18°C durante la noche. Por encima de los 35°C la viabilidad de los óvulos fecundados se ve afectada.

Por tanto, la temperatura óptima del ambiente ha de estar comprendida entre los 20 y 22°C. Si son superiores a 30-32°C se retrasa considerablemente la floración, se produce la caída de flores y se reduce el cuajado (Reche, 2009).

Además, la exposición a temperaturas menores a 12°C, también afecta a la exportación de asimilados de las hojas, retrasando el crecimiento de las plantas (Nuez, 1995b).

Owens (1996), determinó que otro de los efectos de la exposición a bajas temperaturas, es la reducción de la tasa de fotosíntesis, lo que conduce a una absorción de luz excesiva que supera la capacidad de los fotosistemas, con lo cual la planta no es capaz de disipar la energía recibida en exceso, llegando con esto a la oxidación de moléculas importantes, particularmente lípidos.

Cuando el fruto comienza a madurar, el tomate prefiere, temperaturas comprendidas entre los 18 y 22°C. Si aumentan por encima de los 30°C o por debajo de 10°C, los frutos al madurar adquieren color amarillento (Reche, 2009).

### I.4.2. Humedad

El agua de riego es imprescindible para la planta de tomate al ser un componente esencial de sus tejidos. Hoy en día con el empleo de la fertirrigación es aun más importante al vehicular las aportaciones nutritivas necesarias para tener un buen comportamiento agronómico. Aporta la humedad exigida para su crecimiento y desarrollo. Existen además modelos de evapotranspiración que permiten ajustar las necesidades de la planta, no sólo en cultivo al aire libre (Contreras *et al.*, 2006), sino cuando se trabaja en contenedor o hidroponía (Ochoa *et al.*, 2009).

En la planta de tomate cerca del 95% de su peso total es de agua. El consumo de agua por kilo de fruto producido nos da idea de su importancia para las plantas, estimándose unos 8.000 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> el consumo medio de un cultivo en invernadero.

Una humedad excesiva tiene efectos negativos en este tipo de cultivo: una humedad relativa alta, superior al 85-90% reduce la transpiración de las hojas derivando la presión del agua hacia los frutos, con el consiguiente agrietado.

También dificulta la polinización al apelmazarse los granos de polen y exponer los frutos al ataque de enfermedades aéreas, principalmente producidas por hongos, como botritis, mildiu, oidio, etc.

Si dicho exceso de humedad está en el suelo se crean encharcamientos, con posible riesgo de asfixia de raíces que contribuye al decaimiento y muerte de las plantas.

Por el contrario, si la humedad es escasa y falta en el estigma, los granos de polen no germinan, la planta no crece y se endurecen sus órganos.

Con humedades menores del 5%, la planta transpira en exceso, con el peligro de provocar estrés hídrico, se reduce la fotosíntesis y la nutrición, se producen frutos pequeños y deformes, y el polen no queda fijado en el estigma del pistilo, produciéndose fallos de fecundación (Reche, 2009).

El cultivo del tomate exige una humedad ambiental media del 65 al 75%, siendo el 60% la humedad óptima durante la polinización, aunque a lo largo del ciclo vegetativo la humedad relativa en el interior del invernadero puede variar entre el 40 y el 85% (Reche, 2009).

### I.4.3. Radiación

La radiación, junto con la temperatura y la humedad, son las variables meteorológicas de mayor importancia para la planta.

La radiación influye en el fotoperíodo, es decir, en la reacción e influencia que tiene la duración del día sobre las plantas, principalmente sobre el momento de la floración; siendo la zona mediterránea de gran interés por su extensión, y muy aprovechado además para otros cultivos hortícolas como los ornamentales por encontrarse en la floración el mayor exponente de resultados (López *et al.*, 2006; López y González, 2006). Y aunque el tomate es una planta neutra y no es muy exigente en luminosidad, cuando ésta es escasa durante los meses de otoño-invierno tiene influencia no sólo en el crecimiento de la planta, sino en todo el proceso de apertura de la flor, en la fecundación, en la viabilidad del polen, y en la maduración y coloración del fruto (González *et al.*, 2004).

También la falta de luz, provocada por exceso de sombreo en invernaderos cubiertos con plástico muy viejo o sucio, tiende al ahilamiento de las plantas con alargamiento de los entrenudos de las hojas, sobre todo en los primeros estadios vegetativos, produciéndose, además aborto de flores, frutos huecos y manchas en los frutos maduros, con tendencias similares a como ocurre en pimiento (López-Marín *et al.*, 2011).

La falta de luz unida a temperaturas altas puede causar el crecimiento anormal del estilo de la flor, dificultando la fecundación.

El exceso de luz derivado de una gran presencia de radiación también afecta el rendimiento y la calidad de la producción, al igual como en otras solanáceas como el pimiento en invernadero (López-Marín *et al.*, 2011).

Los niveles altos y continuos de radiación contribuyen a la reducción del crecimiento de las hojas (Reche, 2009).

Se trata por tanto, del primer parámetro ambiental para evaluar la aptitud climática de una región para el cultivo. La radiación total diaria va a estar determinada por la duración del día y la radiación solar global recibida sobre la superficie horizontal a lo largo de las horas diurnas.

En días soleados, con una atmósfera muy transparente, el porcentaje de radiación directa puede alcanzar, como máximo, valores en torno al 90% de la radiación global diaria; pudiendo llegar al mediodía al 92%, de la intensidad de

radiación, como la más elevada, cuando el sol alcanza su mayor elevación (Castilla, 2005).

En días totalmente nublados, el porcentaje de radiación total directa respecto a la radiación global es prácticamente nulo.

Al atravesar nuestra atmósfera, aun con muy buen tiempo, esta radiación es atenuada y modificada, debido a la presencia de vapor de agua, óxidos de nitrógeno, ozono, oxígeno y otros gases, lo que implica que una parte importante de esta radiación es dispersada, pudiendo recibirse como radiación difusa.

Por tanto, debido a la absorción y dispersión de la misma, por la atmósfera, la intensidad de dicha radiación es menor que la constante solar, estimándose que no supera el 75% de la misma, en condiciones normales (Monteith *et al.*, 1990).

Los valores de radiación global se miden, por convención, sobre una superficie horizontal, admitiéndose como norma general que el 48% de la radiación global es de tipo PAR (radiación fotosintéticamente activa) (Hanan, 1998).

Según la latitud del lugar, la radiación global varía con mayores diferencias en invierno que en verano, y en el tiempo a lo largo del año, donde las variaciones producidas dependen de la irradiancia (intensidad de luz) y de la longitud del día, siendo mayores en los meses de verano que en los de invierno (López *et al.*, 2006; López y González, 2006).

En el interior de los invernaderos, la radiación global interviene sobre la planta, afectando a la fotosíntesis, al fotoperiodismo (duración del período luminoso en el día), al fototropismo, a la fotomorfogénesis, a la transpiración, etc. También actúa sobre el balance de energía del invernadero, influyendo en las temperaturas del suelo, del agua, del aire, de las plantas y de los objetos que absorben las radiaciones.

Por tanto, las condiciones de radiación solar en invernadero son muy importantes desde el punto de vista productivo, no sólo cuantitativamente sino también cualitativamente. La primera alteración que genera el invernadero sobre los parámetros microclimáticos, es una reducción de radiación solar (Castilla, 2005).

Además, la calidad de la radiación también puede verse afectada de forma significativa por las características radiométricas de la cubierta del invernadero, repercutiendo en la conducta de los cultivos, principalmente en cuanto a la eficiencia de uso de la radiación y a sus efectos fotomorfogénicos (Baille, 1999), e

influyendo sobre el comportamiento y la evolución de los insectos y microorganismos presentes en el invernadero (López *et al.*, 2005a; López-Marín *et al.*, 2010a).

#### 1.4.3.1. Tipos de radiación

En cuanto a su manejo en invernaderos, las propiedades radiométricas más importantes de los filmes plásticos son su transmisividad a la radiación solar en sus diversas bandas (UV, PAR y NIR), y a la radiación IR larga (radiación terrestre). También son importantes sus características de reflectividad y absorptividad

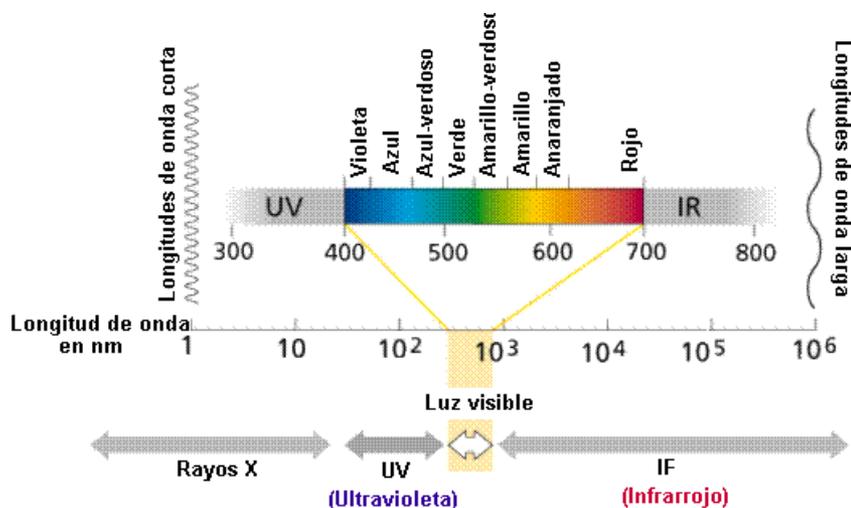


Figura I.3. Rangos de clasificación de la radiación (Díaz *et al.*, 2001).

La mayor parte del flujo de energía solar global a nivel de superficie terrestre (99%) está comprendida entre 300 y 2.500 nm, distinguiendo tres categorías de radiaciones en función de los intervalos de longitud de onda que abarcan (Figura I.3).

##### 1.4.3.1.1. Ultravioleta

La Radiación ultravioleta (UV) es la de menor longitud de onda, por debajo de 380 nm, y por tanto la más energética. Debido a su alta energía, es la más

perjudicial para el filme, ya que rompe las cadenas moleculares, provocando así la degradación del mismo (González *et al.*, 2003a; López *et al.*, 2003).

Dentro del espectro de la radiación UV se pueden distinguir dos partes:

**-Ultravioleta A (UVA):** Es la zona de menor longitud de onda (más de 320 nm), la más energética, y la que produce la degradación y rotura de los plásticos.

**-Ultravioleta B (UVB):** Es el rango de longitud de onda donde se localiza la visión de los insectos (290 a 320 nm). La absorción de esta longitud de onda, puede dejar desorientados a los mismos, por lo que sirve para evitar la propagación descontrolada de ciertos insectos que funcionan como vectores de algunos virus (Antignus *et al.*, 1998; López *et al.*, 2005a; López-Marín *et al.*, 2010a). También es la radiación que necesitan ciertos hongos, como *Botrytis cinerea*, para la formación del tubo polínico de sus esporas, al promover la síntesis de ergosterol (López-Marín *et al.*, 2009a).

La degradación de un filme en el invernadero se produce principalmente debido a la acción de este tipo de radiación al desestabilizar el polímero (fotodegradación), junto a la acción de otros factores como otras variables climáticas, como la temperatura, principalmente. Contribuyendo a ello también distintos factores como la vida útil de los aditivos empleados, el espesor del filme y el manejo del invernadero, entre otros (Briassoulis *et al.*, 1997a; Briassoulis *et al.*, 1997b; Castilla, 2005).

Además, la exposición de los filmes a este tipo de radiación, va inevitablemente acompañada de pérdida del contenido de aditivos antioxidantes, que se consumen durante el proceso de degradación y de la aparición de instauraciones de radicales libres, generados por las reacciones de fotodegradación, cuyo incremento está estrechamente ligado a la pérdida de las propiedades mecánicas, y por tanto, con la rotura del filme (Rull y Marín, 2007).

#### I.4.3.1.2. Fotosintéticamente activa

La radiación visible al ojo humano, de 380 (violeta-azul) a 780 nm (rojo), es la más importante para el desarrollo de las plantas. Este intervalo incluye la **radiación fotosintéticamente activa (PAR)**, que es utilizada por la planta para realizar el proceso de la fotosíntesis (López, 2003) y supone del 45 al 50% de la radiación global recibida (Berninger, 1989).

Se pueden considerar tres bandas del espectro electromagnético comprendidas entre los 400-700 nm, dentro de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), la radiación morfogenéticamente activa (MAR) que corresponde a la radiación de la banda del azul comprendida entre 400-500 nm, la del rojo entre 655-665 nm y el rojo lejano entre 725-735 nm (Pérez *et al.*, 2006). Entre 500 y 630 nm se encuentra la de color verde que es la facultativa y puede derivarse hacia roja o azul por medio de fluorescencia (Salmerón *et al.*, 2006).

#### I.4.3.1.3. Infrarroja

La radiación infrarroja (IR) se puede dividir en dos partes:

**-IR corto:** Es la radiación IR que llega del sol, también conocida como **NIR (Near Infrared Radiation)**, y está comprendida entre 760 y 2.500 nm. Es la responsable del calentamiento del invernadero durante el día, sobre todo del filme de cubierta, la estructura metálica, las plantas y resto de elementos del cultivo. Su absorción evitaría, por tanto, dicho calentamiento de todos los componentes, disminuyendo la temperatura dentro del invernadero.

**-IR largo:** Es la radiación IR que emiten los cuerpos que han sido previamente calentados. La absorción de esta radiación por parte del suelo posibilita el mantenimiento de la temperatura bajo los plásticos, cuando no hay otra fuente de calor (durante la noche). Es lo que se denomina “efecto invernadero”.

Fuera del espectro visible, en el rango que va desde 780 a 5.000 nm, se encuentra la **radiación infrarroja de onda larga (IR)**, que es la responsable del calentamiento del suelo del invernadero y el comportamiento opaco del filme ante la pérdida de la misma, influye, por tanto, en el mantenimiento de dicho calor en el interior del recinto de cultivo (López, 2003).

Ya en el pasado, se observó que una planta se beneficiaba si las hojas superiores interceptaban una menor proporción de luz incidente y recibiendo las hojas inferiores una mayor proporción, de modo que se consiguiera una interceptación de luz más uniforme sobre el follaje. Esto se puede conseguir haciendo difusa toda la radiación entrante en el invernadero (Hemming, 2008).

La radiación difusa es capaz de penetrar más profundamente en un dosel vegetal de plantas en comparación con la luz directa (Young *et al.*, 1983; Hemming, 2008). Las ventajas de este tipo de luz, se pueden conseguir al final de primavera,

verano y principios de otoño cuando la luz natural tiene una componente mayor de radiación directa y cuando demasiada luz (directa) es indeseable para la mayoría de los cultivos.

Un material de cubierta perfecto, además de tener buenas propiedades aislantes, debería de permitir el 100% de transmisividad en el rango PAR (Papadakis *et al.*, 2000). Normalmente, un buen material de cubierta debe ser transparente al NIR de la radiación solar en ciertas épocas del año, menos en primavera-verano, y lo más opaco posible al IR largo, para tener un buen efecto invernadero. De igual manera, un buen filme de cubierta de invernadero debe ser difusor, y tener unas buenas características de aislamiento y comportamiento frente a la condensación.

## I.5. SISTEMAS DE CULTIVO PARA LA PRODUCCIÓN DE TOMATE

### I.5.1. Cultivo al aire libre

Desde la aparición de los plásticos de uso agrícola y la posterior adaptación como cubiertas de invernaderos, en las zonas con climatología invernal mediterránea como Almería, Murcia y Valencia, donde el aprovechamiento de los frutos de la producción hortícola es mayoritariamente en fresco, se ha reducido la extensión del cultivo al aire libre. Aunque otras innovaciones y sistemas de cultivo, como el uso de semiforzados, integrados por acolchados y tunelillos de semiforzado no visitables (López *et al.*, 2005b), han permitido el mantenimiento de superficies en épocas de producción intermedias entre la generada por los cultivos protegidos y la estrictamente realizada al aire libre sin, prácticamente, ayudas adicionales.

Sin embargo en zonas donde las condiciones más extremas durante los meses fríos no hacen muy aconsejable ni el cultivo protegido, pero gozan de primaveras y veranos calurosos y secos, se ha desarrollado con gran pujanza cultivos hortícolas al aire libre de aprovechamiento industrial (López *et al.*, 2005d). Destacando entre estas zonas Extremadura, Navarra, Castilla La Mancha, etc., donde estas superficies se consolidan o incrementan.

Para consumo en fresco de tomate, además de algunas variedades de porte indeterminado, que se cultivaban con el sistema de barracas, realizadas con cañas o

varas de avellano, también se crearon otras de porte rastrero que dieron buenos resultados productivos, como Baron, Duque, Condesa, etc. En ambos casos productoras de frutos redondos y de buena calidad, sufrieron un gran decaimiento y descenso de sus superficies de cultivo, al verse muy afectadas por enfermedades producidas por virus, como el Bronceado del tomate, y por plagas, como trips y moscas blancas, que en los dos casos son insectos vectores de la virosis citada y otras enfermedades producidas por hongos, como la botritis.

Su infraestructura de cultivo ha variado sobre todo en lo que a la aplicación del riego se refiere, al pasar de una práctica por surcos a localizado. No habiéndose introducido muchas más innovaciones tecnológicas, debido a los costes que conllevan y que no van acompañados de una mejora sensible de los rendimientos económicos, quedando relegados gran parte de ellos a cultivos de huerta tradicional.

El tomate para industria, sin embargo, además del riego, ha sido innovado bastante, y no solo con el material vegetal, de producción agrupada, incremento de su calidad, sobre todo en °Brix y contenido en fibra, sino con otros implementos, como los acolchados, últimamente incluso con la aplicación de filmes biodegradables (López *et al.*, 2007b), con los que se optimizan los rendimientos y la calidad de la producción. Además la mecanización casi total del cultivo ha permitido incrementar los beneficios económicos al reducir la necesidad de mano de obra. De su producción hay una pequeña parte que se dedica para consumo en fresco en mercados con un gusto particular por el sabor de las formas aperadas y que emplean en una gastronomía especial.

### **I.5.2. Cultivo protegido: Infraestructura del invernadero**

Podemos definir el cultivo protegido como un conjunto de técnicas agrícolas de protección especializadas, en donde se realiza un cierto control del medio edafoclimático con posibilidad de alteración del suelo, humedad y composición atmosférica, temperatura, viento, y radiación solar. Ello permite el cultivo de plantas que se ven rodeadas de un entorno natural modificado con el fin de permitir su crecimiento, prolongar el período de recolección, aumentar los rendimientos y mejorar su calidad, alterar los ciclos convencionales, estabilizar las

producciones y disponer de productos cuando hay limitación de la producción al aire libre.

Dentro de los factores con más repercusión sobre la actividad productiva de hortalizas destaca el clima, como principal responsable de la falta o el exceso de la radiación solar o humedad, las temperaturas extremas, el exceso de viento, la deficiencia de nutrientes, la presencia de malas hierbas y el inadecuado contenido en CO<sub>2</sub> del aire (Castilla, 2004).

Para cada especie vegetal existe un rango óptimo de cada parámetro ambiental, por lo tanto, es importante conocer el entorno que rodea a las especies hortícolas cultivadas en el invernadero, con el fin de proporcionarles valores climáticos adecuados que favorezcan su desarrollo normal de acuerdo con su microclima.

La planta de tomate, requiere, entre otros, de un contenido de humedad ambiental óptimo durante su ciclo vegetativo, el cual está influido por el procedente de la transpiración de las plantas, y repercute en la propagación o no de enfermedades; de igual manera, el suelo también necesita un determinado contenido de humedad para que las plantas sean capaces de absorber los elementos nutritivos disueltos en el agua, a través de las raíces. De igual forma, el suelo ha de tener una cierta temperatura, la cual varía según la fase de desarrollo de la planta; el calor del suelo permite llevar a cabo funciones vitales para la planta y facilita el desarrollo de la vida microbiana.

Otro factor a considerar es la intensidad lumínica, fundamental para que se pueda llevar a cabo la función clorofílica y los procesos de floración, fecundación y de maduración del fruto (Reche, 2009).

Para el cultivo de tomate bajo protección, está la modalidad propiamente dicha, que se realiza siempre bajo, y entre, una película continua de plástico, la cual se puede combinar con otros complementos, como dobles cámaras, pantallas térmicas, hidroponía, enarenado, etc. Y otra forma de cultivarlo es bajo mallas de polipropileno, con alta densidad de hilos por cm<sup>2</sup>, y que se practica para recolectar en otoño y hasta que las temperaturas bajan y se detiene el crecimiento de la planta y los procesos de maduración.

En el año 1958 se construyó el primer invernadero de plástico en España, concretamente en las Islas Canarias. Cinco años más tarde, se iniciaron los primeros

ensayos en la zona costera de Almería (Roquetas de Mar). Se adoptó el sistema “enarenado” procedente de la costa granadina (Pozuelo y La Rábida), donde se utilizaba una capa de arena en superficie que conseguía aumentar las producciones. Fue a partir de 1970 cuando los invernaderos experimentan su gran expansión. Así, apareció el invernadero tipo “Parral”, desarrollado a partir de la estructura procedente del cultivo de uva de mesa, a base de postes de madera y un tejido de alambre, al cual se le añadió un segundo tejido de alambre para sujetar las láminas de plástico que formaban el material de cubierta. Desde entonces la expansión de los invernaderos ha sido continua en extensión y calidad de los mismos.

Todo este espectacular desarrollo también tiene su lado negativo y es el fuerte impacto sobre el medio ambiente. Una elevada concentración de invernaderos además de riqueza también genera residuos que se incorporan al suelo, agua y atmósfera. Los materiales de cubierta son una parte importante de éstos. Los desarrollos de las nuevas formulaciones se dirigen hacia una mejora de las propiedades mecánicas y ópticas (Salmerón *et al.*, 2006; López *et al.*, 2008a), las cuales pueden reducir el volumen de residuos, mediante materiales más duraderos, y el uso de fitosanitarios (Fenoll *et al.*, 2007; Fenoll *et al.*, 2008), a través de plásticos fotoselectivos (Galindo, 2010).

La infraestructura de cultivo está compuesta, en general, por la estructura del invernadero, hoy en día metálica, el material de cubierta de toda la nave, los mecanismos del riego localizado y parrillas de mangueras de distribución del agua a través de gotero, acolchados, alimentadores de fertilizantes anexos, y otros elementos complementarios para el tutorado, aplicaciones sanitarias, elementos de ventilación, etc.

La tecnología permite, hoy día, cultivar en invernadero, siempre y cuando se climatice adecuadamente (López-Marín *et al.*, 2009b), cualquier especie hortícola en cualquier región del mundo ya que contribuyen de manera importante a la obtención de cosechas de gran calidad como consecuencia de la protección que ejercen contra condiciones climáticas adversas (sequías, heladas, vientos, granizos, etc.), que alteran la calidad de los frutos.

Esta característica ofrece un gran interés en aquellos cultivos de primor, destinados preferentemente, a los mercados internacionales que exigen calidad y que la pagan a precios elevados (Maroto, 2000); los desplazamientos de áreas de

producción en invernadero habidos en las últimas décadas del siglo XX son buena muestra de ello.

En EEUU se produjeron desplazamientos de cultivos en invernadero a California y Florida, desde las zonas de producción tradicionales (Costa Este) y desde Colorado, donde se había creado un sector importante por sus buenas condiciones de iluminación que incidían en una mejor calidad del producto (Nelson, 1985; Wittwer y Castilla, 1995).

En otros países, como Colombia, se han desplazado parcialmente algunos productores de clavel a otras áreas, por sus menores costes de producción y buena calidad (debido a sus condiciones climáticas), a pesar de sus altos costes de transporte. El desplazamiento de áreas de producción a regiones de clima más benigno posibilita el empleo de invernaderos menos sofisticados y, por tanto, de construcción más económica que permiten producir a costes más competitivos (Castilla *et al.*, 2004).

La tendencia a la supresión de fronteras políticas y geográficas, y la consecuente limitación de las barreras arancelarias para la exportación, implicará a largo plazo la prevalencia de las áreas hortícolas con mayor eficiencia productiva, que consigan adaptarse a los requerimientos del mercado (Castilla *et al.*, 2004).

Ante la necesidad de exportar, y dada la gran importancia que tiene el mercado exterior en los países donde el sector hortícola es notable, es de prever que en el futuro aumente la gran competencia internacional existente en este sector (Castilla, 2005).

A nivel mundial, la superficie cubierta por algún tipo de protección, varía entre cuatro y cinco millones de hectáreas. Si nos centramos únicamente en invernaderos de plástico, dejando a un lado protecciones de tipo acolchado, cubiertas y túneles bajos, la superficie actual, más o menos a escala mundial supera las 458.000 ha (**Tabla I.4**) centralizándose las mayores superficies en el sureste asiático, China con 200.000 ha y Corea con 27.000 ha, seguidos de la cuenca del Mediterráneo que ha pasado de 69.000 ha, a finales de los 80, a cifras que oscilan sobre las 130.000 ha.

En 1987, el área mediterránea seguía siendo líder a nivel mundial en cuanto a superficie de invernaderos se refiere, contando con 65.000 ha hasta llegar a las 144.000 ha en el año 2000.

En países como España, los invernaderos de plástico llegan a suponer el 99% de la superficie total, estimada en 47.700 ha en ese mismo año, duplicándose la superficie existente diez años antes (Castilla, 2004). Le sigue Italia, con 27.721 ha y Francia con una superficie de 9.200 ha, siendo Turquía y Marruecos, los países extracomunitarios con una mayor superficie de invernaderos, 14.000 ha y 10.000 ha, respectivamente (De León, 2009).

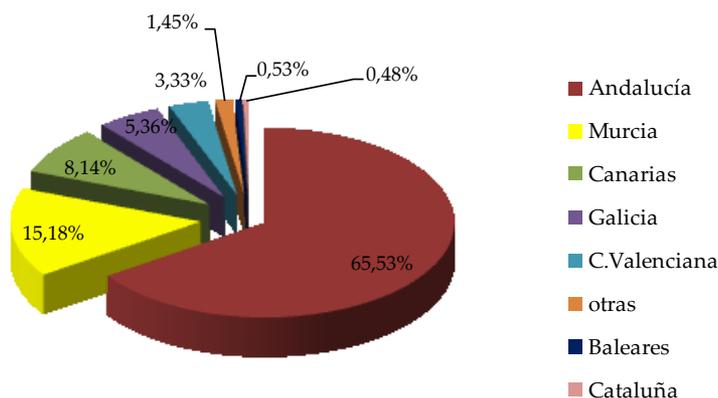
De las 66.000 ha de cultivos bajo invernadero que había en España durante los años 2006/2008, el cultivo de tomate pasó de ocupar una superficie que oscilaba entre las 18.000 ha y 20.000 ha a cifras inferiores a 18.000 ha del total de 62.505 ha de cultivos bajo invernadero, durante los años 2010/2011.

**Tabla I.4.** Superficie cubierta con algún tipo de protección a nivel mundial (ha) (Antón, 2004).

Tipo	EUROPA	AMERICA	ASIA	AFRICA	TOTAL
Invernaderos de plásticos	110.000	10.000	320.000	18.000	458.000
Invernaderos de vidrio	15.500	-----	-----	-----	15.500
Túneles bajos	90.000	9.000	192.960	11.050	303.010
Cubiertas	40.000	3.150	12.000	-----	55.150
Acolchados	380.000	200.000	3.500.000	15.000	4.095.000

De igual forma, se ha producido un ligero descenso del volumen anual recolectado en relación a la reducción de la superficie. La principal causa de ello, se debe a la competencia tan fuerte que existe con otros países productores (Reche, 2009).

A continuación se muestran valores de superficie cultivada de tomate en invernadero en las principales regiones y provincias españolas ocupando Andalucía más del 60% de la superficie protegida (**Figura I.4**). Le siguen Murcia y Canarias con un 15,18% y 8,14% respectivamente, siendo Cataluña la provincia con el menor porcentaje de superficie cultivada de tomate en invernadero respecto del total (MAGRAMA, 2011).



**Figura I.4.** Distribución porcentual de la superficie cultivada de tomate en invernadero en España durante los años 2010/2011 (sup. total=1.7812 ha) (MAGRAMA, 2011).

Las estructuras de los invernaderos pueden ser curvas, túneles, o con formas rectas, parrales, capillas, etc. Aunque se construyen naves de todas dimensiones, lo habitual es procurar unirlos, en forma de multitúneles o multicapillas, para incrementar el volumen de aire contenido y darle mayor estabilidad térmica al interior del recinto de cultivo. Para ello se busca elevar la canal de desagüe cenital lo máximo posible y que no ponga en riesgo la estructura. Diversos mecanismos de ventilación cenital y lateral paliar los valores máximos de las variables ambientales, aún a riesgo de disminuir la concentración de CO<sub>2</sub>. Prácticas como el encalado o en su defecto la colocación de mallas y pantallas de sombreado (López *et al.*, 2009), reducen los riesgos de estrés térmico en las plantas en épocas estivales (González *et al.*, 2003b). La orientación del eje mayor longitudinal es prioritaria para permitir la mayor incidencia de la radiación en el interior del invernadero.

## I.6. MATERIALES DE CUBIERTA

Actualmente, los materiales de cubierta son una parte esencial en la productividad de los cultivos en invernadero, de tal forma que con la ayuda de este tipo de filmes se consigue controlar de forma efectiva el lugar de plantación, creando un microclima en el que se modifican tanto las condiciones de temperatura y humedad relativa como la calidad y cantidad de radiación lumínica que llega a la planta. Lo que unido a la introducción de otras tecnologías de cultivo novedosas,

como por ejemplo el injerto, posibilitan la mejoría de los rendimientos y potenciar la localidad de la producción (López *et al.*, 2007a; Del Amor *et al.*, 2008).

Factores físicos como el espesor influyen en las propiedades de un filme, así como en su coste, siendo la tónica general utilizar entre 180 y 200  $\mu$  para cubierta de invernaderos, certificando un mínimo de uso de dos campañas. Desde el punto de vista económico es importante ya que el vestir y desnudar el invernadero supone un coste adicional notable.

En algunos filmes el color puede orientar sobre el tipo de material que es, por ejemplo, el amarillo que incorpora la adición de níquel y benzofenona indica que es un material de larga duración, pero sin aditivos termoaislantes a la IR larga.

Para conseguir estos objetivos es necesario dotar a los filmes plásticos de una serie de propiedades específicas (duración, efecto termoaislante, control de la condensación, reducción de enfermedades fitopatógenas, etc.) que le son suministradas mediante la incorporación de una serie de aditivos específicos a un polímero base (Díaz *et al.*, 2001).

La tarea de combinar un elevado número de sustancias de diferente naturaleza es bastante compleja si se quiere disponer de filmes que cumplan con los requerimientos exigidos por un mercado en constante evolución. Cada aditivo se debe estudiar particularmente y en combinación con los demás, ya que se pueden producir interacciones entre ellos: algunas positivas de efecto sinérgico, pero también son posibles otras claramente antagónicas, no deseadas (Díaz *et al.*, 2001).

Desde las estructuras más sencillas hasta las más sofisticadas, presentan problemas en mayor o menor grado relacionados con las elevadas temperaturas que se dan en el interior de los invernaderos y que no pueden ser solucionadas por los sistemas de ventilación, causando problemas de rendimientos y de calidad de la producción (López *et al.*, 2008a).

### **I.6.1. Propiedades mecánicas**

Junto a las propiedades radiométricas, ya comentadas, desde el punto de vista de su aplicación en invernaderos, encontramos también otras propiedades importantes de los filmes como son las mecánicas, la duración y su comportamiento ante la condensación de vapor de agua en la lámina, etc.

Las características mecánicas del filme dependen tanto de los factores intrínsecos (tipo de materia prima), como de las condiciones de su transformación en lámina (homogeneidad de reparto de aditivos, espesor adecuado y uniforme, etc.). La radiación solar ejerce una acción degradativa sobre el filme, alterando estas propiedades en función principalmente del tiempo de exposición.

Desde el punto de vista del agricultor, las propiedades mecánicas más importantes son: la resistencia a la tracción, al rasgado y al impacto (Briassoulis *et al.*, 1997a; Marco, 2001).

#### 1.6.1.1. Duración

Hace referencia al tiempo de vida útil durante el que conserva, al menos, el 50% de sus propiedades mecánicas iniciales (Díaz *et al.*, 2001).

Así por ejemplo, un filme que se degrada en el sur de España después de 2 a 3 años, permanece intacto en los Países Bajos durante 10 años o más (Zäh, 2007), ya que la degradación de dicho filme está influenciada por las condiciones climáticas, destacando la temperatura y la radiación principalmente, entre otras (Briassoulis *et al.*, 1997a; Briassoulis *et al.*, 1997b).

#### 1.6.1.2. Comportamiento frente a la condensación

Es otra de las propiedades de los filmes plásticos que permite, mediante la incorporación de aditivos antigoteo, un aumento de la tensión superficial en el filme de forma que el vapor de agua se condensa en forma de lámina, sin formar gotas, lo que genera un aumento de transmisividad a la luz respecto al mismo filme seco (Pearson *et al.*, 1995; Von Elsmer *et al.*, 2000). Si bien la duración del efecto suele ser menor a la vida útil del filme (Papadakis *et al.*, 2000).

Para mejorar su duración, se incorporan aditivos en el proceso de fabricación a fin de aportar determinadas cualidades o de mejorar las características existentes, sin afectar a la estructura molecular del polímero.

### 1.6.2. Tipos de materiales de cubierta

La importancia del material de cobertura en un cultivo bajo invernadero estriba en que constituye el agente modificador del clima natural de la zona en donde se vaya a construir el invernadero. La elección del material de cobertura

dependerá de una serie de criterios o indicadores, que interaccionados entre sí, ayudarán al agricultor a la adquisición del material apropiado.

El material ideal sería aquel que cumpliera los siguientes requisitos: buen efecto de abrigo, gran retención de calor, gran rendimiento térmico, gran transparencia a las radiaciones solares y gran opacidad a las radiaciones infrarrojas largas emitidas por suelo durante la noche (Matallana y Montero, 1995).

Por ello, se fabrican diferentes tipos de filmes capaces de crear un entorno propicio en el invernadero, de acuerdo con las exigencias edafoclimáticas del cultivo.

#### *1.6.2.1. Filmes normales*

Los filmes plásticos más empleados en invernaderos son el polietileno de baja densidad (PEBD) y el copolímero de etileno y acetato de vinilo (EVA) y sus derivados, incorporando frecuentemente en filmes multicapa varias capas de ambos materiales. Los filmes de cloruro de polivinilo (PVC) plastificado son poco empleados, en la cuenca mediterránea y casi en su totalidad en la región oriental asiática. Igualmente, son muy poco empleados los filmes de poliéster y fluoruro de polivinilo (PVF).

El *polietileno (PE)* es el plástico flexible más empleado actualmente para forzado de cultivos en invernaderos, túneles y acolchado, y se obtiene mediante la polimerización del etileno utilizándose en su fabricación procesos de alta presión y catálisis de radicales libres mediante peróxidos.

Es un plástico de bajo precio, con buenas propiedades mecánicas, y tiene facilidad para incorporar aditivos que mejoran sus prestaciones; por ello, el PE junto al polipropileno (PP) y el PVC, son los termoplásticos de más consumo.

Como ya hemos comentado anteriormente, el PEBD es el más usado como material de cubierta para el invernadero, ya que su transmisividad a la radiación solar es buena, aunque disminuye con el tiempo al ensuciarse y envejecer el filme.

Recientemente, desde la década de los 70 del siglo pasado, los filmes de polietileno se han convertido en un importante componente para la agricultura en los países del Mediterráneo. Dependiendo del tipo de cubierta y sus propiedades, estas películas son usadas para lograr varios objetivos como la reducción de los requerimientos de pesticidas (Fenoll *et al.*, 2007; Fenoll *et al.*, 2008), mediante la

absorción espectral selectiva para el control de plagas (Antignus *et al.*, 1998), la extensión del período de crecimiento y el retraso de la maduración del fruto, junto con el sombreo que proporcionan estos filmes de la radiación superior a la óptima de los cultivos del Mediterráneo durante el verano (Möller *et al.*, 2010; Raveh *et al.*, 2003).

Además, el PE es el material plástico que menos resistencia tiene a la rotura. No se oscurece como ocurre con el PVC y el poliéster, y debido a su gran transparencia, el PE transparente da lugar durante el día a un elevado calentamiento del aire y suelo del interior del invernadero.

Por otro lado, como aspecto negativo, cabe destacar que este tipo de filme tiene un comportamiento térmico mediocre, dada su transparencia al IR-largo, si no hay condensación de agua en él. Sin embargo, esto no supondría ningún problema a la hora de utilizarlo ya que mediante la incorporación de aditivos al filme mejoraría dicho comportamiento frente a la temperatura (Castilla, 2005).

En el EVA, las propiedades ópticas son ligeramente diferentes a las del polietileno, presentando en general una optimización con mayor transmisión PAR y una menor turbidez, y las térmicas son mejores. Esta formulación mejora las propiedades físicas del polietileno incluyendo su resistencia a la ruptura a bajas temperaturas y al rasgado.

De entre los filmes plásticos es el que presenta una mayor resistencia a los UV, pero son filmes con una excesiva plasticidad (cuando se estiran no se recuperan), gran adherencia al polvo, lo que puede provocar reducciones de hasta un 15% en transmisividad a la radiación solar, y son difíciles de lavar debido a su alta carga electrostática.

Aquellas láminas de copolímero EVA con un alto contenido de acetato de vinilo (AV), son las menos recomendables para cubierta de invernadero en lugares geográficos con excesiva luminosidad y temperaturas elevadas, por las grandes dilataciones que sufre este material (cuanto más porcentaje de AV mayor dilatación con calor), que luego da lugar a bolsas que se llenan de agua de lluvia y la rotura por el viento.

La principal ventaja que tienen es que todos ellos se pueden fabricar en espesores pequeños y permiten conseguir pesos muy bajos (menos de 200 g m<sup>-2</sup>) minimizando las cargas sobre la estructura del invernadero.

En condiciones normales son estables, debido a la electricidad estática acumulan polvo en su superficie, especialmente el EVA y el PVC, defecto que se intenta solucionar empleando aditivos anti-polvo. Su resistencia química es buena en general, aunque el empleo de algunos pesticidas puede reducir su duración (Fenoll *et al.*, 2008).

#### 1.6.2.2. *Filmes especiales: Aditivos*

Los aditivos pueden ser de procesado (que facilitan el proceso de transformación) o funcionales (que aportan determinadas cualidades al plástico), pudiendo llegar a alcanzar hasta el 10% del peso final del producto (Díaz *et al.*, 2001). Ampliándose estos trabajos no sólo en los materiales de cubierta sino también en los filmes de acolchado (Pablos *et al.*, 2010).

Los aditivos funcionales más importantes son los fotoestabilizadores, los antiácidos, los bloqueadores de la radiación infrarroja larga (rango 7 a 14  $\mu\text{m}$ ), los modificadores de la tensión superficial, los bloqueadores de la radiación infrarroja corta y los aditivos de luminiscencia (Díaz *et al.*, 2001). Los aditivos que bloquean los rayos ultravioleta de la radiación solar afectan al comportamiento de los insectos, al limitar su capacidad de visión, y al desarrollo de algunas enfermedades (hongos) (Antignus *et al.*, 1998; López *et al.*, 2005a; López-Marín *et al.*, 2010a).

Los fotoestabilizadores tienen como finalidad retrasar el envejecimiento de las láminas agrícolas, derivado de la degradación del polímero por la acción de los rayos UV del sol. Entre ellos cabe destacar: los complejos de níquel (quencher) y diversos compuestos orgánicos, entre los que se encuentran los derivados de benzofenona y los "hals" (acrónimo del inglés "Hindered Amine Light Stabilizers"), así como sus mezclas (Díaz *et al.*, 2001).

##### 1.6.2.2.1. *Filmes de larga duración*

Este tipo de PE tiene unas características idénticas al PE normal, a excepción de su duración, que es bastante mayor, debido a la incorporación de aditivos fotoestabilizadores que permiten la fabricación de filmes para prolongar su vida útil. Los PE de larga duración (PE-LD) también llamados PE-UV pueden alcanzar una duración de 3 campañas, en áreas de alta radiación anual (Castilla, 2005). Sus espesores habituales son alrededor de 180  $\mu$ .

#### I.6.2.2.2. Filmes térmicos

Estos filmes reducen el riesgo de heladas en los cultivos bajo cubierta plástica puesto que disminuyen las pérdidas de calor nocturnas por radiación y mantienen un nivel térmico más alto dentro del invernadero que los filmes normales.

Se ha comprobado que los cultivos protegidos realizados en túneles o invernaderos cubiertos con filmes plásticos opacos a la radiación IR media, tienen un mayor desarrollo vegetativo y dan cosechas más tempranas, de mayor calidad y más abundantes. Estas ventajas son mayores cuanto más opaco es el filme a ese intervalo de longitud de onda, y al mismo tiempo, más transparente a la luz visible, necesaria para el proceso fotosintético.

Puesto que el polietileno de baja densidad, que es el polímero más usado en filmes agrícolas, es muy transparente a esas longitudes de onda, la industria ha adoptado un serie de soluciones para dotarlo de mayor opacidad (López J.C., 2006).

Para mejorar la transmisividad al IR-largo de los filmes de PE normal se incorporan aditivos bloqueadores de IR-largo, obteniéndose el polietileno térmico o infrarrojo (PE-IR) que limita la inversión térmica en invernadero, respecto al polietileno normal. Estos aditivos reducen algo la transmisividad PAR.

Además, se están empleando aditivos (nuevas cargas térmicas) que tienen un poder difusor de la luz variable (Salmerón *et al.*, 2006).

Otra manera de aumentar la opacidad a la radiación IR-larga en los filmes EVA es aumentar la proporción de acetato de vinilo.

#### I.6.2.2.3. Filmes antitérmicos

La aplicación de los materiales de cubiertas que bloquean la radiación infrarroja próxima (NIR) puede considerarse como una alternativa para reducir las altas temperaturas producidas por dicha franja de radiación, frente a opciones tradicionales como el blanqueado y la utilización de pantalla aluminizada de sombreado con un 50% de apertura (López *et al.*, 2007c).

Los invernaderos situados en zonas de clima mediterráneo sufren temperaturas excesivas, sobre todo en los meses de primavera y verano. Para estos casos sería muy interesante disponer de filmes que regulasen la transmisión de radiación NIR en función de la temperatura, de manera que no dejaran pasar en el invernadero toda la energía térmica solar que llegase, y que esta transmisión

disminuyese según se fuese incrementando la temperatura, sin afectar a la radiación PAR, que en todos los casos debería ser máxima (Díaz *et al.*, 2001).

Desde hace unas décadas se investiga en la aplicación de aditivos, como son los pigmentos de interferencia, para modificar la radiación NIR incidente, siendo el papel de estos el de reflejar e impedir que llegue al interior del invernadero (López *et al.*, 2007c).

Según Stanghellini *et al.* (2011), el filtrado de la radiación NIR, reduciría la carga de energía del invernadero en un 50%, sin afectar a la fotosíntesis de los cultivos y sería de gran beneficio para los cultivos de climas cálidos.

Además, la transpiración también podría reducirse, por lo que se dispondría de un gran potencial para aumentar el uso eficiente del agua de riego de los cultivos.

En ensayos realizados se ha constatado que es positivo el efecto que producen estos materiales fotoselectivos, reduciendo la temperatura interna (García-Alonso *et al.*, 2006), pero existe el problema de que al variar dentro del espectro visible la franja correspondiente a la radiación NIR, es inevitable afectar a su vez la radiación PAR, lo cual puede llegar a perjudicar el desarrollo de las plantas y su posterior rendimiento (López *et al.*, 2007c; López- Marín *et al.*, 2009a).

Por tanto, la utilización de materiales de cubierta con filtros NIR incorporados que no reduzcan en exceso la radiación PAR, sería una solución ideal para disminuir las temperaturas estivales sin afectar a la conducta de las plantas (López *et al.*, 2008a) reduciendo costes de infraestructura y simplificando en gran medida algunas tecnologías de cultivo (López *et al.*, 2007c).

### *1.6.2.3. Filmes facultativos*

#### **1.6.2.3.1. Desarrollo de nuevas formulaciones**

La luz desempeña un papel fundamental en el crecimiento y desarrollo vegetativo de las plantas ya que estas dependen de la energía que les suministra la radiación solar para la fotosíntesis. Independientemente, existen también diversos efectos lumínicos que controlan la estructura y desarrollo de la planta. Al evaluar y modificar la cantidad, calidad, dirección y duración de la luz se pueden optimizar y controlar los complejos procesos del desarrollo (López *et al.*, 2009).

Los nuevos desarrollos se encaminan hacia materiales que mejoran sus propiedades mecánicas y hacia una selectividad de la radiación UV tanto en cantidad como en calidad para los materiales de cubierta (Kittas y Baille, 1998), mientras que para los de acolchado es al revés, buscándose el debilitamiento de sus propiedades mecánicas para facilitar su degradabilidad (López *et al.*, 2005b; 2007b).

#### I.6.2.3.2. Fotoselectivos

En los últimos años se han desarrollado en el mercado diferentes tipos de plásticos para la agricultura; son los denominados “fotoselectivos” ya que se caracterizan por su capacidad para modificar el espectro de la luz recibido dentro del invernadero y tienen por objeto influir en el comportamiento de las plantas o en el medio ambiente donde se desarrollan, a través de la filtración o intensificación de determinadas bandas de la radiación (González *et al.*, 2001).

La tecnología de transformación de estos filmes, el uso de distintos polímeros y la utilización de distintos aditivos, han favorecido que en la actualidad se puedan desarrollar materiales de cubierta, casi “a la carta” (López-Marín *et al.*, 2009a). Estos nuevos desarrollos basan su variabilidad en facilitar la transparencia u opacidad a ciertos rangos de la radiación incidente y acumulada del espectro solar, con lo cual, se potencia la vida útil de la cubierta, dificultan la condensación del vapor de agua procedente de la transpiración de la planta y del medio de cultivo, aumentan la inercia térmica nocturna evitando la inversión de temperaturas (Gálvez *et al.*, 2009), etc.

Se están evaluando e intentando introducir otros materiales, cuyo formulado repercute en la variación de la absorción de la radiación ultravioleta, UVA y UVB, para, además de potenciar su vida útil, eliminar en su fabricación la presencia de metales pesados como el níquel, e incidir en la alteración del comportamiento de la fauna y patogenicidad de los cultivos provocando la reducción de su actividad (López *et al.*, 2005a).

También se investiga en la PAR, aprovechando el conocimiento del mecanismo de fluorescencia, permitiendo la transformación de la radiación de banda verde en la roja (González *et al.*, 2004). En la radiación infrarroja, es más empleado el facultar su opacidad en la de longitud de onda larga para evitar el enfriamiento nocturno y pérdida de la inercia térmica existente en el suelo, siendo

más desconocido y dificultoso, el manejo de la cercana (NIR), para reducir las temperaturas estivales.

Por otra parte, las modificaciones realizadas en los distintos rangos de radiación no son meridianamente exactas, lo que provoca que el espectro de otro rango de radiación próximo se vea afectado, perjudicando la conducta de la planta. De aquí que la aplicación de la fotoselectividad debe ser revisada, ya que en diversas investigaciones realizadas se están encontrando variabilidades de comportamiento de las plantas no consideradas "a priori", pudiendo estar inferidas, incluso, por la presencia de variables y factores ambientales no consideradas, en determinadas situaciones, o desconocidas (López *et al.*, 2008a).

Por otro lado, en la zona del infrarrojo cercano (700–1.000 nm) se induce un alargamiento en la planta; además, estudios sobre la fotomorfogénesis han mostrado la gran influencia que ejerce la calidad espectral de la radiación sobre el crecimiento y desarrollo de las plantas. La relación de los flujos de fotones rojo/rojo lejano (610–700/700–800 nm) actúa sobre un alargamiento de los tallos, y en el rojo (610–700 nm) y azul (410–510 nm), es donde se concentra la mayor radiación aprovechada en fotosíntesis o radiación PAR.

Inicialmente, este tipo de filmes se basaban en el efecto "cascada" (fluorescencia) mediante aditivos de luminiscencia que convertían radiación PAR verde en azul y radiación infrarroja en PAR roja, pero hoy día existen filmes fotoselectivos que filtran la radiación selectivamente (Papadakis *et al.*, 2000).

Como ejemplo, cabe destacar el uso de aditivos conocidos como anti-blackening en este tipo de películas plásticas, permitiendo la modificación del espectro de la luz mediante el apantallamiento de la radiación UVB para evitar el ennegrecimiento de los pétalos de las flores (López J.C *et al.*, 2006).

Así se han formulado plásticos que permiten seleccionar longitudes de onda del infrarrojo y por tanto adaptarlas a las necesidades lumínicas de la planta durante su desarrollo fenológico, fomentando así los niveles de producción (González *et al.*, 2004; López *et al.*, 2009).

Hay muchos tipos de filmes fotoselectivos como son los *filmes antitérmicos o escudos térmicos estáticos* los cuales filtran la radiación NIR del espectro solar limitando la entrada de energía al invernadero, reduciendo la temperatura (Verlodt y Verchaeren 2000; Salmerón *et al.*, 2006).

Tienen aplicación en zonas de clima árido pero no se han extendido por su limitado efecto reductor de temperatura diurna (2°C de media) y alto coste.

*Los filmes termocrómicos o escudos térmicos dinámicos*, son otro tipo de filmes fotoselectivos que filtran la radiación NIR en función de la temperatura (Díaz *et al.*, 2001). Así, en verano, cuando las temperaturas son altas, filtrarían la radiación NIR limitando el calentamiento del invernadero, mientras que en invierno la dejarían entrar en él, contribuyendo a su calentamiento.

Por último existen *filmes antiplagas*, siendo éstos láminas fotoselectivas que bloquean la radiación UV solar para dificultar, ralentizar o disminuir el desarrollo de plagas, de enfermedades causadas por hongos o de virus transmitidos por insectos, que son sensibles a la disminución o ausencia de este tipo de radiación (Salmerón *et al.*, 2001).

## I.7. CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE

### I.7.1. Atributos de calidad

La calidad del fruto de tomate viene determinada por un conjunto de características y atributos encaminados a satisfacer la demanda y necesidades del consumidor, en función del uso al que va a ser destinado el producto.

En el caso del tomate fresco, el concepto de calidad, y más concretamente “calidad total”, viene definida por un conjunto de características de forma, color, ausencia de daños, así como por el sabor, el aroma, la textura y el contenido nutricional (Jones, 1999).

#### I.7.1.1. Apariencia

Los factores que afectan a la apariencia son la forma, el color, el calibre, los defectos de crecimiento y el deterioro.

La **forma** del fruto puede variar según el tipo de tomate (puede ser redondo, forma globosa, globosa aplanada u ovalada) (Grierson y Kader, 1986).

El **color** es otro de los parámetros de calidad a valorar y puede ser desde amarillo claro ó anaranjado-rojo a rojo intenso en el fruto maduro, evitando las manchas, dependiendo de la variedad.

Es una característica de calidad extremadamente importante, ya que determina la madurez y vida poscosecha, y es el factor determinante para la aceptabilidad por parte del consumidor (Ciruelos-Calvo *et al.*, 2007).

También el **calibre** es otro factor a tener en cuenta ya que, aunque no defina el grado de calidad, puede influir de manera significativa en las expectativas de su calidad comercial.

Los defectos de forma y tamaño están relacionados normalmente con una escasa polinización y un desarrollo irregular de algunos lóculos. Por ello, los frutos deformes, con irregularidades son descartados.

Estos defectos de apariencia son de poca importancia y no irían en detrimento de la calidad comestible, pero existen otros de mayor relevancia que pueden influir en la apariencia, firmeza, reblandecimiento y susceptibilidad a descomponerse.

Se trata de los defectos provocados antes de su recolección, incluyendo hinchazón, cicatrices y rajaduras, daños por insectos, por el sol, "cracking", etc., ocasionando en consecuencia una maduración irregular del fruto.

No existen métodos objetivos disponibles para evaluar estos defectos pero sí escalas de calificación de forma individual a cada fruto que se vaya a medir, como herramienta subjetiva para obtener una calidad visual, exceptuando la medida del color (MacLeod *et al.*, 1976).

#### *1.7.1.2. Firmeza*

Después de la apariencia es el factor más importante en la calidad del tomate ya que está íntimamente asociado con el estado de madurez del fruto.

La calidad textural está influenciada por un conjunto de atributos como son la jugosidad, carnosidad, harinosidad y estructura interna del fruto. Ésta puede ser evaluada mediante métodos destructivos en donde se mide la resistencia del tejido a una fuerza de penetración, compresión o corte, y otros no destructivos mediante deformación.

La textura del fruto debe ser firme al tacto, sin deformarse con facilidad a causa de su sobremadurez. En este caso, la demanda del consumidor queda relegada, ya que existe una relación inversa de los altos rendimientos con respecto a parámetros de calidad como son el sabor y el color.

### I.7.2. Calidad organoléptica

La calidad organoléptica viene definida por una serie de parámetros fisicoquímicos como son el contenido en materia seca, °Brix, acidez, azúcares, ácidos orgánicos y compuestos volátiles, creando un producto llamativo y de gran interés para el consumidor (Anza *et al.*, 2006).

El flavor es el parámetro de mayor interés dentro de la calidad organoléptica del fruto de tomate.

Es el resultado de la interacción de sabor y aroma y está determinado por una serie de factores entre los que destacan el grado de maduración, la nutrición vegetal, el genotipo y el manejo poscosecha.

Azúcares, ácidos, fenoles y minerales son los componentes principales del sabor del tomate, siendo los azúcares, los que de forma cuantitativa, tienen una mayor contribución (Kader, 2008).

Los aromas de los compuestos volátiles son los que definen el “único” sabor del tomate (Kader *et al.*, 1977; Baldwin *et al.*, 2008; Kader, 2008; Klee, 2010) y su percepción individual es la culminación de su experiencia sensorial única (Goff y Klee, 2006). Existen cerca de 400 compuestos aromáticos que contribuyen al gusto, flavor y perfiles de aromas volátiles del tomate (Petro-Turza, 1987).

Todavía, los consumidores valoran el dulzor en frutos de tomate (Gough y Hobson, 1990) y la acumulación de azúcar (junto con ácidos) como determinantes de la intensidad del aroma (Causse *et al.*, 2002).

El fruto de tomate está compuesto de forma mayoritaria por agua, siendo entre 5-7% el contenido de sólidos solubles, de los cuales casi la mitad son azúcares y un octavo son ácidos.

Según Peet (1996), el sabor del fruto viene descrito por la acidez (bajo pH) y el contenido en azúcares (**Tabla I.5**).

**Tabla I.5.** *Parámetros que definen el sabor del fruto de tomate (Peet, 1996).*

Acidez	Contenido en azúcar	Sabor
Alta	Alto	Bueno
Alta	Bajo	Agrio
Baja	Alto	Suave
Baja	Bajo	Insípido

El gusto del consumidor determina que una mayor relación azúcares/acidez genera un efecto favorable en el sabor (Baldwin *et al.*, 1998).

En estudios relacionados con la calidad organoléptica del fruto, Stevens *et al.* (1977) describieron que los principales responsables del dulzor del fruto eran la fructosa y el ácido cítrico, y de la acidez, la glucosa y el ácido málico, pese a que el pH resulta ser una medida más objetiva de la acidez que la acidez titulable. Además, estos autores identificaron 11 compuestos volátiles de los cuales determinaron 3 como principales responsables en la determinación de las características organolépticas del tomate.

Por otro lado, Salles *et al.* (2003), demostraron que el contenido de azúcares, concretamente fructosa y glucosa y el de ácidos orgánicos (cítrico, málico y acidez total) determinan los sabores dulce y ácido, respectivamente.

Además, estudios realizados hasta el momento afirman que existe un efecto sinérgico entre el contenido de azúcares del tomate responsables del dulzor, y los ácidos orgánicos (el ácido cítrico y el ácido málico) que determinan su sabor ácido.

De esta manera, la concentración de ácido cítrico parece aumentar la importancia de la glucosa en el sabor dulce en comparación con la fructosa (De Bryun *et al.*, 1971) y según Stevens *et al.* (1977) este ácido disminuye el dulzor cuando la concentración de azúcares en el tomate es baja y lo incrementaba cuando la concentración de azúcar es elevada.

Pese a que el ácido málico confiere un sabor más ácido que el ácido cítrico (De Bryun *et al.*, 1971) el segundo tiene una mayor influencia ya que se encuentra en una mayor concentración en el fruto de tomate. Por tanto, para obtener un fruto de tomate con un mejor sabor es necesario que su concentración de azúcar sea alta y su contenido de ácidos, sea relativamente elevado (Rosales, 2008).

### **I.7.3. Calidad nutricional**

La composición nutricional del fruto de tomate ha adquirido gran importancia debido a los numerosos estudios que se han realizado al respecto, y al gran número de principios importantes detectados y que tienen una gran repercusión para la salud humana.

Se ha comprobado que el tomate es un componente esencial en la dieta mediterránea, cuyo fundamento y consumo está relacionado con la prevención de

algunas enfermedades como pueden ser algunos tipos de cáncer y enfermedades cardiovasculares y de degeneración macular asociada a la edad. Esto es debido a su elevado contenido en compuestos antioxidantes y minerales (Dorais *et al.*, 2008).

El fruto de tomate es una fuente importante de fibra, minerales como el potasio (200-210 mg 100 g<sup>-1</sup>) y el fósforo, y de vitaminas, entre las que destacan la C (entre 20-25 mg 100g<sup>-1</sup>), E, provitamina A [una media de 1.000 unidades internacionales (UI) por cada 100 g] y vitaminas del grupo B, en especial B1 y B3 (Tabla I.6). El ácido cítrico es el ácido predominante en el fruto de tomate siendo el principal responsable de su acidez titulable. Su concentración se incrementa al máximo en el fruto inmaduro y se mantiene durante su maduración mientras que la concentración del ácido málico decrece (Davies y Hobson, 1981).

**Tabla I.6.** Valor nutricional de un tipo de tomate fresco (Anon, 1998).

<b>Constituyente</b>	<b>Tomate (100 g porción comestible)</b>
Agua	93,5
Energía, cal	22
Carbohidratos, g	4,75
Proteínas, g	1,05
Grasas, g	0,2
Fibras, g	0,55
Calcio, mg	12
Fósforo, mg	26
Potasio, mg	244
Sodio, mg	3
Magnesio, mg	14
Hierro, mg	0,5
Vitamina A, UI	900-1271
Ácido ascórbico, mg	15-23
Vitamina B1, mg	0,06
Vitamina B2, mg	0,04
Vitamina B3, mg	0,05-0,75

Otros componentes bioactivos del tomate son algunos minerales, entre los que destaca el potasio (Caputo *et al.*, 2004; Hernández Suárez *et al.*, 2007) los cuales

fueron estudiados por primera vez hace muchos años, junto con la vitamina C (Halevy *et al.*, 1957).

Davies y Hobson (1981) fueron los primeros en mostrar la composición de los frutos de tomate referida a porcentaje de materia seca, incluyendo una serie de compuestos, entre los que podemos destacar pigmentos, algunas vitaminas y compuestos fenólicos de gran interés para el consumidor, como consecuencia de su efecto protector para ciertas enfermedades (**Tabla I.7**). Se ha comprobado que existe una estrecha relación entre dieta saludable, comúnmente conocida, y la prevención de algunas enfermedades degenerativas crónicas (Bilton *et al.*, 2001).

**Tabla I.7.** Composición del fruto de tomate maduro (% materia seca) (Davies y Hobson, 1981).

Constituyente	Materia seca (%)	Constituyente	Materia seca (%)
<b>Azúcares</b>		<b>Ácidos orgánicos</b>	
Glucosa	22	Ácido cítrico	9
Fructosa	25	Ácido málico	4
Sacarosa	1	<b>Otros</b>	
<b>Sólidos insolubles en alcohol</b>		Lípidos	2
Proteínas	8	Ácidos amino dicarboxílicos	2
Sustancias pécticas	7	Pigmentos	0,4
Hemicelulosas	4	Ácido ascórbico	0,5
Celulosas	6	Volátiles	0,1
<b>Minerales (K,Ca,Mg,P)</b>	8	Otros aminoácidos, vitaminas y polifenoles	1,0

Por tanto, tal y como se ha comentado anteriormente, podemos afirmar que la calidad organoléptica y nutricional componen los índices de calidad más importantes en el fruto de tomate.

### 1.7.3.1. Principales compuestos antioxidantes en el fruto de tomate

Gracias a la realización de estudios epidemiológicos se ha podido observar que el consumo de tomate fresco está asociado con una disminución del riesgo de padecer no solo enfermedades cardiovasculares, sino que actúa también de forma protectora contra el cáncer del tracto digestivo y el de próstata (Blum *et al.*, 2005).

Este efecto ha sido atribuido principalmente, a sus componentes con valor bioactivo, responsables por un lado, de la actividad antioxidante lipofílica, que depende de los carotenoides como el  $\beta$ -caroteno, precursor de la Vitamina A, y principalmente del licopeno, vitaminas como los tocoferoles y algunos compuestos fenólicos lipofílicos (ej, quercetina); junto con la vitamina C y otros compuestos fenólicos como flavonoides, derivados de los ácidos hidroxicinámicos, que forman parte de la fase hidrofílica del fruto de tomate (Arnao, *et al.*, 2001; Martínez-Valverde, *et al.*, 2002; Shi *et al.*, 2007; Periago *et al.*, 2008).

Todos ellos se engloban en un grupo de sustancias que presentan estructuras químicas y mecanismos de acción muy variados, capaces de inhibir o retardar la oxidación de dos formas: captando radicales libres, en cuyo caso se denominan antioxidantes primarios, o por mecanismos que no estén relacionados con la captación de radicales libres, siendo éstos los antioxidantes secundarios (Zapata *et al.*, 2007).

Los *antioxidantes primarios* incluyen compuestos fenólicos y son capaces de convertir los radicales existentes en moléculas menos perjudiciales antes de que puedan reaccionar, evitando así la aparición de nuevos radicales libres. Entre ellos, cabe destacar:

**-Superóxido dismutasa (SOD):** convierte  $O_2$  en peróxido de hidrógeno.

**-Glutatión peroxidasa (GPx):** convierte el peróxido de hidrógeno y los peróxidos lipídicos en moléculas inofensivas antes de que formen radicales libres.

**-Proteínas de unión a metales (Ferritina, Ceruloplasmina):** Limitan la disponibilidad de Fe necesaria para formar el radical OH.

**-Compuestos fenólicos.**

Entre aquellos ensayos que se basan en la medición de la capacidad de los antioxidantes para reaccionar con un radical libre, cabe destacar los siguientes:

**-Ensayo ORAC (Capacidad de Absorción de Radicales de Oxígeno):** Mide la actividad o capacidad global que tienen todos los antioxidantes presentes en una muestra para “neutralizar” radicales peróxido.

Estos últimos son especies reactivas comparables y por tanto relevantes a aquellos ROS biológicamente generados en el organismo. Para actuar como tal, los antioxidantes deben donar, ya sea un electrón, o un átomo de hidrógeno (HAT) a los mismos radicales libres que se pretenda estabilizar.

El ensayo ORAC mide la capacidad que tienen todos los antioxidantes presentes en un alimento para donar átomos de hidrógeno a los radicales peróxido, es decir, cuantifica la capacidad que tendría un alimento para actuar como antioxidante a través del mecanismo HAT.

Permite por un lado, comparar alimentos de naturaleza muy diversa en cuanto a su riqueza antioxidante y por otro, la medición del aporte que hacen a la actividad antioxidante los polifenoles y aquellos compuestos de naturaleza no-polifenólica presentes en un alimento dado, comparando así la actividad antioxidante, valor ORAC, de alimentos que no necesariamente tienen polifenoles como sus principales componentes con aquellos que sí lo tienen.

Por tanto, se trata de un método que no sólo refleja el contenido total de los compuestos antioxidantes, sino también, la interacción aditiva, sinérgica o de potenciación que resulta de la simultánea presencia de estos, dando como resultado un valor que refleja la capacidad global o actividad antioxidante de un alimento y que lo convierte en el índice más reconocido por el momento, de definir el aporte potencial que podría suponer el consumo de un alimento a la capacidad antioxidante de nuestro organismo (Prior *et al.*, 2003).

**-Ensayo TEAC (Capacidad Antioxidante como Equivalentes Trolox):** Es un método que implica el uso del radical ABTS•<sup>+</sup> (2,2'-azinobis (3-etilbenzotiazolina-6-acido sulfónico) el cual tiene que ser generado tras una reacción que puede ser química (dióxido de manganeso, persulfato potásico), enzimática (peroxidasa, mioglobulina) o también electroquímica (Kuskoski, 2005).

Dicho ensayo se fundamenta en la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical catión coloreado ABTS•<sup>+</sup> (formado previamente por la oxidación del ABTS). Entre las ventajas de este método está que los valores de TEAC de una amplia gama de alimentos están reportados, lo que permite establecer

comparaciones; por otro lado, puede ser usado en un amplio rango de pH y fuerza iónica, además de que el ABTS<sup>•+</sup> es soluble tanto en medio acuoso como orgánico y permite la evaluación de antioxidantes hidrofílicos y lipofílicos (Londoño, 2012).

**-Ensayo DPPH (2,2-Difenil-1-picrilhidrazil):** El DPPH es un radical de nitrógeno orgánico muy estable que reacciona con compuestos capaces de donar átomos de hidrógeno con un máximo de absorción UV- vis de 515 nm.

El ensayo se fundamenta en la medición de la capacidad de un antioxidante para estabilizar el radical DPPH<sup>•</sup>.

Cuanto mayor es la decoloración, menor es la absorbancia de la mezcla de reacción, lo que indica una capacidad significativa de neutralización del radical libre (Ndhlala, 2010).

Se trata de un ensayo muy simple, de bajo requerimiento instrumental. Sin embargo, entre las desventajas están la dificultad de interpretar los resultados cuando se tienen sustancias, como los carotenoides, cuyo espectro de absorción se solapa con el del radical; adicionalmente el DPPH<sup>•</sup> es un radical estable, centrado en nitrógeno, que dista mucho de parecerse a las especies reactivas de importancia biológica; de hecho muchos antioxidantes que reaccionan rápidamente con radicales peroxilo no lo hacen así con DPPH<sup>•</sup>, debido al impedimento estérico que representa la estructura química que rodea al radical, lo cual hace que sustancias pequeñas generalmente muestren una mayor actividad (Londoño, 2012).

Los *antioxidantes secundarios*, entre los cuales encontramos las vitaminas C, E y el  $\beta$ -caroteno, ácido úrico, bilirrubina, albúmina y compuestos fenólicos, actúan a través de cierto número de mecanismos, incluyendo su unión a metales pesados, captación del oxígeno, conversión de hidroperóxidos a especies no radicales, absorción de radiación UV o desactivación del oxígeno singlete (Gordon, 2001).

Los *antioxidantes terciarios*, incluyen enzimas reparadoras de ADN y la metionina sulfóxido reductasa.

Son sustancias capaces de proteger al ser humano gracias a sus diversas funciones. Para ello, en los puntos más vulnerables al daño oxidativo, las células despliegan una gran variedad de sistemas de defensa, tanto en el ambiente intra como extracelular, basados en antioxidantes, solubles en agua o en lípidos, y enzimas antioxidantes.

Muchos de estos sistemas defensivos del cuerpo humano son dependientes de los antioxidantes que se derivan de la dieta; por lo que existe una estrecha

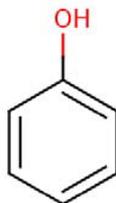
relación entre la reducción del riesgo de padecer enfermedades con un aumento en el consumo de antioxidantes presentes en los alimentos (Zapata *et al.*, 2007).

#### I.7.3.1.1. Polifenoles totales

Son metabolitos secundarios de plantas y forman parte de uno de los grupos de fitoquímicos más ampliamente distribuido. Se localizan en todas las partes de las plantas y su concentración es variable a lo largo del ciclo vegetativo.

Estos compuestos contribuyen a la calidad sensorial (sabor, astringencia, dureza) y nutricional, al color y tienen propiedades antioxidantes en frutos y vegetales (Lapornik, *et al.*, 2005).

La característica antioxidante de los fenoles se debe a la reactividad del grupo fenol (Kähkönen *et al.*, 2001; Robbins, 2003); un anillo aromático que tiene uno o más grupos hidroxilo y que da lugar a una estructura que puede variar desde una molécula sencilla fenólica (**Figura I.5**) a la de un polímero complejo de alto peso molecular (Balasundram *et al.*, 2006).



**Figura I.5.** Estructura química del grupo fenol.

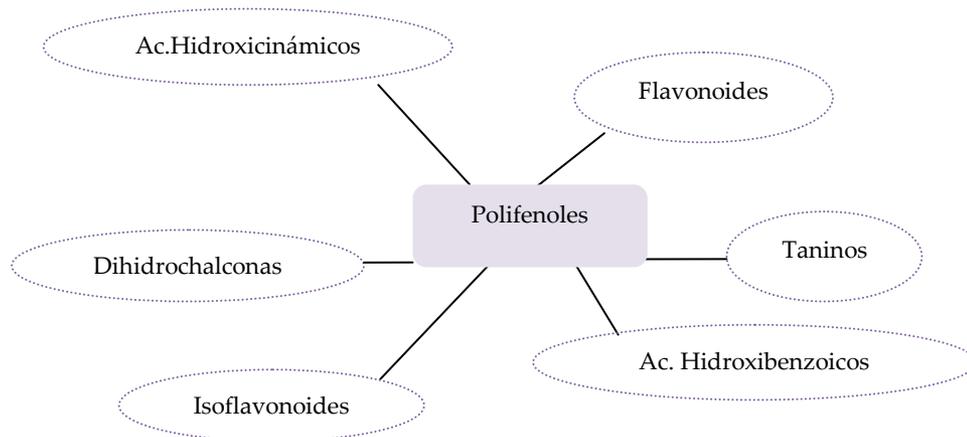
En la naturaleza se hallan aproximadamente 8.000 compuestos bajo el término fenoles, con esta estructura en común, de considerable importancia fisiológica y morfológica para las plantas.

Además, como un gran grupo de productos químicos bioactivos que son, participan de diversas funciones biológicas, tales como la asimilación de nutrientes, la síntesis proteica, la actividad enzimática, la fotosíntesis, la formación de componentes estructurales, la aleopatía y la defensa ante los factores adversos del ambiente.

También actúan como fitoalexinas, atrayentes para los polinizadores, contribuyentes de la pigmentación de las plantas y agentes protectores contra la luz UV, entre otros (Naczk y Shahidi, 2006; Popa *et al.*, 2008).

Estas propiedades bioactivas hacen que estos compuestos jueguen un papel importante en el crecimiento y reproducción de las plantas, proporcionando una eficiente protección contra patógenos y depredadores (Bravo 1998; Popa *et al.*, 2002).

Los compuestos fenólicos abarcan una amplia variedad de moléculas con una estructura de polifenol, pero también moléculas con un anillo fenol, como los ácidos fenólicos y los alcoholes fenólicos (**Figura I.6**).



**Figura I.6.** Clasificación de compuestos fenólicos.

Los polifenoles están divididos en diferentes clases de acuerdo con el número de anillos fenólicos que contienen y los elementos estructurales que unen a estos anillos. Los principales grupos de polifenoles son: flavonoides, ácidos fenólicos, taninos, estilbenos y lignanos (D'Archivio *et al.*, 2007).

Su interés como antioxidantes se centra principalmente en los flavonoides debido a su alto potencial redox, que les permite actuar como agentes reductores, donantes de hidrógeno y atenuadores de oxígeno singlete. Además, tienen un potencial de metal quelante (Tsao y Yanf, 2003).

Son los fitoquímicos más comúnmente encontrados (Gil *et al.*, 1999), ya que casi la mitad de los polifenoles han sido identificados como flavonoides. Están

presentes en todas las plantas terrestres y se encuentran en todos los órganos, incluyendo flor, fruto, hoja, tallo y raíz. La distribución respecto a la diversidad estructural y las cantidades pueden variar considerablemente dentro de la planta. En ellas, estos compuestos ejercen funciones relacionadas con la protección de plantas frente a herbívoros, patógenos y radiación UVB (Haborne y Williams, 2000).

Por otro lado, según estudios epidemiológicos, los flavonoides pueden considerarse también compuestos potencialmente útiles cuando son consumidos por humanos, ya que están implicados en los procesos inflamatorios y asociados con una reducción en la incidencia de enfermedades cardiovasculares y cáncer (Beecher, 2003; Andersen *et al.*, 2006; Liu *et al.*, 2008).

Por ello, existe actualmente un gran interés por los flavonoides debido a la posibilidad de mejorar nuestra salud a través de la incorporación de frutas y vegetales en nuestra dieta (Caridi *et al.*, 2007).

El fruto de tomate, especialmente la piel (Gil *et al.*, 1998), es una importante fuente de flavonoides siendo la chalcona naringenina el más abundante (**Tabla I.8**).

**Tabla I.8.** Principales compuestos fenólicos del fruto de tomate (Morillas-Ruiz, 2010).

<b>Ácidos fenólicos</b>	
<i>Ácidos hidroxibenzoicos</i>	<i>Ácidos hidroxicinámicos</i>
Ácido gálico	Ácido clorogénico
	Ácido cafeico
	Ácido p-cumárico
<b>Flavonoides</b>	
<i>Flavonoles</i>	<i>Flavonas</i>
Kaempferol	Eriodictiol
Quercetina	Naringenina
Miricetina	Apigenina
Rutina	
Luteolina	
<b>Isoflavonas</b>	
	Genisteína

También contiene algunas cantidades de quercetina y derivados de canferol, como son la rutina y el canferol rutinósido. Tales compuestos se acumulan en un tejido específico con capacidad para desarrollarse, ya que se producen casi exclusivamente en la piel de tomate durante la maduración del fruto (Muir *et al.*, 2001). La rutina fue encontrada sólo en cantidades traza en la pulpa del tomate, que constituye el 95% del fruto (Giuntini *et al.*, 2008).

#### I.7.3.1.2. Carotenoides: licopeno y $\beta$ -caroteno

Los carotenoides son el otro grupo de fitonutrientes que actúan como pigmentos responsables de la mayoría de los colores amarillos, anaranjados y rojos de frutos y vegetales, debido a la presencia en su molécula de un cromóforo consistente, total o principalmente, en una cadena de dobles enlaces conjugados. Están presentes en todos los tejidos fotosintéticos, junto con las clorofilas, así como en tejidos vegetales no fotosintéticos, como componentes de cromoplastos, que pueden ser considerados como cloroplastos degenerados.

Pertenecen a la familia de los terpenoides, formados básicamente por ocho unidades de isopreno, de tal forma que la unión de cada unidad se invierte en el centro de la molécula. En los carotenoides naturales sólo se encuentran tres elementos: C, H y O. El oxígeno puede estar presente como grupo hidroxilo, metoxilo, epoxi, carboxilo o carbonilo.

Dentro de los carotenoides podemos distinguir dos grupos: los carotenos, que son hidrocarburos, y las xantofilas, que poseen oxígeno en su molécula.

Su actividad antioxidante es conferida por la cadena hidrofóbica de unidades de polieno, capaces de quelar el oxígeno singlete, neutralizar los radicales sulfonilo combinándose con ellos y estabilizar los radicales peroxilo (Palace *et al.*, 1999).

Recientemente se han investigado los efectos antioxidante y citotóxico de la luteína oxidada en células humanas de carcinoma de cuello uterino, ya que los iones radicales que resultan de la oxidación, al combinarse con las mismas especies reactivas podrían llevar a un efecto antioxidante más alto (Lakshminarayana *et al.*, 2010).

Aunque se han estudiado aproximadamente 700 carotenoides (Britton *et al.*, 2004), sólo aquellos con un  $\beta$ -anillo sin sustituir, con una cadena de polieno de 11

carbonos tienen actividad provitamina A. Esta estructura requerida es satisfecha por unos 60 carotenoides (Rodríguez-Amaya, 2001).

En la dieta humana, de un total de 40 carotenoides encontrados, sólo 25 se encuentran en la sangre debido a la absorción selectiva del tracto digestivo (Rosales, 2008). De este número, entre 9 y 20 se encuentran en el tomate fresco y procesado, siendo los más importantes licopeno,  $\alpha$  y  $\beta$ -caroteno, luteína, zeaxantina y  $\beta$ -criptoxantina.

Sus dobles enlaces conjugados son los responsables de la intensa coloración de los alimentos que contienen estos pigmentos. Así, por ejemplo, el color rojo del tomate, se debe a la presencia de licopeno (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004), que representa aproximadamente el 80-90% de los carotenoides totales en el fruto, junto con el  $\beta$ -caroteno, un fotoprotector que actúa en la fotosíntesis como pigmento recolector de luz que se encuentra en un 7-10% (Frusciante *et al.*, 2007). Ambos, junto con la  $\beta$ -criptoxantina, tienen actividad como pro-vitamina A ya que son convertidos por los mamíferos en retinol (Burns *et al.*, 2003).

El licopeno (**Figura I.7**), es el antioxidante más eficiente entre los carotenoides por su actividad detoxificadora del oxígeno singlete y de los radicales peroxilo (Sies y Stahl, 1998). Constituye cerca del 80-90% del total del contenido en carotenoides de los tomates maduros (Shi y Marguer, 2000) y es de suma importancia en la calidad nutricional final y comercial de este producto hortícola (Dumas *et al.*, 2003).

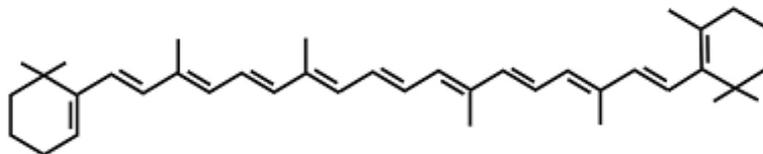


**Figura I.7.** Estructura química de licopeno.

Diversos estudios han demostrado que existe una fuerte relación entre la calidad nutricional del tomate y su contenido en licopeno (Gautier *et al.*, 2005a; Raffo *et al.*, 2006; Toor y Savage 2006), ya que se ha reconocido como una molécula que suprime la proliferación celular en humanos e interfiere en el crecimiento de las

células cancerígenas, previniendo así la incidencia de cáncer de próstata (Rosales, 2008).

Otro carotenoide presente en los frutos de tomate es el  $\beta$ -caroteno (**Figura I.8**), que constituye aproximadamente el 7% del total del contenido en este grupo de compuestos antioxidantes (Nguyen y Schwartz, 1999).

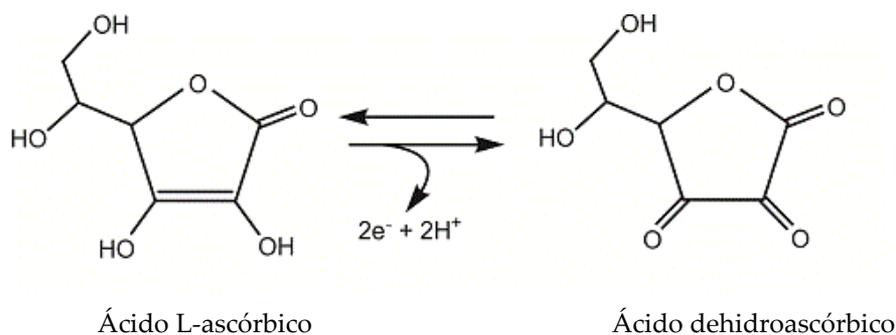


**Figura I.8.** Estructura química de  $\beta$ -caroteno.

Es considerado un poderoso antioxidante por sus beneficios para la salud humana y porque ayuda al sistema inmune y destruye las células cancerígenas; reduce el riesgo de enfermedades cardiovasculares, soriasis, cáncer de piel, síndrome de fatiga crónica y lupus (Hyson, 2002).

#### I.7.3.1.3. Vitamina C

La vitamina C es considerada por muchos autores el antioxidante hidrofílico más efectivo de los vegetales (Smirnoff, 1996), actuando como un fitoquímico muy importante en el fruto de tomate (**Figura I.9**).



**Figura I.9.** Estructura química del ácido L-ascórbico y reacción de oxidación en la que se convierte en ácido dehidroascórbico.

Está presente en forma de ácido L-ascórbico (AA) y ácido dehidroascórbico (ADHA) y es uno de los antioxidantes hidrosolubles más efectivos que se encuentran en el plasma; es capaz de atrapar y reducir nitratos e inhibe, por tanto, la formación en el estómago de compuestos carcinogénicos N-nitrosos.

Las pruebas epidemiológicas son consistentes, evidenciándose un efecto protector de la vitamina C contra el cáncer de estómago, faringe y esófago (Jonson *et al.*, 2001).

Además, se ha demostrado que el ácido ascórbico tiene un importante papel fisiológico ya que además de ser un aceptor de radicales muy efectivo frente a superóxido, peróxido de hidrógeno, hipoclorito, radical hidroxilo, radical peroxilo y oxígeno singlete (Yanishlieva-Maslarova, 2001), interviene en la regeneración de la vitamina E en las plantas (Asada, 1994).

También se ha expuesto que participa en el metabolismo celular y en el control del crecimiento (Navas y Gómez-Díaz, 1995), en la división celular (Kerk y Feldman, 1995), en la expansión de la pared celular (Takahama y Oniki, 1994) y en la organogénesis (Joy *et al.*, 1988).

Como antioxidante, el ascorbato elimina directamente los ROS a través de una vía no enzimática y reduce el peróxido de hidrógeno a agua a través de la reacción APX (ascorbato peroxidasa), una enzima capaz de eliminar bajas concentraciones de H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> debido a su elevada afinidad por éste, utilizando el ascorbato como dador de electrones para llevar a cabo la reducción del H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> (Foyer y Noctor, 2005).

No obstante, las plantas y la gran mayoría de mamíferos son capaces de sintetizar el ascorbato, pero no los seres humanos (Buettner y Jurkiewics, 1996), donde es fundamental en el mantenimiento de un sistema inmune saludable, ya que reduce la severidad de algunas enfermedades como el resfriado o la gripe, mediante la prevención de las infecciones virales secundarias o bacterianas, protegiendo frente al daño producido por los ROS (Larsen 1997), y en la prevención de enfermedades cardiovasculares (Eichholzer *et al.*, 2001).

En España se hizo un estudio de fuentes de vitamina C y carotenoides específicos. Establecieron que los tomates son los primeros como fuente de licopeno (71,6%), segundos como fuentes de vitamina C (12,0%) y le sigue el contenido en β-caroteno (17,2%) (Raffo *et al.*, 2006).

Sin embargo, durante el desarrollo fisiológico, el fruto de tomate sufre cambios bioquímicos según el grado de madurez, aumentando su contenido mientras el fruto está en la planta y disminuyendo desde el inicio de su cosecha; por lo que el tomate maduro pierde parte del contenido de vitamina C (Valle-Colchao *et al.*, 2011).

#### I.7.3.1.4. Macro y microelementos

Junto a estos compuestos, existe otros microconstituyentes como son el sodio, magnesio, calcio, manganeso, cobre, cinc y yodo, que también pueden reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Mertz, 1982).

Los beneficios protectores de estos compuestos son, en parte, debidos a su capacidad de detoxificación de los radicales libres responsables del estrés oxidativo, quelación de metales, inhibición de la proliferación celular y la modulación de enzimas y las vías de transducción de señales (Clinton, 1998; Crozier *et al.*, 2009).

Estos metales son “elementos traza” o microelementos por su esencialidad y por su cantidad limitada en humanos. Las actividades biológicas de Cu, Fe, Mn y Zn están fuertemente asociadas con la presencia de electrones desapareados que permiten su participación en reacciones redox. En sistemas biológicos, estos metales están en su mayoría unidos a proteínas, formando metaloproteínas, y algunos de ellos también son parte de sistemas enzimáticos.

Tienen función estructural y de almacenamiento, o bien se unen a proteínas para ser transportados a su lugar de destino en el organismo.

Con todo ello podemos asumir que estos metales juegan un papel clave en los mecanismos de protección a través de la captación de radicales libres, llevando a cabo funciones decisivas para mantener la salud en humanos.

Se ha comprobado que las deficiencias de microelementos en el organismo son una de las mayores causas de cáncer (Ferguson, 1997).

Por tanto, dada la importancia que tienen para la salud estos grupos de antioxidantes y puesto que el organismo no es capaz de sintetizarlos, es necesaria su incorporación en la dieta, a través del consumo de vegetales.

## I.8. INFLUENCIA DE LOS FACTORES AMBIENTALES EN LA CALIDAD DEL FRUTO DE TOMATE

La producción de tomate fresco en el invernadero tiene lugar todo el año bajo condiciones contrastantes ambientales (luz y temperatura), junto con un conjunto de labores culturales, que provocan variaciones estacionales en su calidad gustativa y nutricional (Dumas *et al.*, 2003; Cano *et al.*, 2003; Anza *et al.*, 2006; Raffo *et al.*, 2006).

Las condiciones adversas que se crean en el interior del invernadero pueden generar ROS en los frutos de tomate (Dumas *et al.*, 2003) que atacan a todo tipo de biomoléculas produciendo el deterioro de las membranas, peroxidación de lípidos y mutaciones en el ADN, lo cual puede desencadenar una serie de disfunciones metabólicas y estructurales irreparables y finalmente la muerte celular. Todos estos cambios oxidativos han llegado a ser caracterizados como síntomas del síndrome denominado “estrés oxidativo” (Rosales, 2008).

Por lo tanto, el estrés oxidativo es uno de los procesos fisiológicos más importantes y que en consecuencia repercute en la calidad de los diferentes productos vegetales destinados al consumo humano.

Existen estudios que describen como afectan los factores de producción a la composición de los frutos al aire libre; según Hart y Scott (1995), el contenido antioxidante del tomate depende principalmente de factores ambientales y genéticos, así como del estado de maduración (Lavelli *et al.*, 2000).

En respuesta a estas condiciones, los antioxidantes juegan un papel importante mediante el secuestro de especies reactivas de oxígeno generadas durante la maduración, bajo excesiva radiación y estrés por frío o calor dentro del invernadero (Smirnoff, 2000; Rivero *et al.*, 2001; Jiménez *et al.*, 2002).

Por tanto, según lo expuesto anteriormente, la calidad del fruto de tomate se ve limitada de forma severa por la luz y la temperatura del interior del invernadero, los dos factores ambientales mejor conocidos que influyen sobre la calidad nutricional y la productividad del cultivo.

En la práctica, estos factores son a menudo variables y están estrechamente vinculados entre sí, pero no existen estudios suficientes que demuestren su repercusión sobre la calidad del producto vegetal (Adams *et al.*, 2001; Fleisher, *et al.*, 2006).

Una de las razones en las que se basa la literatura científica es que, por un lado, se ha comprobado que la calidad de tomate está influenciada por el equilibrio que existe entre la relación fuente/sumidero, es decir, entre la producción de energía y el consumo por parte de los frutos. Además, la respuesta de dicha calidad a las condiciones ambientales está condicionada por el cultivar y la posición del fruto en el racimo (Bertin, *et al.*, 2001).

También se ha estudiado la relación de los parámetros de calidad del tomate referido a los datos climáticos durante toda la temporada o ciclo de cultivo, pero de forma muy ligera, ya que los resultados han demostrado que es al final del período de maduración del fruto cuando ésta relación es más estrecha respecto a lo que ocurrió realmente desde la antesis hasta la cosecha.

Basándose en estos estudios Riga *et al.* (2008) afirman que la temperatura y la radiación solar, se correlacionan de forma positiva dentro del invernadero.

### **1.8.1. Efecto de la radiación sobre los fitonutrientes del fruto de tomate**

Desde la década de los setenta ha habido un gran interés en evaluar el impacto de la reducción de la capa de ozono estratosférico y el consiguiente aumento de la radiación ultravioleta sobre el crecimiento y desarrollo de los cultivos y los ecosistemas naturales (Hao *et al.*, 2000; Buffoni-Hall *et al.*, 2002; Krizek, 2004; Krizek *et al.*, 2005; Sullivan, 2005).

Numerosos estudios de mejora de la radiación ultravioleta se han llevado a cabo en ambientes controlados en invernadero y cámaras de crecimiento de plantas, sin embargo, el número de estudios de mejora de la radiación UVB realizados en condiciones de campo es relativamente escasa.

Desde principios de 1990, Krizek y sus colaboradores han estudiado la influencia de la exclusión de la radiación UVA y UVB de la radiación solar ambiental sobre el crecimiento y el desarrollo de plantas (Adamse *et al.*, 1997; Krizek *et al.*, 1998; Krizek y Mirecki, 2004).

La posibilidad de seleccionar las propiedades ópticas de los materiales de cubierta del invernadero, para bloquear la transmisión de ciertas longitudes de onda UV, ha permitido a los investigadores una oportunidad para probar la hipótesis de que dichos rayos UV pueden ser utilizados para proporcionar un medio para el manejo integrado de plagas (MIP), mediante la prevención de la

esporulación de los hongos patógenos tales como *Botrytis* y *Alternaria*, y reduciendo la prevalencia de enfermedades transmitidas por insectos, que requieren longitudes de onda inferiores a 380 nm para ser conducidos (Krizek *et al.*, 2005; Paul *et al.*, 2005).

Además, puesto que la composición nutricional de los frutos de tomate obtenidos a partir de plantas cultivadas en este tipo de invernaderos está determinada por factores genéticos y ambientales, el uso de este tipo de estructuras permite a los agricultores un medio para extender la temporada de crecimiento y proporcionar protección contra variaciones climáticas naturales (Wittwer y Castilla, 1995; Butler y Ross, 1999; Bachmann y Earles, 2000).

Es evidente, que existe una relación entre la productividad de las plantas en un invernadero y la cantidad de radiación electromagnética recibida, que a su vez depende de la cantidad de la radiación UV, PAR e IR transmitida a través del material de cobertura de estas estructuras (Krizek, 2004).

Además de la cantidad de radiación que llega al invernadero, existen otros factores como la intensidad, la duración y la calidad de dicha radiación que afectan fuertemente a los fitonutrientes del tomate como son el ácido ascórbico, los carotenoides y los compuestos fenólicos (Britton *et al.*, 2004).

Muchos estudios se han centrado en el efecto de la radiación UV en productos secundarios de la hoja, mientras que sólo unos pocos han sido investigados como efectos sobre el fruto (Bacci *et al.*, 1999; Kolb *et al.*, 2003; Kittas *et al.*, 2006; Josuttis *et al.*, 2010; Ordidge *et al.*, 2010).

Se ha demostrado que, la radiación UV afecta a la anatomía, la expansión y el tamaño de las hojas, los niveles de pigmentos fotosintéticos, rendimiento y procesos fisiológicos tales como la fotosíntesis, en una gama de especies vegetales (Rozema *et al.*, 1997; Gitz *et al.*, 2005; Yao y Liu, 2007; Wargent *et al.*, 2009; Hectors *et al.*, 2010).

Por otro lado, Rosales (2008), señala que el contenido de antioxidantes como la vitamina C, licopeno,  $\beta$ -caroteno y polifenoles, aumentan ante una intensidad lumínica elevada en los frutos de tomate cherry.

Aunque la luz no es esencial en la síntesis de vitamina C, la cantidad y la intensidad de luz durante la estación de crecimiento influye en su contenido en el fruto, ya que el ascorbato se sintetiza a partir de azúcares suministrados a través de la fotosíntesis (Lee y Kader, 2000).

El contenido de vitamina C de los tomates también podría verse afectado por la estación, así como por los nutrientes disponibles y el medio ambiente. Según valores medios registrados por Davies y Kempton (1975), de forma común en el tomate, el rango obtenido es de 150 a 230 mg Kg<sup>-1</sup> de parte comestible de tomate fresco siendo el rango normal de 84 a 590 mg Kg<sup>-1</sup>.

La consecuencia de éstas grandes variaciones pueden ser atribuidas a la intensidad de la luz unos pocos días antes de su recolección, por ello, Hamner *et al.*, 1945, al realizar experimentos en un cultivar de tomate "Bonny Best", observaron un incremento de un 66% en el fruto maduro cuando las plantas se trasladaron de la sombra al sol durante el estado de maduración en verde.

De forma similar, López-Andreu *et al.* (1986), trabajaron con tomates producidos en invernadero y encontraron niveles de vitamina C más bajos que aquellos que crecieron al aire libre, debido, sobre todo, a la baja intensidad de la luz y a que los días son más cortos durante el otoño, invierno y primavera.

También hay estudios donde se ha comprobado un aumento estacional en el contenido de vitamina C (AA+DHA) de los frutos de tomate cultivados al aire libre desde principios hasta finales de verano. Bajo condiciones de sombra, se registró un descenso del 15-20% del contenido de vitamina C en comparación con los frutos expuestos a la luz solar, donde se comprobó que la cara del tomate que estuvo expuesta directamente a la luz, indudablemente, tenía mayores niveles de vitamina C que la cara que daba a la zona de sombra. Así, Torres *et al.* (2006), observaron que, tanto con o sin radiación UV, el fruto de tomate expuesto durante 5 horas a una radiación solar elevada, presentaba un 30% menos de ascorbato reducido (AA) y un 20% menos de dehidroascorbato (DHA) en el exocarpo, sugiriendo una degradación parcial del "pool" total de ascorbato (Rosales, 2008).

De forma similar se comportan los carotenoides en el fruto de tomate maduro ya que, aunque su formación tampoco requiere la inducción de luz, este factor ambiental juega un papel fundamental en la determinación de carotenoides.

Diversos estudios científicos han justificado en este tipo de cultivo la influencia de la radiación; McCollum (1954) demostró que los frutos expuestos directamente a la luz solar durante su maduración, desarrollaron altos niveles de carotenos en comparación con aquellos que estaban sombreados.

También Gautier *et al.* (2008), comprobaron que el aumento de la irradiación en el fruto tomate durante la maduración, permite la acumulación de carotenos.

Por otro lado, en frutos recolectados en invernaderos con cubierta de plástico o cristal, encontraron un contenido más bajo de  $\beta$ -caroteno que en aquellos cultivados al aire libre (Cabibel *et al.*, 1980).

Pero cuando aumenta la intensidad de la luz sobre los compuestos, se ha comprobado que induce su ruptura con la consiguiente formación de compuestos incoloros de bajo peso molecular.

Dumas *et al.* (2003) comprobaron que la exposición de los frutos de tomate a una radiación solar intensa induce el sobrecalentamiento de su superficie, inhibiéndose la síntesis de carotenoides e induciendo la formación de zonas de coloración defectuosa, más conocidas como mancha solar.

Estas reacciones tienen mucha importancia a nivel nutricional y organoléptico ya que los carotenos pierden, además de su función biológica de provitamina A, su color característico.

Existen estudios que demuestran que la degradación del  $\beta$ -caroteno debida a la iluminación con luz fluorescente sigue un modelo de primer orden, favoreciendo dicha iluminación la formación de isómeros. En cuanto al licopeno, se ha puesto de manifiesto que la iluminación de disoluciones modelo con luz fluorescente provoca la formación de 5 isómeros diferentes (Meléndez-Martínez *et al.*, 2004).

En relación a los compuestos fenólicos, se ha observado un incremento distinto en frutos de tomate afectados por la radiación UV recibida a través de diferentes materiales de cubierta en el invernadero, lo cual es un aspecto a considerar desde un punto de vista nutricional (Luthria *et al.*, 2006).

Se ha descubierto que plantas de tomate cherry crecidas en invernadero bajo condiciones de luz intensa acumularon aproximadamente el doble de su contenido normal en fenoles solubles (rutina y ácido clorogénico) que plantas crecidas bajo una baja intensidad de luz (Wilkens *et al.*, 1996; Rosales, 2008).

Torres *et al.*, en 2006, demostraron que, al igual que en las hojas, los flavonoides se inducen rápidamente en el exocarpo de los frutos de tomate sometidos a una radiación elevada como una respuesta fisiológica de aclimatación, aunque no sufría cambios detectables en las concentraciones de estos compuestos

fenólicos (quercetina, canferol o naringenina) conforme se incrementaba la duración de la exposición (Rosales, 2008).

Además, Awad y Jager, en 2002, demostraron que la síntesis de diferentes clases de flavonoides debería estar influenciada por las características del espectro, ya que la producción de estos compuestos se podría ver estimulada para proteger los tejidos vegetales del daño oxidativo (Dixon y Palva, 1995; Ubi, 2004).

Son varios los estudios que han demostrado que dicha radiación es responsable de la inducción de estos productos secundarios (García-Macías *et al.*, 2007; Tsormpatsidis *et al.*, 2008) y hay un considerable interés en el potencial de los compuestos fitoquímicos de los frutos, con beneficio para la salud humana, debido a su actividad antioxidante (Hannum, 2004; Zafra-Stone *et al.*, 2007).

En particular, estos autores encontraron un efecto beneficioso de la radiación UV sobre los flavonoles como la quercetina 3-glucurónido y canferol 3-glucósido, y la antocianina cianidina 3-glucósido.

También, Luthria *et al.* (2006) coinciden con estos autores en que los frutos de tomate crecidos bajo túneles y expuestos a una radiación solar UV ambiente (240-400 nm) tenían, aproximadamente, 16% más del contenido en fenoles totales que los frutos crecidos bajo condiciones de exclusión UV.

Por tanto, una posible desventaja de bloquear los rayos UV de la radiación puede ser una reducción en los niveles de compuestos secundarios tales como compuestos fenólicos en las plantas. Paul y Gwynn-Jones (2003) sugieren que, el incremento de la radiación UV en cultivos protegidos podría ser explotado para aumentar la calidad de la planta para el beneficio de la medicina y la industria alimentaria.

En años recientes, ha habido un rápido crecimiento en el área de cultivos protegidos en virtud de las características fotoselectivas que se han querido inducir a los filmes de polietileno; las mejoras en este tipo de cubiertas para invernadero han conducido a un aumento de la transmisión de la luz, durabilidad y dispersión de la luz y una nueva generación de filmes fotoselectivos, que incluye a aquellos que transmiten o bloquean longitudes de onda específicas dentro del espectro UV, a lo que se podría añadir el obtener productos con sus características organolépticas y nutricionales mejoradas, para satisfacer las necesidades del consumidor y sean beneficiosos para su salud.

### *1.8.1.1. Efecto de los distintos tipos de radiación (UVB, UVA y PAR) del espectro solar sobre el fruto de tomate*

#### 1.8.1.1.1. Radiación ultravioleta-B (UVB)

Desde finales del siglo XX, se realizan estudios que han demostrado una disminución de la capa de ozono estratosférico (Kerr, 1991), causada por la emisión industrial de contaminantes atmosféricos.

Esto provoca una mayor preocupación debido a las consecuencias ecológicas generadas por el aumento de la energía solar UVB (280-320 nm), y los niveles de radiación (Blumthaler *et al.*, 1990) en la agricultura, la producción y los ecosistemas naturales de las plantas.

El aumento de la radiación UVB como resultado de la destrucción del ozono estratosférico puede tener importantes efectos sobre el desarrollo y el intercambio de carbono en una amplia gama de especies de plantas (Teramura, 1983; Tevini *et al.*, 1989).

Desde los primeros informes realizados sobre la reducción del ozono estratosférico hace más de 25 años (Johnston, 1971; Crutzen, 1972), se ha llevado a cabo a nivel mundial una importante investigación sobre los efectos adversos del aumento de la radiación solar ultravioleta (Rozema *et al.*, 1997).

La reducción de ozono puede dar como resultado un aumento sustancial de la radiación UVB (280-320 nm) que alcanza la superficie de la tierra (Jagger, 1985); siendo las plantas uno de los sistemas vivos más afectados, según el pronóstico de la función de un espectro de acción pertinente sobre ellas (Caldwell *et al.*, 1986; Steinmüller, 1986).

El aumento de la radiación UVB puede tener muchos efectos directos e indirectos en las plantas, causando daño del ADN, cambios en morfología, fenología y la acumulación de biomasa (Caldwell *et al.*, 2007).

En los vegetales, la adaptación a diferentes intensidades de esta radiación ha sido de especial importancia para su evolución y desarrollo en distintos hábitat. Variaciones en el grado de tolerancia entre especies han sido bien documentadas (Teramura, 1990; Bornman y Voguelman, 1991) y una clasificación general permite señalar que las especies anuales son más sensibles a la radiación UV que las perennes (Day, 1993).

El grado de sensibilidad a esta radiación, en la mayoría de los casos, se ha detectado por su efecto en procesos que, como la fotosíntesis, son claves para el crecimiento y desarrollo de los vegetales (Pinto *et al.*, 2000).

Numerosos son los estudios que indican que la capacidad fotosintética puede ser alterada debido a la acción directa de este tipo de radiación sobre las enzimas fotosintéticas más importantes (Sullivan y Teramura 1990; Strid *et al.*, 1990; Ziska y Teramura 1992; Fiscus y Booker 1995), como también por su acción sobre el Fotosistema II (PSII) (Bornman y Voguelman 1991; Teramura *et al.*, 1991; Huang *et al.*, 1993; Ziska *et al.*, 1993).

Indirectamente, la radiación UVB también puede alterar la fotosíntesis por sus efectos sobre la función estomática, sobre el área foliar y sobre el contenido de diversos pigmentos, principalmente flavonoides y clorofilas (Tevini *et al.*, 1991; Strid y Porra, 1992; Huang *et al.*, 1993; Wilson y Greenberg, 1993; Teramura y Sullivan, 1994; Day *et al.*, 1996).

Las plantas tienen un mecanismo de protección efectivo en la síntesis de flavonoides y otros fenoles absorbentes de dicha radiación, los cuales son estimulados por tasas de flujo bajas de radiación UVB (Winkel-Shirley, 2002; Frohnmeyer y Staiger, 2003). Estos compuestos actúan como pantallas protectoras frente a la radiación UVB.

Este efecto protector ha sido evaluado en un estudio realizado con dos variedades de tomate, centrándolo en la piel y en la pulpa, observándose un efecto positivo en el contenido de flavonoides en los tomates maduros rojos, de la variedad expuesta a la luz y con presencia de radiación UVB, a diferencia de aquellos frutos de la otra variedad cultivada con ausencia de luz, y donde se observó un efecto negativo.

Se concluyó que el uso de cubiertas plásticas específicas capaces de eliminar la radiación UVB, puede ser una opción para modular la expresión de los genes estructurales y, a su vez, para mejorar los compuestos saludables antioxidantes en los frutos de variedades de tomate.

La calidad de la luz, además, tiene un impacto en las modificaciones de la estructura de los flavonoides; Wilson *et al.* (1998), mostraron que la radiación UVB estimula la reacción de hidroxilación que convierte la quercetina en canferol. Sin

embargo, los resultados no aportan demasiada información sobre los efectos del fotoperíodo en la producción de flavonoides.

Por otro lado, Giuntini *et al.* (2005), trabajaron con tres variedades diferentes de tomate cultivadas en invernadero, bajo una cubierta de polietileno transparente a los rayos UVB o con reducción de dicha radiación, y observaron para el ascorbato total (AA+DHA), una reducción similar en los frutos de los genotipos “Esperanza” y “DRW 5981”, expuestos a la radiación UVB, que a su vez acumularon bajos y altos niveles de licopeno, respectivamente, en estas mismas condiciones. En el genotipo “HP1” se encontró un aumento en el contenido en carotenoides y flavonoides.

Un ambiente sin luz UVB aumentó la actividad antioxidante y el contenido en carotenoides en Esperanza, mientras que redujo el contenido en carotenoides de DRW 5981, y no hubo un efecto significativo sobre HP1 (Rosales, 2008). Como la radiación UVB ejerce efectos muy diferentes sobre el contenido en carotenoides, (Giuntini *et al.*, 2005), las condiciones de luz deben por tanto ser consideradas en la selección de variedades o líneas.

#### 1.8.1.1.2. Radiación ultravioleta-A (UVA)

Dentro del espectro ultravioleta, se encuentra también la radiación UVA (320-400 nm), de la cual un 98,7% alcanza la superficie de la Tierra, ya que es absorbida mínimamente por el ozono (Yarosh y Smiles, 2009).

Aunque no se ha profundizado mucho en la investigación sobre la respuesta de las plantas a los rayos UVA, parece mucho más uniforme que la respuesta a UVB.

En contraste a los rayos UVB, UVA no suele ser considerada como un factor de estrés potencialmente dañino, aunque Turcsanyi y Vass (2000), informaron que la UVA provoca el deterioro del PSII.

Este tipo de radiación genera fotorreacciones secundarias de fotoproductos de ADN existentes o daños del ADN mediante una serie de reacciones que dan lugar a la formación de especies reactivas del oxígeno (ROS) (Sinha y Häder, 2002).

La radiación UVA puede inducir, por tanto, estrés oxidativo a través de la inducción de ciertos compuestos en plantas para generar especies reactivas de oxígeno (Xia *et al.*, 2007).

Sin embargo, las plantas superiores son capaces de generar una serie de pigmentos como los flavonoides y las antocianinas, con la capacidad de absorber dicha radiación (Sinha *et al.*, 1998).

Guo y Wang (2010), afirmaron que la radiación UVA está implicada en la acumulación de antocianinas en el fruto de tomate; la biosíntesis de estos pigmentos se compone de una vía compleja, regulada por la PAL (fenilalanina amonio-liasa), enzima que participa en la síntesis de flavonoides y compuestos fenólicos durante el desarrollo del fruto y que está también implicada en la acumulación de antocianinas en el tomate casi maduro (Kumar y Ellis, 2001; Chen *et al.*, 2008).

La expresión de la PAL, es regulada por el medio ambiente, por tanto, este tipo de radiación, podría ser la responsable de su fotoinducción cuando el fruto es expuesto a la radiación UVA.

Por otro lado, se ha comprobado que la suplementación de la radiación PAR con UVA puede aumentar los niveles de pigmentos tales como clorofilas, carotenoides y compuestos absorbentes de UV, incluyendo antioxidantes, que según estudios efectuados estimulan el crecimiento de las plantas en general (Foyer *et al.*, 1994; Ehling-Schultz *et al.*, 1997; Doehler, 1998; Shiozaki *et al.*, 1999).

Estos efectos positivos de UVA ofrecen la posibilidad de aumentar la concentración de compuestos antioxidantes en especies vegetales con bajos niveles de este tipo de radiación.

En plantas ornamentales UVA y UVB inducen cambios en pigmentos coloreados y por tanto en la coloración de tejidos, lo cual les proporciona un alto valor comercial (Hoffman, 1999).

#### I.8.1.1.3. Radiación fotosintéticamente activa (PAR)

Se ha establecido una correlación débil de la incidencia de este tipo de radiación en varios parámetros de calidad del fruto; las bajas correlaciones entre el peso seco, el contenido de sólidos solubles y la radiación PAR sugieren que la acumulación de azúcares en los frutos de tomate resulta limitada en muy pequeña proporción por la actividad fotosintética, de acuerdo con los trabajos de Baxter *et al.* (2005) en los que demuestran que el aumento de los °Brix en los frutos no depende de la capacidad fotosintética de las plantas (Riga *et al.*, 2008).

Según Gautier *et al.* (2005b), tampoco encontraron una relación entre la acidez y la intensidad de luz incidente en los frutos.

La baja correlación encontrada entre la dureza y la radiación PAR acumulada durante los últimos 45 días antes de la cosecha de los frutos, y la ausencia de correlación entre la jugosidad y la radiación PAR acumulada podría deberse, por tanto, a la pequeña relación encontrada entre la actividad de los enzimas de las membranas y la cantidad de luz interceptada por las plantas (Dumas *et al.*, 2003).

En cuanto a las propiedades antioxidantes según Gautier *et al.* (2005b), el contenido de vitamina C no se vio afectado por la intensidad de la luz fotosintética sobre los frutos de tomate. Sin embargo, durante la maduración del fruto, aumentando la radiación PAR, y más concretamente la banda de luz azul, se produjo un incremento en el contenido en licopeno y  $\beta$ -caroteno en el fruto (Gautier *et al.*, 2004).

Para otras especies vegetales, la franja azul incrementa las concentraciones de ácido ascórbico y antocianinas en el fruto (Spalding y Cosgrove, 1989; Parks *et al.*, 2001; Lester, 2006); sin embargo, este efecto positivo de la luz azul sobre los fitonutrientes en tomate es menos concluyente debido a sus variaciones entre los genotipos y las condiciones de crecimiento (Jen, 1974; Spalding y Cosgrove, 1989; Parks *et al.*, 2001; Ménard *et al.*, 2006).

#### 1.8.1.1.4. Radiación infrarroja (IR)

Otros tipos de luz, como la procedente de la radiación infrarroja próxima (NIR), estimulan la acumulación de carotenoides en el tomate, mientras que la luz del rojo-lejano detiene la producción de carotenoides como el licopeno, probablemente desde los fitocromos localizados en el fruto (Thomas y Jen, 1975; Alba *et al.*, 2000).

Por contra, el contenido en ascorbato se ve incrementado bajo condiciones de luz infrarroja (NIR) de 700-1.100 nm. Esta respuesta podría ser debida a un efecto combinado de la calidad espectral y la temperatura del fruto, que afecta al metabolismo de los azúcares y consecuentemente a su contenido en ascorbato (Gautier *et al.*, 2008).

### **I.8.2. Efecto de la temperatura sobre los fitonutrientes del fruto de tomate**

La temperatura es otro factor ambiental que influye en la calidad del fruto de tomate y está relacionado con el parámetro luz solar.

Ésta influye directamente sobre el metabolismo vegetal y, por tanto, afecta tanto al desarrollo del fruto de tomate como a su valor nutricional (Dorais *et al.*, 2001; Heuvelink y Dorais, 2005). Para la maduración del fruto, se requieren temperaturas relativamente elevadas, tanto dentro como fuera de la planta.

Según otras fuentes (Dumas *et al.*, 2003), la información acerca de los efectos de la temperatura sobre el contenido de antioxidantes en el fruto de tomate está relacionada principalmente con los carotenoides. Siendo escasa para la vitamina C y los compuestos fenólicos.

Puesto que para la biosíntesis de ciertos fitonutrientes, como los flavonoides o el ascorbato, se requiere una gran disponibilidad de esqueletos carbonados, se ha comprobado que un incremento en la acumulación de azúcares a través de la reducción en la respiración bajo temperaturas bajas podría resultar en un mayor nivel de estos compuestos fitoquímicos. En consecuencia, el contenido en ascorbato puede disminuir cuando aumenta la exposición del fruto a la luz solar, debido probablemente a un incremento en la degradación de este compuesto con elevadas temperaturas (Torres *et al.*, 2006), mientras que la regulación de los carotenoides por la temperatura es específica del cultivo (Rosales, 2008).

Gautier *et al.* (2008), mostraron que un incremento de temperatura promueve la acumulación de ascorbato en los frutos de tomate cherry, pero a partir de los 32°C queda limitada. Por ello, podría reducirse la síntesis de ascorbato a causa de su degradación debido a la oxidación del compuesto.

Sin embargo, no explicaron un efecto claro de la temperatura en el reciclaje entre las formas oxidada y reducida, excepto una reducción transitoria en la forma oxidada.

Rosales *et al.* (2006), informaron de la producción de un incremento de la oxidación del ascorbato reducido en el mismo tipo de tomate cultivado en invernadero, como resultado de ocasionarse un incremento de la radiación y la temperatura durante el verano.

Otros metabolitos secundarios sensibles al incremento de temperatura son los carotenos. La temperatura óptima del cultivo de tomate depende tanto del

genotipo como de las interacciones con los factores ambientales y de cultivo, siendo mayor la síntesis de licopeno cuando la temperatura oscila entre 12 y 21 °C (Dorais *et al.*, 2001).

Así, Krumbein *et al.* (2006), observaron un incremento en la concentración en licopeno en tomates tipo cherry y tipo redondo cuando la temperatura del fruto, durante la fase de maduración, se incrementaba de 15 a 20 °C en otoño y de 18 a 22 °C en primavera, encontrándose la temperatura óptima entre 20 y 24 °C para la biosíntesis de licopeno (Rosales, 2008).

Sin embargo, se ha comprobado que a partir de 32 °C se produce una degradación de este fitonutriente, presentándose su máximo contenido en frutos entre 17 y 26 °C (Dumas *et al.*, 2003).

Coincidiendo con estos datos, Rosales *et al.* (2006) observaron la inhibición de la acumulación de caroteno en el mismo tipo de tomate debida al incremento de temperatura en el fruto. En este caso, se observaron pigmentaciones defectuosas cuando la temperatura y la radiación alcanzaron su máximo.

Esta fisiopatía, conocida como “mancha solar” aparece en los frutos maduros de tomate formando un anillo o manchas amarillo-anaranjadas alrededor de la zona de abscisión del fruto y que resultan de la síntesis reducida de licopeno o de un aumento en la oxidación de este compuesto a  $\beta$ -caroteno (Adegoroye y Jolliffe, 1983), causando pérdidas dramáticas a los productores y a los consumidores (Adams *et al.*, 2001; Rosales, 2008).

En 2008, Gautier y colaboradores, demostraron que incrementar la temperatura de 21 a 26 °C no tiene efecto en el contenido en licopeno, pero sí se reducen los niveles de  $\beta$ -caroteno. En contraste, un aumento de temperatura de 27 a 32 °C en los frutos de tomate cherry no tiene efecto sobre el contenido en  $\beta$ -caroteno, pero se reduce fuertemente el contenido de precursores del fitoeno, fitoflueno, licopeno, y en menor medida, neurospeno.

Estos datos corroboran que la síntesis de licopeno fue inhibida a los 32 °C, mientras que la de  $\beta$ -caroteno no (Baqar *et al.*, 1978), pero también revelan que la acumulación de algunos carotenos ya estaba inhibida a 26 °C en comparación a 21 °C.

En contraste al licopeno, el  $\beta$ -caroteno del tomate sólo se ve ligeramente afectado por la alta temperatura, probablemente debido a la conversión de licopeno a  $\beta$ -caroteno, bajo condiciones de elevadas temperaturas (Rosales, 2008).

En cuanto a los compuestos fenólicos, solo rutina y un compuesto derivado del ácido cafeico han sido estudiados por estos autores, que aumentaron cuando la temperatura del fruto se incrementó de 27 a 32°C. Esta observación es completamente coincidente con la de George *et al.* (2004) que encontraron un aumento del doble de los fenoles totales, en plantas crecidas a temperaturas menores de 35°C en lugar de 25°C; este fenómeno podría deberse a un mecanismo de aclimatación de la planta contra el estrés por calor (Rivero *et al.*, 2001).

Finalmente, otro aspecto a considerar, dentro de la calidad total del fruto de tomate, es la influencia de los factores ambientales en su calidad organoléptica.

Pese a los pocos estudios realizados al respecto, parece ser que el sabor de los frutos de tomate también está afectado por las condiciones de estrés producidas durante el verano. Así, Winsor y Adams (1976) en su estudio ya demostraron un aumento en el contenido de azúcares durante los meses de verano en los invernaderos mediterráneos, lo que provocó un incremento en la calidad de los tomates (Rosales, 2008).

Otros autores han estudiado el efecto de la temperatura sobre dicha calidad y afirman que incrementando la temperatura del fruto no se ve afectado el contenido final de hexosa, pero cuando aumenta de 21 a 26°C, la acidez total del fruto se redujo más de un 25%. En consecuencia, un aumento de temperatura puede mejorar la calidad gustativa del fruto ya que aumenta la proporción ácido/azúcar (Gautier *et al.*, 2008).

También observaron que tanto la radiación solar como la temperatura tienen una gran influencia en la acumulación de azúcar del fruto, sin embargo, bajo condiciones normales, es difícil atribuir el efecto de cada parámetro de forma individual (Beckles, 2012).

Altas temperaturas, del rango de 26 a 30°C en el fruto permitieron un incremento del contenido de sólidos solubles totales durante su división celular y su maduración, a causa de los cambios en la actividad enzimática en la biosíntesis de carbohidratos (Walker y Ho, 1977), y de un aumento de la transpiración,

respectivamente. En ambos casos, el peso fresco del fruto y los días de recolección también disminuyeron con la subida de la temperatura.

Por otro lado, los cambios estacionales en la radiación también han provocado un gran efecto en el azúcar del tomate. En un estudio realizado, el contenido de azúcar aumentó de 18 a 28 mg L<sup>-1</sup> en tomates cultivados en un invernadero de cristal, desde abril hasta septiembre, coincidiendo con el aumento de la radiación de 50 a 170 J m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> (Davies y Hobson, 1981).

Finalmente, existen otros estudios que apoyan este hallazgo (Winsor, 1979) y que corroboran que las variaciones de temperatura también acompañan a los cambios estacionales en la luz, y por lo tanto deben tenerse en cuenta.

Otros estudios más específicos han mostrado que una calidad escasa de luz contribuye a un sabor inferior en frutos “fuera de estación” producidos en invernaderos de Northern (Cockshull *et al.*, 1992; Riga *et al.*, 2008).

## **CAPÍTULO II. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS**



## II. PLANTEAMIENTO Y OBJETIVOS

El tomate es la hortaliza más popular y difundida a nivel mundial. Su demanda aumenta continuamente, y con ella su cultivo, producción y comercio. Se trata de un cultivo que mantiene su superficie no solo por su rentabilidad, sino por el abanico de posibilidades que hay a su alrededor.

Todas las provincias españolas dedican alguna superficie al cultivo del tomate, principalmente en regadío (MAGRAMA, 2011). El fruto de tomate tiene innumerables aplicaciones en la cocina, es un alimento nutritivo y con enormes propiedades saludables. Por la gran variedad de tipos de frutos y las altas producciones es una especie vegetal muy apreciada por los agricultores y muy raro no verla en cualquier rotación o alternativa de cultivos (Reche, 2009).

El objetivo a perseguir para incorporar activos innovadores a los alicientes ya existentes de este producto hortícola, será conocer con mayor profundidad los factores de cultivo y ambientales que potencien la aparición y niveles de concentración de sustancias beneficiosas que constituyen el fruto del tomate, y en establecer los protocolos analíticos adecuados para su determinación. Ello supone, por una parte, conocer con detalle el entorno agronómico donde se produce el fruto, es decir, todas las fases y elementos que intervienen en el proceso de cultivo hasta la recolección de este, en los que se habrán de incluir aquellos que afecten a la estabilidad a lo largo del tiempo de las propiedades de los implementos de cultivo, como la de los filmes de cubierta. Y por otra, y de importancia paralela, barajar protocolos de análisis que puedan ser compatibles y utilizables para establecer la valoración de los niveles de los compuestos que se persiguen.

Considerando la importancia económica y nutricional del cultivo de tomate, se plantea como objetivo general de esta Tesis Doctoral el estudio de la influencia de las condiciones ambientales sobre el comportamiento de la planta así como de las características cualitativas y analíticas del fruto.

Para la consecución de este objetivo general se plantean los siguientes objetivos específicos:

1. Evaluar la influencia de las condiciones de cultivo sobre el desarrollo y fructificación de la planta.
2. Valorar el efecto de las condiciones de cultivo sobre la calidad organoléptica, parámetros de composición y el contenido antioxidante en las fases lipo e hidrofílica del fruto.

## **CAPÍTULO III. MATERIALES Y MÉTODOS**



### III. MATERIAL Y MÉTODOS

#### III.1. LOCALIZACIÓN DEL ÁREA DE ENSAYO

Los ensayos se llevaron a cabo en la finca experimental del IMIDA, Torreblanca, que se encuentra ubicada a 4 Km de la costa mediterránea, en el término municipal de Torre Pacheco, en la comarca del Campo de Cartagena (Murcia). Su situación geográfica queda definida por sus coordenadas geográficas, que la localizan entre los paralelos 38° 34' y 37° 23' de Latitud Norte, y entre los meridianos 3° 13' y 1° 20' de longitud Este, tomando como base el meridiano de Madrid.

#### III.2. CARACTERÍSTICAS DE LOS MATERIALES DE CUBIERTA

Los materiales de cubierta evaluados fueron cinco:

- TRATAMIENTO 1. Larga Duración Experimental (LDe): T1.
- TRATAMIENTO 2. Polietileno Térmico Comercial (PETc): T2.
- TRATAMIENTO 3. Ultravioleta A 100% Experimental (UVA100%e): T3.
- TRATAMIENTO 4. Larga Duración Comercial (LDc): T4.
- TRATAMIENTO 5. Ultravioleta Experimental (UVE): T5.

Todos ellos difieren entre sí en las características de transmisión de la radiación, tal y como se constató en su material virgen, en los controles realizados previamente al inicio del ensayo (**Tabla III.9**).

Como características diferenciales que existían entre los materiales de cubierta, en cuanto a coloración los tratamientos 1 y 4 eran amarillos con mayor o menor intensidad, producida por la adición de aluminio y benzofenona, y el resto de tratamientos eran transparentes con diferentes grados de opalinidad y con una coloración grisácea. Además, el tratamiento 4 tenía un espesor de 180  $\mu$ , mientras que el resto fue de 200  $\mu$ .

**Tabla III.9.** *Porcentaje de transmisión de la radiación en los distintos materiales vírgenes evaluados (Enero, 2010).*

	GLOBAL	UVB	UVA	PAR
T1	82,24	59,64	6,17	71,94
T2	89,71	60,38	4,55	88,62
T3	92,11	59,52	1,00	89,43
T4	91,85	63,16	1,42	90,16
T5	92,40	69,90	18,70	89,78

También fue estudiada la evolución de las propiedades ópticas de los plásticos de cobertura, observándose los niveles de la radiación global en el exterior y las distintas fracciones que penetraban en los invernaderos a través de los diferentes materiales de cubierta con sus filtros aditivados. Para ello se utilizó una batería de sensores portátiles de radiación global, radiación ultravioleta (UVB y UVA) y radiación fotosintéticamente activa (PAR) tal y como se muestra en la **Figura III.10.**



**Figura III.10.** *Batería de sensores portátiles de radiación.*

### III.3. MEDIDAS DE VARIABLES AMBIENTALES DE INTERÉS

#### III.3.1. Al aire libre

El seguimiento de las condiciones climáticas al aire libre en las que se desarrolló el ensayo se realizó con la infraestructura de toma de datos del

observatorio meteorológico situado en la finca experimental, el cual está incluido dentro de la red de observatorios de la Agencia Estatal de Meteorología del país.

Las variables a estudiar fueron temperaturas máximas y mínimas absolutas, humedades relativas máximas y mínimas absolutas, pluviometría semanal y máxima diaria, radiación total semanal y número total de horas de sol semanales.

### III.3.2. En invernadero

Las variables ambientales más importantes en invernadero que pueden repercutir en la conducta del cultivo y sobre la calidad y composición (González *et al.*, 2003b).

#### III.3.2.1. Temperatura

Por otro lado, se estudiaron las variaciones de las condiciones térmicas que hubieron en el interior de los invernaderos mediante la colocación de registradores electrónicos marca Testo, modelo 177-H1 (**Figura III.11**), los cuales controlaron la temperatura a una altura de 1,5 m, haciéndolo de manera ininterrumpida con una cadencia de 10 minutos; estos datos eran almacenados por el minirregistrador y posteriormente exportados “in situ” con la ayuda de un descargador marca Testo, modelo Shuttle H09-003-08, desde donde fueron volcados a un soporte informático compatible para ser procesados.



**Figura III.11.** Minirregistrador de humedad y  $T^a$  Testo, 177-H1.

### III.3.2.2. *Humedad relativa*

Esta variable fue controlada con los mismos registradores Testo citados y con igual cadencia.

### III.3.2.3. *Radiación*

La radiación global externa se controló como índice orientador general del cultivo, mientras que las fracciones de UV y PAR han sido seguidas una vez han sido filtradas por los distintos materiales de cubierta.

#### III.3.2.3.1. Global

La radiación global registrada en el interior de los invernaderos se midió mediante un "Medidor de Luz (Light Meter) LI-250" con un sensor radiométrico del tipo "SA", según es denominado por la firma "LI-COR" (USA) que fabrica el mismo.

Dicho sensor produce una corriente proporcional a la intensidad de la radiación. Su precisión es de  $\pm 0,04\%$ , a  $25^{\circ}\text{C}$  y mide en el rango de 0 a  $1.999 \text{ W m}^{-2}$  con una resolución de  $0,1 \text{ W m}^{-2}$ , según las mismas especificaciones mencionadas.

Su calibración se midió mientras que el sensor fue expuesto a una lámpara estándar de intensidad conocida y recibe el nombre de calibración Constante (Clconstant). Posee almacenamiento en memoria para dos multiplicadores de calibración y el factor de calibración se ingresa desde el teclado.

Las medidas LI-250 de la corriente de salida del sensor se miden en unidades de microamperios, y se convierten a unidades de radiación.

#### III.3.2.3.2. Ultravioleta (UV)

Las radiaciones UVA, UVB y PAR se midieron a partir de instrumentos portátiles Delta OHM, modelo HD2102.2 conectados a sensores específicos en el caso de UV. Son datalogger capaces de guardar hasta 38.000 muestras que pueden ser transferidas en tiempo real a un ordenador conectado al instrumento a través del puerto serial poliestándar RS232C y USB 2.0.

Las sondas tienen un módulo de reconocimiento automático SICRAM y permiten la selección de la unidad de medida. En su interior están guardados los datos de calibración de la empresa.

Las medidas de radiación UVA se tomaron mediante un sensor específico radiométrico tipo LP 471 UVA que permite lecturas en el rango 315-400 nm, mientras que para la medida de radiación UVB se usó otro sensor, tipo LP 471 UVB, en el campo espectral comprendido entre 280-315 nm.

Ambas miden en un campo de medida entre  $0,1 \cdot 10^{-3}$  -  $2000 \text{ W m}^{-2}$ , con un error en la lectura del instrumento de  $\pm 1$ .

#### III.3.2.3.3. Fotosintéticamente activa (PAR)

Para la lectura de medidas de radiación PAR se usó un radiómetro LICOR, modelo LI-1400, el cual lleva acoplado un sensor LI-190 Quantum Sensor, que mide dentro del espectro de luz comprendido entre 400-700 nm. El campo de medida se sitúa entre  $0,01 \cdot 10^3 \text{ E m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

Los instrumentos calculan, además de la medida instantánea, el integral en el tiempo de las medidas adquiridas  $Q(t)$ . A la medida integrada o al tiempo de integración se pueden asociar unos umbrales que se pueden configurar dentro del menú.

#### III.3.2.3.4. Evolución de la transmisión de la radiación

Se recogieron probetas directamente de la cumbre del invernadero en distintas fases de los ciclos de cultivo durante las dos campañas a los 259, 478 y 675 días después del inicio de la cobertura.

Para ello se utilizó la batería de sensores portátiles de radiación global, radiación ultravioleta (UVB y UVA) y fotosintéticamente activa (PAR) cuyas características se han citado anteriormente. Dichas probetas se colocaron sobre los sensores en la misma posición que se encontraban en el invernadero y todas las medidas de la radiación se tomaron a partir de una lectura instantánea exclusivamente en días despejados con ausencia de cualquier tipo de nubes, incluidas las espectrales, y a las 12 del mediodía, llevándose a cabo varias observaciones a lo largo del ciclo de cultivo.

### III.4. DESCRIPCIÓN DE LOS INVERNADEROS EXPERIMENTALES

Los invernaderos utilizados han sido de tipo túnel visitable, modelo Kyoto (**Figura III.12**). Este tipo de estructura, está formada por arcos, separados 0,50 m

entre sí, que se apoyan de forma alterna en zapatas de hormigón. Cada unidad de cultivo o invernadero presenta una anchura de 5,50 m, 9,00 m de largo y 2,70 m de altura en la cumbre, resultando una superficie utilizable de 50 m<sup>2</sup>. Así mismo está dotada de una puerta frontal, de 2x1 m, para acceder a la misma.

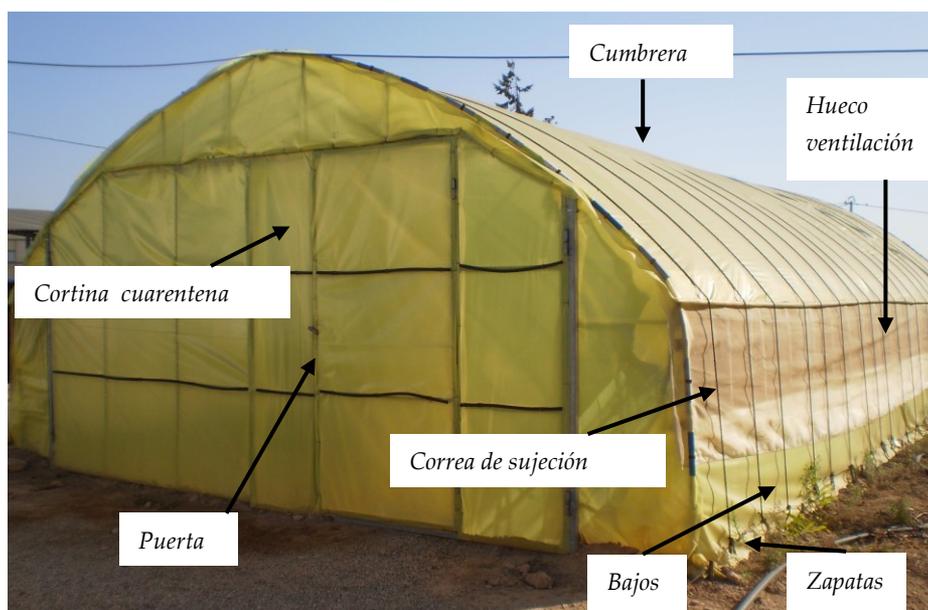
A su vez, posee opción de una ventilación estática lateral, manual, en ambos lados, que discurre a lo largo del invernadero, pudiendo alcanzar una anchura máxima de 0,70 m.



**Figura III.12.** Vista exterior de los invernaderos experimentales, tipo túnel visitable, modelo Kyoto.

Estos huecos de ventilación, situados a partir de los bajos, de 1 m de altura, están protegidos con malla antiinsectos de 20x10 hilos/cm<sup>2</sup>, para evitar la entrada física de trips, mosca blanca y otros insectos, especialmente vectores de enfermedades producidas por virus (Pérez-Parra *et al.*, 2003). Estas mallas, por tanto, impedían también la entrada de adultos de otra plaga que afecta de forma muy importante a los cultivos de tomate, la tuta (*Tuta absoluta*). Igualmente, a la puerta del invernadero se le colocó interiormente una cortina suplementaria de este mismo tipo de malla, a modo de protección de cuarentena, que dificultaba la posible entrada de insectos cuando la puerta se abría para realizar la toma de datos y el trasiego habitual de las prácticas de cultivo.

La sujeción del material de cubierta a la estructura metálica, además de la longitudinal a lo largo del invernadero, propiciada por el enrollamiento en la barra de las cortinas, se realizó transversalmente, colocando correas redondas de 7 mm de diámetro y 4 cabos, de material reciclado de hilos de plástico mezclados con fibra textil, para restar poder de abrasión, separadas 1 m entre sí; estas correas abarcaban todo el arco del invernadero, quedando sujetas a ambos lados, desde la parte inferior de cada uno de los bajos por donde transcurrían, respectivamente, sendos cables acerados de 0,5 cm de diámetro (**Figura III.13**).



**Figura III.13.** Estructura del invernadero.

### III.5. MATERIAL VEGETAL

La especie vegetal utilizada para evaluar los efectos buscados de las condiciones ambientales, ha sido tomate, variedad Brenda; es un híbrido de primera generación, F1, propiedad de la casa Gautier, y que tiene como particularidades más representativas, el poseer preferentemente un fruto grueso, de calibres G a GG, con forma ligeramente achatada y acostillado; con hombros color verde oscuro con tamaño definitivo y color rojo vivo en maduración, que le confiere una buena presentación; ofrece una buena consistencia y una excelente conservación en poscosecha (**Figura III.14**).

Las características propias del grupo al que pertenece le proporcionan una serie de ventajas a la hora de su comercialización, ya que se trata de una variedad con una alta producción en frutos de un tamaño y calidad mantenidos a lo largo del ciclo productivo de la planta. Se recomienda para cultivos de ciclo corto en otoño o primavera.

La planta, además de rústica, tiene entrenudos cortos y no desarrolla excesivos tallos con lo que se ahorra mano de obra en labores de limpieza, es poco exigente en agua y mantiene su ritmo productivo a lo largo del tiempo, así como la calidad de la producción.

Por otro lado, es una planta resistente a virus del Mosaico del Tabaco (TMV), *Verticillium dahliae*, *Fusarium 2* y resistente a Nematodos (*Meloidogyne incognita*, *M.javanica*, *M.arenaria*).



**Figura III.14.** Frutos maduros de tomate, variedad Brenda.

### III.6. OPERACIONES DE CULTIVO

El ensayo se llevó a cabo durante dos años consecutivos, del 2009 al 2011, en los que se realizaron dos campañas de ciclo largo que se desarrollaron desde el invierno hasta el verano. El primer ciclo de cultivo se inició con el trasplante el 19 de enero de 2010, finalizando el ciclo el 19 de julio de ese mismo año; el segundo ciclo comenzó el 12 de enero de 2011 y se dio por terminado el 6 de julio.

#### III.6.1. Siembra y trasplante

Para la realización de los cultivos, las semillas de tomate variedad Brenda se sembraron en bandejas de poliestireno de 150 alvéolos de forma tronco piramidal, de sección mayor 3x3 cm y con capacidad de 40 cm<sup>3</sup>; utilizando como sustrato una mezcla estándar de turbas, de uso habitual, y empleando para ello tecnología propia de la zona. Se mantuvieron en el semillero 11 semanas y transcurrido este

tiempo, cuando tuvieron el tamaño adecuado, se trasplantaron las plántulas a los cinco invernaderos experimentales donde se realizó el estudio, manteniendo el cultivo durante 6 meses, aproximadamente, repitiéndose dicha tarea en la siguiente campaña.

### III.6.2. Densidad de plantación

El marco de plantación utilizado fue de 1x0,4 m, llevándose el cultivo a 2 guías. Ello permitió colocar 4 líneas de cultivo a lo ancho de cada invernadero, de las cuales las dos centrales se consideraron tratamiento y las dos externas, como veras o líneas de guarda.

Las líneas de cultivo estaban orientadas paralelas al eje mayor longitudinal del invernadero, en dirección Este-Oeste. Dentro de las líneas de tratamiento, las plantas de la cabeza y de la cola también fueron consideradas como guardas (**Figura III.15**).



**Figura III.15.** Vista interior del invernadero experimental con el cultivo de tomate Brenda.

### III.6.3. Prácticas de mantenimiento del cultivo

Las plantas de tomate que son cultivadas en invernadero pueden mantenerse durante 6-9 meses, o incluso más, guiando las plantas mediante tutores verticales hacia la cumbre del invernadero.

Se deben ir eliminando las hojas viejas conforme avanza el proceso de recolección de los racimos de frutos desde las zonas más inferiores de la planta y bajar el tallo principal de forma que la planta mantenga el tallo principal durante todo su ciclo vital.

El desarrollo de estas labores culturales se puede mantener mientras la planta esté en crecimiento activo, protegiéndola de enfermedades y cualquier tipo de estrés. El resultado de ello permitirá mantener productiva a la planta de tomate de porte indeterminado durante un período de tiempo largo.

#### **III.6.4. Tutorado**

Otras prácticas culturales realizadas durante los ensayos fueron el tutorado, colocando un hilo de rafia a modo de tutor por cada guía vegetativa de las plantas, y sobre los cuales se fueron sosteniendo éstas. Además, para mantener el vigor de las guías y su dominancia apical, se fueron haciendo destallados periódicos de las nuevas brotaciones surgidas de las axilas de las hojas. También, cuando los frutos de los primeros racimos adquirieron tamaño definitivo, se empezaron a limpiar las hojas viejas en sentido acrópeto, para facilitar la llegada de la luz a éstos y procurar una maduración óptima. Cuando se estimó la finalización del ciclo de cultivo, se pinzaron las plantas a la altura del undécimo racimo suprimiendo el ápice de la planta y su meristemo terminal, potenciando con ello que las sustancias alimenticias se distribuyeran en los últimos frutos a controlar y que no se emplearan en hacer más masa vegetativa que no iba a ser estudiada.

#### **III.6.5. Características del riego**

El sistema de riego utilizado fue localizado, por goteo; para suministrarlo se instalaron mangueras portagoteros de polietileno negro, de diámetros interior/exterior, 10/12 mm, y con emisores de 3 L h<sup>-1</sup> de caudal nominal, a 1 atm de presión, situados a 0,4 m. A cada línea de cultivo se le colocó paralelamente una manguera, distanciada unos 10 cm del cuello de la planta y en una pequeña roza o canaleta practicada en el suelo, que ayudaba a que los caudales aportados, se localizaran en una banda húmeda en la proximidad del área del desarrollo radicular de las plantas y no encharcaran los pasillos.

Los riegos fueron aplicados 2 ó 3 veces por semana, según las condiciones ambientales, el desarrollo de la planta y sus necesidades de fertilización. La duración de cada riego osciló entre 0,5 y 1,5 horas, con un volumen medio de agua aplicado por riego de 0,666 m<sup>3</sup>.

El agua empleada para el riego proviene de los suministros periódicos del trasvase Tajo-Segura, que son almacenados en un pantano de 9.000 m<sup>3</sup> de capacidad situado en la finca experimental, y cuyas características aseguran una adecuada conducta de las plantas. De las aportaciones hídricas se realizaron análisis mensuales para conocer su contenido en los iones más importantes y su evolución a lo largo del ensayo.

**Tabla III.10.** Características químicas medias del agua de riego aportada a los cultivos (2009-2011).

Aniones		Cationes	
Totales (meq L <sup>-1</sup> )	10,14	Totales (meq L <sup>-1</sup> )	10,69
Carbonatos	0,00	Sodio	4,77
Bicarbonatos	0,75	Potasio	0,18
Cloruros	6,02	Calcio	2,62
Nitratos	0,00	Magnesio	3,12
Nitritos	0,00	C.Eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	1,15
Sulfatos	3,37	pH	7,77
Fosfatos	0,00	Dureza (°Franceses)	28,87
Sales totales (g L <sup>-1</sup> )	0,74	Cloruro sódico	0,35

En la **Tabla III.10** se detalla la composición química media referida al contenido total de cationes y aniones, expresada en meq L<sup>-1</sup>, el de sales totales (g L<sup>-1</sup>), referido al contenido de cloruro sódico, así como la conductividad eléctrica, pH y dureza del agua de riego. Según los valores normales de la FAO en aguas de riego,

los resultados de los análisis indican que se trata de un agua de buena calidad, apta para regar (Ayers y Westcot, 1985).

### III.6.6. Detalles de la fertilización

Las dotaciones nutritivas se aplicaron por fertirrigación, procurando fomentar la instalación del sistema radicular al principio tras el trasplante con adiciones de abonos solubles ricos en fósforo, y alternando posteriormente complejos nitrogenados ricos en calcio o potasio en búsqueda de fortalecer el crecimiento de la planta y de sus órganos aéreos, así como de preservar la calidad de los frutos. Se procuró no incrementar la concentración de la solución nutritiva, no superando la proporción de 1 gramo de abono por litro de agua, para no provocar elevaciones excesivas de la conductividad de la solución.

Los fertilizantes empleados fueron Nitrato Potásico ( $\text{KNO}_3$ ), Fosfato monoamónico ( $\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ ), y Nitrato Cálcico ( $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ ), junto con micronutrientes en forma de Quelatos de Hierro, de acuerdo a las normas descritas de Producción Integrada de la Región de Murcia, y de forma proporcional a las dosis recomendadas. La cantidad media de fertilizante adicionada por aplicación fue de 460,0 g/riego.

También se practicaron analíticas del suelo de los invernaderos para constatar su idoneidad, realizándose la determinación de pH, conductividad eléctrica ( $\text{dS m}^{-1}$ ), contenido en elementos solubles, cationes y aniones junto con el complejo de cambio y el contenido en materia orgánica (**Tabla III.11**), al igual que con el agua la analítica del suelo evidenció la calidad adecuada del soporte edáfico para llevar a cabo los cultivos.

**Tabla III.11.** Análisis medio de suelo en extracto de saturación de los invernaderos experimentales (2009-2011).

Contenidos	Valores medios
pH en extracto saturado	7,41
Conductividad eléctrica (dS m <sup>-1</sup> )	12,12
<b>ELEMENTOS SOLUBLES (meq L<sup>-1</sup>)</b>	
Bicarbonatos	4,58
Cloruros	50,84
Nitratos	28,23
Nitritos	0,12
Sulfatos	53,58
<b>ANIONES TOTALES (meq L<sup>-1</sup>)</b>	
Sodio	34,00
Potasio	10,06
Calcio	42,20
Magnesio	28,80
<b>CATIONES TOTALES (meq L<sup>-1</sup>)</b>	115,20
<b>COMPLEJO DE CAMBIO (meq 100 g<sup>-1</sup>)</b>	
Potasio	2,93
MATERIA ORGÁNICA TOTAL (%)	2,5
M.O. FÁCILMENTE OXIDABLE (%)	2
CARBONO ORGÁNICO TOTAL (%)	1,45
RELACIÓN CARBONO/NITROGENO	8,64
<b>FÓSFORO (Olsen) (ppm)</b>	40,28

### III.6.7. Polinización de flores

La fecundación de las flores se llevó a cabo con abejorros (*Bombus terrestris*), los cuales fueron suministrados en colmenas normales, proporcionadas por Syngenta Bioline Bees, de 65 a 70 individuos, siendo introducidos a partir del momento de aparición de las flores en el primer racimo; como el número de individuos por colmena era demasiado elevado en las normales, con relación al número de plantas cultivadas por invernadero, las colmenas se rotaron en días

alternos en los distintos recintos, a partir de las 8 de la mañana, dándoles un carácter itinerante; de esa manera las flores no eran visitadas de forma reiterada por los abejorros, evitando el riesgo de que sus mordeduras afectaran al ovario, propiciando posteriormente la obtención de frutos malformados. Las colmenas fueron cambiadas cada 2 meses para con ello mantener una población activa de individuos que asegurara una posterior producción uniforme de frutos.

### III.6.8. Cuidados sanitarios

Los tratamientos fitosanitarios aplicados estuvieron dentro de los legislados por la Normativa actual de la Producción Integrada de la Región de Murcia, teniendo la precaución de sacar y aislar las colmenas cuando se aplicaba algún principio posiblemente tóxico para los abejorros.

Durante el cultivo se determinó la presencia de plagas, como tuta, trips, mosca blanca, etc., que fueron tratados con materias activas específicas (**Tabla III.12**), y enfermedades producidas por hongos, como botritis, alternaria, mildiu, etc., que igualmente fueron combatidas con otros principios activos (**Tabla III.13**).

Además de todas las tareas culturales realizadas en el ensayo, teniendo en cuenta que la especie cultivada en el ciclo de cultivo anterior fue también tomate, y pese a que el suelo de los invernaderos fue desinfectado por solarización, hubo que presuponer la supervivencia de pupas de tuta que evolucionarían y emergerían durante el ensayo de la segunda campaña. Para controlar estas emergencias, y que no afectaran de forma especial a los ensayos a realizar, se colocaron unas trampas captadoras de adultos, consistentes en bastidores de madera de 1 m de largo y 0,40 m de ancho, que por una de sus caras estaba recubierta por material adherente cromotrópico de color amarillo; se colocaron 2 bastidores por invernadero, el mismo día de la plantación, situándolas junto a las líneas de plantas y se revisaron semanalmente las posibles capturas.

También para tuta se colocaron trampas de agua con un núcleo de feromonas, una en el centro de cada invernadero, haciéndose el conteo y retirada de las capturas con cadencia semanal, siendo cubiertas a la caída del día. Como los adultos de tuta son de hábitos nocturnos, se colocaron otras trampas de agua similares que eran tapadas durante el día, y descubiertas desde el atardecer hasta el

inicio del día siguiente. Los cebos de feromonas eran cambiados cada 60 días para mantener lo más activa posible la atracción de los machos.

Y en el centro de cada invernadero se ubicaron trampas colgantes cromotrópicas adhesivas, amarillas y azules, de 0,25x0,10 m, para controlar la presencia de insectos vectores, como trips (*Frankliniella occidentalis*) y mosca blanca (*Bemisia tabaci*).

**Tabla III.12.** *Materias activas utilizadas en el ensayo durante las dos campañas para el control de plagas. (De Liñan Carral, 2014).*

Producto Comercial	Plaga	Materia Activa
STEWARD	Tuta	INDOXACARB 30% [WG] P/P
COSTAR	Orugas aéreas	BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 18% [WG] P/P
CAL-EX AVANCE	Tuta	ABAMECTINA 1,8% [EW] P/V
AFFIRM	Heliothis	0,85% P/P (8,55 g/Kg) DE EMAMECTINA
SPINTOR 480 SC	Trips	SPINOSAD 48% [SC] P/V
DELFIN	Spodoptera	BACILLUS THURINGIENSIS KURSTAKI 32%
BRIDAL	Ácaros	FENBUTAESTAN 55% [SC] P/V
OBERON	Vasates	SPIROMESIFEN 24% [SC] P/V

**Tabla III.13.** *Materias activas utilizadas en el ensayo durante las dos campañas para el control de enfermedades (De Liñan Carral, 2014).*

Producto Comercial	Enfermedad	Materia Activa
SWITCH	Botritis	CIPRODINIL 37,5% + FLUDIOXONIL 25% [WG] P/P
SCALA	Botritis	PIRIMETANIL 40% [SC] P/V
MANCOZEB 80	Mildun	MANCOZEB 80% [WP] P/P
THIOVIT JET	Oidiopsis	AZUFRE 80% [WG] P/P

### III.6.9. Recolecciones

Las recolecciones se practicaron, inicialmente, con una frecuencia de dos veces por semana, aunque el factor que realmente marcó su práctica fue el estado de maduración adecuado de los frutos. Esto vino determinado porque éstos no presentaron pérdida de consistencia y al mismo tiempo no mostraron una coloración roja muy intensa, lo que significaría un mayor contenido compuestos antioxidantes. Cuando el calor avanzó se amplió la frecuencia de las recolecciones.

### III.7. CONTROLES VEGETATIVOS

La posible influencia de los distintos materiales de cubierta en el crecimiento de la planta se estudió desde el momento de inicio del cultivo, controlando la morfometría y el estado radicular de la plántula desde el momento del trasplante y durante todo el ciclo de cultivo.

#### III.7.1. Estado cero

En el estado cero de la plántula, se controló altura, la cual se midió con un flexómetro, de una precisión de 0,5 cm, haciéndolo desde la base de la planta,

coincidiendo con la zona del cuello de la misma; estas medidas fueron expresadas en cm (**Figura III.16**). También se midió el diámetro del tallo principal, mediante un calibre Mitutoyo Absolute Digimatic, de sensibilidad 0,01 mm, así como la longitud y anchura de los cotiledones, peso fresco total de la plántula, y peso fresco y seco de la parte aérea, en 10 plántulas elegidas al azar del conjunto de las bandejas.



**Figura III.16.** *Plántulas de tomate en el estado cero.*

### III.7.2. Fases de crecimiento

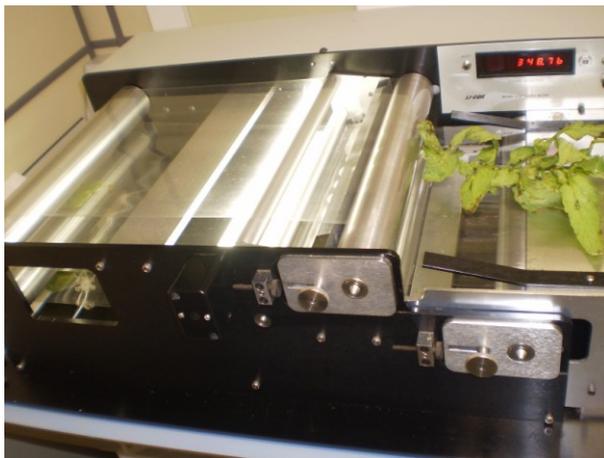
Durante la fase de crecimiento de las plantas se realizaron medidas cada 3 semanas desde 36 días después del trasplante (DDT) en la primera campaña, de la altura, del diámetro del tallo principal o tronco, del incremento del número de hojas con nervadura central superior a 5 cm, y de la longitud y anchura de dos hojas adultas. Además, se completó la información con el contenido en clorofila en hojas adultas.

Cuando la planta sobrepasó los 2 m de altura contactando con la estructura del entutorado, se pinzaron las plantas, podando su brotación principal a la misma distancia.

#### III.7.2. 1. Medida del área foliar

Para hacer los controles del área foliar, efectuados en diversos momentos del desarrollo de la planta, se utilizó un medidor de área foliar marca LI-COR, modelo

LI-3100 Area Meter (**Figura III.17**). Este aparato está diseñado para calcular la superficie de una gran variedad de hojas, ya sean grandes o pequeñas, con un máximo de 25 cm de ancho y 2,5 cm de grosor.



**Figura III.17.** Medidor de área foliar LI-COR LI-3100 Area Meter.

Para mayor control del crecimiento de la parte aérea de la planta, se pesaron las hojas y a continuación se les realizó la medida del área foliar. Para realizar esta medida, se fueron pasando las muestras de hojas de tomate por la cinta transportadora, justo por debajo del rodillo prensador que aplana las hojas. Cuando la hoja pasa bajo la fuente de luz fluorescente, el objeto proyectado es reflejado por un sistema de tres espejos hacia una cámara fotográfica lineal que se encuentra ubicada dentro de la cubierta posterior. El área de las muestras de hojas se va acumulando, y es mostrada en la pantalla digital LED del LI-COR LI-3100 (**Figura III.17**).

#### *III.7.2. 2. Medida instantánea de la clorofila*

El seguimiento efectuado en hojas adultas, tanto en el haz como en el envés, del nivel de clorofila a+b de la parte aérea externa, se llevó a cabo con un medidor portátil marca Minolta, modelo SPAD-502 (**Figura III.18**).

Este medidor es una herramienta de diagnóstico portátil, que estima en forma instantánea el contenido relativo de este compuesto en las hojas, sin destruir

el tejido. Este valor se calcula en base a la cantidad de luz transmitida por la hoja en dos longitudes de onda diferentes. La luz emitida por el aparato corresponde a luz roja (650 nm de longitud de onda) y a luz infrarroja (940 nm de longitud de onda). Esta pasa a través de la hoja, llega a un receptor de SPD (silicon photodiode), convirtiendo la luz transmitida en una señal eléctrica. La señal es llevada a un amplificador y de ahí se convierte en una señal digital, que es usada por un microprocesador para calcular un valor determinado SPAD, que corresponde al contenido relativo de clorofila.



**Figura III.18.** Detalle de medida de clorofilas en campo con un clorofilómetro Minolta SPAD-502.

El medidor portátil de clorofilas mide un índice de verdor en unidades SPAD, proporcional a la concentración de clorofila (Peltonen *et al.*, 1995; Finnan *et al.*, 1997) que actúa como un indicador sensible del nivel fisiológico de la planta (Reeves *et al.*, 1993; Fox *et al.*, 1994; Finnan *et al.*, 1997) relacionado con el contenido de N en hojas. Este índice tiene la ventaja con respecto al contenido de N total en hoja, que no hay destrucción de hojas ya que las lecturas de SPAD pueden realizarse en campo.

### III.8. CONTROLES DE FRUCTIFICACIÓN

Se ha llevado a cabo para estudiar la evolución que presentan los frutos bajo las diferentes condiciones ambientales que podrían propiciar los distintos

materiales de cubierta, y cómo se reflejarían en algunas características físicas de éstos, como peso y calibre.

Se ha considerado, por un lado, cómo pueden influir en la duración de su período de formación, desde el momento que éste está cuajado y consolidado con diámetro de 3 cm, hasta que adquiere el calibre comercial y su coloración adecuada. Para ello, se etiquetaron 3 frutos/racimo en 10 plantas/tratamiento, recolectándose cuando reunían las condiciones prescritas, valorándose solamente el número de días invertidos en ello.

Por otro, se ha estudiado la variación de estas variables relacionadas con el lugar que ocupan los frutos en la planta, considerando cuando éstos se encontraban en momento óptimo de recolección en el conjunto de la planta, o bien analizándolos por el racimo donde se encontraban. Para ello, se etiquetaron los frutos con idéntico criterio al anterior y se recolectaron bajo la misma modalidad. Se analizaron peso y calibre, para los primeros, analizándose el número de días para su formación, en el caso del estudio por racimo.

Finalmente, se observó la evolución del tamaño del fruto con una cademia más intensa, semanal, a partir de varios meses DDT, alrededor de 3, y cuando éstos presentaban un diámetro ecuatorial en el entorno de los 5 cm y estaban próximos a alcanzar el tamaño definitivo, y aún sin colorear.

Para ello se etiquetaron 10 frutos/tratamiento que mostraban esa dimensión y se recolectaron en el estado ya descrito. En este caso se controló la altura y anchura del fruto.

Los diámetros ecuatorial, anchura (**Figura III.19**) y longitudinal, altura (**Figura III.20**) fueron medidos utilizando un calibre Mitutoyo, modelo Absolute Digimatic, con una precisión de 0,01mm.



**Figura III.19.** *Detalle de la medida del diámetro ecuatorial en el fruto de tomate.*



**Figura III.20.** *Detalle de la medida del diámetro longitudinal en el fruto de tomate.*

### III.9. SEGUIMIENTO PRODUCTIVO

La conducta productiva del cultivo se analizó acumulando las recolecciones sucesivas en cada uno de los períodos productivos.

Esta Producción Total Acumulada se estudió a su vez en dos períodos productivos, uno Precoz, que abarcó hasta la quinta recolección de las nueve efectuadas, en las dos campañas, y otro, Tardío, hasta el final de la cosecha.

A su vez, dentro de la Producción Total Acumulada, se desglosó el estudio en Producción Comercial Acumulada y en Destrío.

Cada fase de producción fue analizada en cuanto al peso de los frutos, en Kg, y al número recolectado.

Las pesadas se realizaron mediante una balanza Sartorius Extend, modelo ED 8201 con una sensibilidad de 1 ctg. Los resultados fueron expresados en peso (Kg), y en rendimiento ( $\text{Kg m}^{-2}$ ).

#### III.9.1. Producción comercial

La producción Comercial se estudió considerando los calibres que rigen en el mercado, considerando los rangos, de mayor a menor tamaño, del diámetro

ecuatorial: (GG: de 82 a 102 mm; G: de 67 a 81 mm; M: de 57 a 66 mm; MM: de 47 a 56 mm).

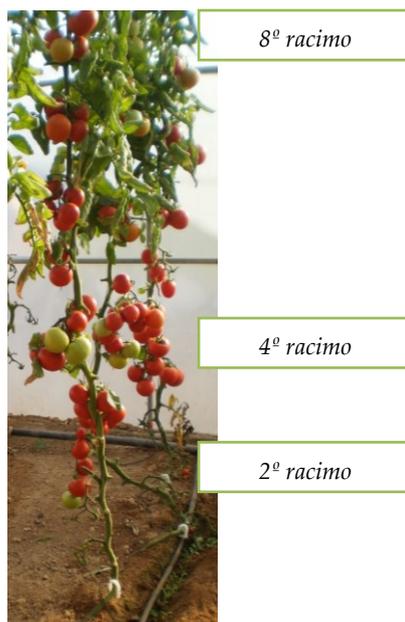
### **III.9.2. Destrío**

En el destrío se agruparon los frutos con un calibre inferior a 47 mm, correspondientes al calibre MMM, junto con los frutos que presentaban malformaciones o que fueron afectados por alguna fisiopatía, como el soleado, o por alguna enfermedad producida por virus, como el Virus del Bronceado del tomate (TSWV) o Tomato Spotted Wilt Virus, el cual se trasmite fundamentalmente por trips.

## **III.10. VALORACIÓN ANALÍTICA DE LA CALIDAD DE LA PRODUCCIÓN**

### **III.10.1. Selección y recolección de frutos**

Los frutos de tomate se muestrearon 9 veces durante el ciclo de producción, a lo largo de los meses de mayo, junio y julio. De forma aleatoria se cogieron 8 frutos de calidad comercial dentro de las 20 plantas controladas de cada invernadero, del 2°, 4° y 8° racimo (**Figura III.21**), buscando que estuviesen en el mismo estado de maduración (en rojo) y descartando aquellos frutos dañados y afectados por abejorros o cualquier plaga.



**Figura III.21.** *Esquema de la distribución de los racimos analizados en la planta de tomate.*

### III.10.2. Preparación de muestras

Posteriormente, los frutos fueron trasladados al laboratorio de Horticultura del IMIDA, donde fueron lavados con agua destilada y secados con papel de filtro. Se cortaron por la mitad siendo una de ellas utilizada de forma inmediata para el análisis de los parámetros físico-químicos de la producción, siendo previamente homogeneizados y triturados. El jugo de tomate fue guardado en duquesitas a  $-80^{\circ}\text{C}$ , realizándose un análisis de la muestra por triplicado.

La otra mitad del fruto se congeló a  $-80^{\circ}\text{C}$  para determinar todos los parámetros relacionados con su capacidad antioxidante. Todas las determinaciones se realizaron manteniendo los mismos periodos de congelación de las muestras.

### III.11. VARIABLES ANALIZADAS

Entre las propias de los frutos se han considerado algunas relacionadas con su carácter organoléptico y otras importantes desde el punto de vista estético, y que en su conjunto pueden definir gran parte del perfil comercial de la producción.

### III.11.1. Peso

Se pesó cada fruto, de manera individual, mediante una balanza marca Sartorius Extend, modelo ED 8201. Los resultados obtenidos se expresaron en g.

### III.11.2. Firmeza

La resistencia de penetración de los tejidos del fruto se estudió mediante un penetrómetro marca Pennefel, modelo DFT-14, con un diámetro de punta de 8 mm (0,1 a 12,5 kg, y 100 g de resolución); realizándose tres medidas en la sección ecuatorial del fruto. Las unidades de los resultados obtenidos fueron expresadas en Kg cm<sup>-2</sup>.

### III.11.3. Calibre

Para medir el diámetro longitudinal y ecuatorial del fruto de tomate se usó un calibre automático marca Mitutoyo modelo Absolute Digimatic. Los resultados se expresaron en mm, con una precisión de 0,01mm.

### III.11.4. Color

La determinación del registro de las coordenadas de color se realizó mediante un colorímetro marca Minolta, modelo CR-300, dentro del Sistema CIE L\*a\*b\*, y obteniéndose por reflexión su índice de color en condiciones de iluminante D65. Se realizaron tres lecturas por fruto a lo largo de la zona ecuatorial, procurando que fueran representativas de su color (**Figura III.22**).

El parámetro L indica la luminosidad, brillo o claridad del fruto. El color negro representa una luminosidad de 0 mientras que el blanco presenta una luminosidad de 100 (luminosidad > 0; oscuridad < 0). El parámetro L, en resumen, es la cantidad de luz incidente que es reflejada por la superficie del fruto.

Los parámetros a\* y b\* se utilizan para evaluar la saturación y el tono. La saturación (C\*) nos da idea de la pureza de un color y el tono (índice Hue) es el color propiamente dicho. El parámetro a\* es la variación de color desde el verde al rojo (rojo > 0; verde < 0) y el "b" la variación de color entre azul y amarillo (amarillo

$> 0$ ; azul  $< 0$ ), los cuales se relacionan a su vez con los parámetros psicométricos croma ( $C^*$ ) y con el valor  $h$  (índice Hue) que indica el tono.

Este último parámetro es el más comúnmente usado para caracterizar objetivamente el color del fruto ya que está fuertemente relacionado con su proceso de maduración y así, se pudo hacer una recolección homogénea del mismo en su punto óptimo de madurez para sus posteriores análisis (Pék *et al.*, 2010). Se determinó todo el conjunto de coordenadas del sistema CIELAB, siendo el índice Hue el indicativo determinante en el desarrollo del color del tomate.



**Figura III.22.** Colorímetro Minolta, CR-300.

#### III.11.5. Jugosidad

Se determinó sobre frutos de tomate batidos con una trituradora marca Thermomix, modelo TM-31, de donde se extrajeron alícuotas en tubos Falcon que fueron centrifugadas en una centrífuga marca Heraus, modelo Biofuge Stratos, a 9.000 rpm durante 10 minutos y a una temperatura de  $4^{\circ}\text{C}$ ; la diferencia entre el decantado obtenido y el peso inicial expresó el porcentaje de jugosidad.

#### III.11.6. pH y conductividad eléctrica (CE)

El pH y la conductividad eléctrica se determinaron con sensores específicos marca Crison, modelo CM, a partir de un volumen de jugo de tomate decantado. Los resultados de conductividad eléctrica fueron expresados en mS.

### III.12.7. Sólidos solubles totales (SST)

El contenido en sólidos solubles se halló tanto sobre el triturado como sobre el jugo decantado, según el método A.O.A.C. 932-12(A.O.A.C., 2000), utilizando un refractómetro digital marca Athago, modelo Pocket PAL-1 (**Figura III.23**). Para la realización de la medida se depositaron unas gotas del jugo con una pipeta Pasteur en el medidor del refractómetro y los resultados aparecían automáticamente en la pantalla digital del instrumento, en °Brix.



**Figura III.23.** Refractómetro Athago, Pocket PAL-1.

### III.11.8. Acidez titulable (AT)

La acidez titulable se midió mediante volumetría ácido-base con NaOH 0,1 M hasta la persistencia de un pH 8,2, medido con un pH-metro, y que se expresa en relación al ácido orgánico mayoritario en el fruto de tomate, que suele ser el ácido cítrico, en % ácido cítrico  $g^{-1}$  PF (Valero *et al.*, 2000).

### III.11.9. Relación SST/AT

La relación SST/AT se obtuvo dividiendo el valor obtenido de sólidos solubles (en °Brix) entre % de ácido cítrico de la muestra. Este parámetro informa del grado o índice de madurez del fruto (Baldwin *et al.*, 1998).

#### III.11.10. Materia seca (MS)

La materia seca se calculó mediante la diferencia entre el peso fresco del fruto recogido para analizar y su peso seco (A.O.A.C., 2000).

El peso fresco se determinó para cada fruto, lo más rápidamente posible después de la recolección, utilizando para ello una balanza marca Sartorius Extend, modelo ED8201, con una precisión de  $\pm 0,1$  g. Los resultados se expresaron en g.

El peso seco se obtuvo al dejar la muestra de tomate, previamente troceada e introducida en una bolsa de papel, en una estufa Heraeus D-6450 Hanan con controlador de secado, a  $65^{\circ}\text{C}$ , durante 3-4 días. Seguidamente se obtuvo su peso expresado en g y calculado en forma de % para expresar los resultados. Las muestras desecadas fueron molidas, mediante un molinillo de aspas marca IKA, modelo Labortechnik A10, a 18.000 rpm y posteriormente molidas, almacenándolas en viales de plástico para su análisis.

#### III.11.11. Proteína

Para la determinación de la proteína total del fruto se calculó previamente el contenido de nitrógeno total de la muestra.

El *nitrógeno total* se midió con un analizador elemental marca LECO-FP528 Corporation, St Joseph, MI. USA (**Figura III.24**), mediante el método de combustión Dumas (Reboloso-Fuentes *et al.*, 2000) a partir de muestras de fruto de tomate previamente secadas en una estufa marca Heraeus, modelo D-6450 Hanan, con controlador de secado, a  $65^{\circ}\text{C}$  durante 72 horas y molidas, con un molinillo de aspas marca IKA Labortechnik, modelo A10, a 18.000 rpm.

Dichas muestras se volvieron a colocar en una estufa a  $65^{\circ}\text{C}$ , durante 24 horas antes de su análisis para evitar su hidratación. Se pesaron 0,50 g de muestra en una cápsula de papel de fumar, que posteriormente fue prensada, e introducida en un carrusel metálico auto-sampler, el cual se colocó en el lugar correspondiente del analizador elemental de nitrógeno total, que una vez conectado el equipo, va girando y dejando caer la muestra para ser incinerada. Los resultados se obtuvieron y se transcribieron automáticamente en el ordenador, en % sobre materia seca.



**Figura III.24.** Analizador LECO FP-528 (Leco Corporation, St. Joseph, MI. USA).

El método determina el porcentaje de nitrógeno total que contiene la muestra vegetal, usando un horno de inducción y un detector de conductividad termal. Las muestras se incineran en un horno de inducción a, aproximadamente, 850°C, en helio y el ambiente del oxígeno en un tubo de combustión del cuarzo. Una parte alícuota del gas de combustión pasa a través de un catalizador de cobre para quitar oxígeno y para convertir los óxidos nitrosos a N<sub>2</sub>, limpiando de bióxido, de humedad y de carbono, y el contenido de nitrógeno es determinado por conductividad termal. El método tiene un límite de detección de 0,01% de nitrógeno (base seca).

Una vez calculado el nitrógeno total de la muestra, se multiplicó por un factor de conversión de nitrógeno a proteína ( $f=6,25$ ) y así se calculó el *contenido proteico* en el fruto de tomate. Este factor se calculó considerando el porcentaje de nitrógeno que contiene la proteína en los alimentos y los resultados fueron expresados en % sobre materia seca.

### III.11.12. Macro y microelementos

Para la determinación de macro y microelementos se usaron los residuos de la calcinación en seco de la muestra la cual se disolvió posteriormente en ácido diluido hasta el volumen deseado antes del análisis. Para ello se pesaron 0,5 g de

tomate desecado en un crisol y se calentó en la mufla durante 24 h a 550°C (calcinación en seco).

Transcurrido ese tiempo se añadieron a las cenizas 5 mL de HNO<sub>3</sub> 0,7 N, llevándose posteriormente a una placa calefactor hasta ebullición. En ese momento se añadió agua mili-Q hasta casi el borde del crisol y esperamos a que se evaporara la mezcla de digestión. A continuación se filtró el contenido del crisol pasándose posteriormente a un matraz de 50 mL.

Se añadieron 2 mL de HNO<sub>3</sub> 0,7 N a la mezcla y se colocó de nuevo en la placa calefactora repitiendo la misma operación. Por último, se enrasó el matraz con agua mili-Q y se agitó enérgicamente, pasándose posteriormente su contenido a un tubo de ensayo hasta su análisis (Osborne y Voogt, 1978).

El análisis de macro y microelementos del fruto de tomate se hizo mediante un espectrómetro de absorción atómica acoplado por inducción (Varian Spectra AA-10 Plus) equipado con un sistema de corrección de fondo con una lámpara D2, usando una llama de aire-acetileno.

Los macroelementos analizados fueron Na, K, Ca, Mg y P y dentro de los microelementos, Cu, Fe, Mn, Zn y B. La cuantificación de los mismos se realizó mediante calibración externa, expresándose los resultados en % sobre materia seca (g 100 g<sup>-1</sup> MS en el caso de macroelementos, y en µg g<sup>-1</sup> MS para microelementos), a través de una curva calibración y se realizaron estudios del efecto de la matriz y exactitud del método utilizando el método de adición de estándar, empleando soluciones diluidas a partir de un estándar certificado para cada elemento en particular. Las condiciones analíticas utilizadas fueron previamente optimizadas (Fernández-Ruíz *et al.*, 2011).

### III.12. ANÁLISIS DE LOS FRUTOS PARA LA DETERMINACIÓN DE TODOS LOS PARAETROS RELACIONADOS CON LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

Las otras mitades correspondientes a los frutos de tomate que fueron analizados en el IMIDA fueron trituradas y guardadas por triplicado en tubos Falcon de 15 mL, y se almacenaron a -80°C. Posteriormente, se usaron para el análisis de la calidad nutricional en los laboratorios del Departamento de Tecnología de la Alimentación y Nutrición de la Universidad Católica San Antonio (UCAM).

La parte de análisis de calidad de la producción analizada en el IMIDA se centró en el estudio de parámetros físicos y químicos, para estudiar posibles variaciones.

### III.12.1. Método “Trolox Equivalent Antioxidant Capacity” (TEAC)

La determinación de la actividad antioxidante total del fruto de tomate (Molineux, 2004), se llevó a cabo mediante el ensayo TEAC (capacidad antioxidante expresada en equivalentes Trolox) según Miller *et al.* (1996), con algunas modificaciones.

La técnica está basada en la reducción del radical catión del ácido 2,2'-diazino-di-(3-etilbenzoiatolín) sulfónico (ABTS<sup>•+</sup>) por los antioxidantes presentes en la muestra. Este radical presenta una coloración verde, que se mide a 734 nm. Los antioxidantes contenidos en la muestra de tomate provocan una disminución de la coloración verde del radical al reaccionar con él. El grado de disminución de la absorbancia es proporcional a la concentración de la capacidad antioxidante total de la muestra que se analiza.

#### III.12.1.1. Procedimiento de extracción de la fracción hidrofílica

Se pesaron 2 g de la muestra, se añadieron 10 mL de agua destilada y se agitó la mezcla en un agitador vortex. Posteriormente, se centrifugó 5 minutos a 5.000 rpm en una centrífuga marca Heraeus, modelo Biofuge Stratos. Se recogió el sobrenadante y se analizó por el ensayo TEAC.

#### III.12.1.2. Procedimiento de extracción de la fracción lipofílica

Se pesaron 2 g de la muestra, se añadieron 20 mL de una mezcla hexano: acetona: etanol (2:1:1) y se homogenizaron durante 30 minutos protegidos de la luz.

Posteriormente, se añadieron 15 mL de agua destilada y se centrifugaron 5 minutos a 5.000 rpm. Se recogió el sobrenadante conteniendo la fracción lipofílica y se midió el volumen. Se tomó una alícuota de 2 mL y el solvente se evaporó en un distribuidor de nitrógeno marca Techne, modelo Dri-Block DB-3D.

El extracto seco se disolvió en 1 mL de dimetilsulfóxido y se agitó en un baño de ultrasonido durante 15 minutos. Se recogió la mezcla en un microtubo y se

centrifugó 5 minutos a 5.000 rpm (García-Alonso *et al.*, 2009). Posteriormente se analizó por el ensayo TEAC.

#### III.12.1.3. Procedimiento de análisis

El radical ABTS<sup>•+</sup> fue generado a partir de una solución acuosa madre preparada a partir de 5 mM de ABTS en tampón fosfato salino a través de MnO<sub>2</sub> (Sigma-Aldrich) por un filtro de papel Whatman n° 5. Para retirar el exceso de MnO<sub>2</sub> se filtró la solución de radical ABTS<sup>•+</sup> activada a través de un filtro Whatman de 0,22 µm de tamaño de poro. Esta solución se diluyó posteriormente en tampón fosfato salino a pH 7,4 ajustándose su absorbancia a 0,70 (±0,02) a 734 nm y se preincubó a 30°C en oscuridad, antes de su uso. Para la recta de calibrado se utilizó Trolox como antioxidante de referencia o patrón, preparándose una solución madre de 2,5 mM en tampón fosfato salino.

Las muestras fueron enfrentadas a una curva patrón de 0,0125 -0,1250 mM, para la fase hidrofílica y de 0,0125 mM- 0,08 mM para la fase lipofílica.

Una vez preparados los patrones, el blanco (usando agua destilada para la fase hidrofílica y dimetil sulfóxido para la fase lipofílica) y las muestras, se procedió a la lectura.

Para ello se mezclaron en un microtubo 1 mL de la solución de trabajo ABTS y 100 µL de agua destilada, patrón o muestra. Se agitó la mezcla durante 30 segundos en un miniagitador marca IKA, modelo MS2, y se midió la absorbancia a los 2 minutos en un espectrofotómetro marca VARIAN, modelo CARY 50 Bio (**Figura III.25**), a una longitud de onda de 734 nm. Los resultados fueron expresados como µmol de equivalentes de Trolox g<sup>-1</sup> PF.



**Figura III.25.** Espectrofotómetro VARIAN, CARY 50 Bio.

### III.12.2. Método "Oxygen Radical Absorbance Capacity" (ORAC)

El ensayo ORAC se realizó en el extracto hidrofílico según el procedimiento de extracción citado anteriormente, siguiendo el método de Prior *et al.* (2003), con algunas modificaciones.

#### III.12.2.1. Equipo: Lector de placa fluorescente

Se trata de un equipo compuesto por una incubadora marca Bio-Tek, modelo Synergy HT, y filtros de fluorescencia con una longitud de onda de excitación de 485 nm y otra de emisión de 520 nm. Está conectado a un ordenador donde se registran los datos obtenidos tras la lectura de la microplaca (**Figura III.26**).



**Figura III.26.** Lector de placa fluorescente Bio-Tek, Synergy HT.

*III.12.2.2. Microplaca de ensayo*

Es una placa de color negro compuesta de 96 pocillos (Thermo Scientific sterilin), con el fondo transparente para evitar interacciones de lectura entre ellos. Los bordes de la misma se llenan con 200  $\mu\text{L}$  de agua destilada con el fin de evitar el llamado “efecto borde”.

*III.12.2.3. Procedimiento*

En primer lugar, se añadieron 20  $\mu\text{L}$  de extracto hidrofílico de tomate. A continuación, se preparó una solución madre de fluoresceína pesando 0,0225 g de sal disódica de fluoresceína (solución 1) y se añadieron 50 mL de una solución de tampón fosfato 0,075 M (pH 7,0). Después se preparó una segunda solución a partir de 50  $\mu\text{L}$  de la solución 1, en 10 mL de tampón fosfato 0,075 M (pH 7,0) y se agitó la mezcla.

Se cogió una alícuota de 800  $\mu\text{L}$  de la solución 2 y se llevó a un volumen final de 50 mL con tampón fosfato. De ahí se tomaron 200  $\mu\text{L}$  y se añadieron a cada pocillo.

Se preparó una solución madre de Trolox 500  $\mu\text{M}$ , repartida en microtubos y almacenada a  $-70^{\circ}\text{C}$  hasta su uso. Se prepararon soluciones estándar (6,25, 12,5, 25, 50  $\mu\text{M}$ ) a partir de 40  $\mu\text{L}$  de la solución madre de Trolox en tampón fosfato (0,075 M, pH 7,0) y se pipetearon en sus correspondientes pocillos.

El lector de microplaca fluorescente está equipado con una incubadora que se fijó a una temperatura de  $37^{\circ}\text{C}$  durante 15 minutos. Posteriormente se pipetearon 20  $\mu\text{L}$  de una solución de AAPH en los pocillos convenientes, que fue obtenida a partir de 0,432 g de AAPH añadidos a un matraz de 20 mL y enrasada con tampón fosfato (0,075 M, pH 7,0).

La velocidad de producción de los radicales peroxilo de AAPH es sensible a la temperatura, por lo tanto, la regulación y el mantenimiento de la solución de AAPH son críticos. De esta manera, se debe preparar una solución nueva de AAPH cada vez que se prepare una microplaca.

El contenido de la placa fue mezclado con agitación constante haciéndose una lectura por minuto, necesitándose 2 horas para la lectura completa de la misma.

Los resultados fueron expresados como  $\mu\text{mol}$  de equivalentes de Trolox  $\text{g}^{-1}$  PF.

### III.12.3. Determinación de polifenoles totales

El contenido total de fenoles del fruto de tomate fue analizado mediante el método colorimétrico usando el reactivo Folin-Ciocalteu descrito por Singleton y Rossi (1965). Previo al análisis colorimétrico, se procedió a la extracción e hidrólisis, según lo descrito por Gahler *et al.* (2003).

#### III.12.3.1. Procedimiento

Para la hidrolizar las formas conjugadas de polifenoles, se pesaron 2 g de muestra, se añadió 1 mL de HCL 1M y se agitó la mezcla en un miniagitador marca IKA, modelo MS2, durante 1 minuto.

Posteriormente se incubó dicha mezcla a 37°C en un baño termostático, modelo Julabo SW22, con agitación constante durante 30 minutos.

Se añadió 1 mL de NaOH 2M en metanol al 75% y la mezcla resultante fue agitada durante 1 minuto e incubada a 37°C durante 30 minutos en agitación constante.

Después, se añadió 1 mL de ácido metafosfórico 1M y la mezcla fue agitada durante 1 minuto y centrifugada posteriormente a 5.000 rpm durante 10 minutos en una centrífuga marca Heraeus, modelo Biofuge Stratos.

El sobrenadante se transfirió a un matraz aforado de 10 mL y el pellet fue resuspendido en 1 mL de una disolución de acetona/agua (1:1).

La mezcla fue agitada en un miniagitador marca IKA, modelo MS2, durante 1 minuto y centrifugada a 5.000 rpm durante 5 minutos. Los dos sobrenadantes fueron combinados en un matraz aforado, completándose hasta un volumen final de 10 mL con una disolución de acetona/agua (1:1).

Se realizó una curva patrón de ácido gálico y los resultados se expresaron como mg de equivalentes de ácido gálico (GAE) Kg<sup>-1</sup> PF.

Finalmente, se cogió una alícuota de 1 mL, se centrifugó en una microcentrífuga marca Eppendorf, modelo "5415D", a 11.000 rpm durante 10 minutos y se analizó su contenido de polifenoles totales.

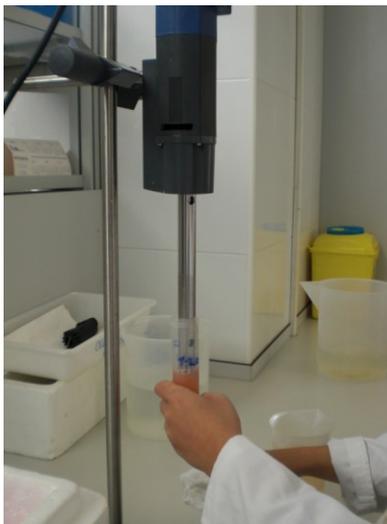
Para el análisis colorimétrico se añadieron a un a cubeta 500 µL del reactivo Folin-Ciocalteu 0,2 N y 400 µL de una disolución 2M a 100 µL de extracto. Se

incubó durante 2 horas en oscuridad y se midió posteriormente a 750 nm en un espectrofotómetro UV-Visible, marca VARIAN, modelo "CARY 50 Bio".

#### III.12.4. Determinación de carotenoides: $\beta$ -caroteno y licopeno

El licopeno y el  $\beta$ -caroteno se extrajeron a partir de 1 g de muestra en una mezcla de acetona-n-hexano (4:6) utilizando un homogeneizador marca Ultra-Turrax T-18, modelo IKA Basic, a 16.000 rpm durante 2 minutos (**Figura III.27**). Después se centrifugó a 5.000 rpm durante 10 minutos a 4°C en una centrífuga marca Heraeus, modelo Biofuge Stratos.

Posteriormente, se midió la densidad óptica de los sobrenadantes en un espectrofotómetro marca VARIAN, modelo "CARY 50 Bio", a unas longitudes de onda de 663, 645, 505 y 453 nm, usando la mezcla de (acetona: n-hexano) (4:6) como blanco.



**Figura III.27.** Homogeneizador Ultra-Turrax T-18, IKA Basic.

Las concentraciones de licopeno y  $\beta$ -caroteno se cuantificaron usando las ecuaciones propuestas por Nagata y Yamashita (1992), de la siguiente forma:

$$[\text{Licopeno}] (\mu\text{g g}^{-1}) = -0,0458 A_{663} + 0,204 A_{645} + 0,372 A_{505} - 0,0806 A_{453}$$

$$[\beta\text{-caroteno}] (\mu\text{g g}^{-1}) = 0,216 A_{663} - 1,220 A_{645} - 0,304 A_{505} + 0,452 A_{453}$$

Donde  $A_{663}$ ,  $A_{645}$ ,  $A_{505}$  y  $A_{453}$ , son respectivamente las absorbancias obtenidas a las longitudes de onda de 663, 645, 505 y 453 nm.

Los resultados fueron expresados como  $\mu\text{g g}^{-1}$  PF.

### III.12.5. Determinación de Vitamina C

#### III.12.5.1. Extracción

El ensayo de vitamina C se determinó según el método descrito por Gil *et al.* (1998 y 1999) con algunas modificaciones. Se pesaron 5 g del material vegetal fresco y se añadieron 7,5 mL del medio de extracción compuesto por ácido cítrico 0,1 M, EDTA 0,05% p/v, MeOH (metanol) 5% v/v y NaF 4 mM. La mezcla se homogeneizó con un homogeneizador marca Ika-Werke, modelo T-25 (Staufen, Alemania), y se filtró a través de una gasa doble. El filtrado se recogió y se ajustó el pH entre 2,2 y 2,4 con HCl 6N y posteriormente se centrifugó a 13.000 g a 4°C durante 10 minutos en microtubos de centrifuga marca Sigma, modelo 1-13 (Osterode, Alemania). El sobrenadante se pasó a través de un cartucho de extracción en fase sólida Sep-Pak C-18 (Milford, EEUU), previamente activado pasando un mismo volumen de MeOH, agua y aire. Por último, se filtró dicho sobrenadante por una membrana de 0,45  $\mu\text{m}$ , marca Millipore Corporation, modelo Millar- HV13 (Bedford, EEUU) y a continuación, se añadieron 250  $\mu\text{L}$  de 1,2-fenilendiamina dihidrocloruro (OPDA) (34 mg 100  $\text{mL}^{-1}$ ) a 750  $\mu\text{L}$  de extracto, para la derivatización del ADHA como fluoroforo 3-(1,2-dihidroxietil) furol [3,4-b] quinoxalina-1-ona (DFQ). Después de 37 min de incubación en oscuridad a 4°C, se realizó el análisis. Se realizaron 3 extracciones por tratamiento.

#### III.12.5.2. Análisis

Para el análisis de la vitamina C, se inyectaron 20  $\mu\text{L}$  de extracto en un sistema HPLC (High Performance Liquid Chromatography) con bomba marca Merck-Hitachi, modelo L-6200 (Tokio, Japón), acoplado a un detector ultravioleta-visible (UV-Vis, Merck-Hitachi, L-7420) de longitud de onda variable y a un

integrador (Merk-Hitachi D-25000). La columna empleada fue una C-18 de fase reversa LiChropher 100 (25x0, 4 cm; 5  $\mu\text{m}$  de tamaño e partícula; LiChroCART 250-4, Damstadt, Alemania) con una precolumna C-18 (1 x 0,32 cm; 5  $\mu\text{m}$  de tamaño de partícula; LiChroCART 250-4, Damstadt, Alemania). La fase móvil empleada fue MeOH/H<sub>2</sub>O (5/95, v/v) conteniendo cetrimida 5 mM y fosfato monopotásico 50 mM a pH 4,5. El flujo se mantuvo a 0,9 mL min<sup>-1</sup>. La longitud de onda del detector se situó inicialmente a 348 nm para la detección de ADHA como DFQ y después a 261 nm para la detección del AA. La cuantificación se realizó por comparación con patrones externos de AA y ADHA en las mismas condiciones que el extracto. Los resultados corresponden a la media de 3 réplicas y se expresan en mg 100 g<sup>-1</sup> PF.

### III.12.6. Identificación y cuantificación de compuestos fenólicos de forma individual

Se pesaron 0,1 g de muestra de tomate liofilizado y se mezclaron con 1,5 mL de una mezcla de metanol al 70%. Posteriormente se agitó durante 1 minuto en vortex y se centrifugó (Eppendorf modelo 5301, Hamburgo, Alemania) a 13.000 rpm durante 10 minutos.

La extracción fue repetida 3 veces, se combinaron los extractos y fueron secados en un concentrador a vacío (Eppendorf modelo 5301, Hamburgo, Alemania) hasta un volumen de 1 mL. Las muestras fueron preparadas por triplicado (García-Valverde *et al.*, 2011).

#### III.12.6.1. Condiciones del HPLC

El análisis de los compuestos fenólicos fue analizado por un sistema de HPLC Agilent 1200 Series con un detector de diodos (Michelena, Belgium) y una columna RP-18 Phenomenex, 250x4 mm, 5  $\mu\text{m}$  15°C (**Figura IV.28**). Se aplicó un gradiente de agua acidificada (A) con ácido trifluoroacético al 0,5% con pH 2 y metanol (B) con un flujo de 1 mL por minuto con el siguiente gradiente: 0 minutos, 80% A, 45 minutos, 35% A, 55 minutos, 80% A. El tiempo fijado fue de 60 minutos. Los compuestos fueron identificados comparando sus espectros y cuantificados mediante la comparación de sus áreas con sus estándares.



**Figura III.28.** HPLC Agilent 1200 Series.

Los cromatogramas se registraron a 320 nm para los ácidos hidroxicinámicos (ácido clorogénico, ácido cafeico, ácido p-cumárico y ácido ferúlico), 360 nm para los flavonoides (canferol, miricetina, luteolina, quercetina y rutina) y 280 nm para la flavanona naringenina. La cantidad de cada compuesto se expresó como mg Kg<sup>-1</sup> PF.

### III.12.7. Análisis estadístico

Los datos obtenidos referentes al estudio agronómico se sometieron a un análisis de varianza (ANOVA) empleando un intervalo de confianza del 95%, mostrándose los resultados como el valor promedio y su error típico. Las diferencias entre las medias se compararon mediante el test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ) usando el paquete estadístico STATGRAPHICS Centurion XVI versión 16.1.11 para Windows.

Los valores obtenidos de cada parámetro corresponden a dos años consecutivos de estudio (2009-2011) comparando las medias por tratamiento. Se cuantificaron las variables relacionadas a los controles vegetativos, de fructificación, así como a aquellas que permiten el seguimiento productivo.

Los niveles de significación se han representado mediante \* $p < 0,05$ , \*\* $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ , y ns, no significativo.

Por otro lado, se midieron los atributos de calidad y los parámetros relacionados con actividad antioxidante (resultados de actividad antioxidante medidos por el método TEAC y ORAC, datos de polifenoles totales, perfil fenólico, carotenoides y vitamina C), estableciéndose las características descriptivas de cada una de las variables calculando los valores medios por campaña, por tratamiento y por racimos (2º, 4º y 8º) en los cinco tratamientos estudiados.

Una vez depurada la base de datos y detectados casos anómalos o fuera de rango, se llevaron a cabo sucesivos análisis de la variancia (ANOVA) bajo el modelo de dos factores completamente aleatorizados. En caso de no poder asumirse los supuestos para la aplicación de la ANOVA se optó por la prueba de Kruskal-Wallis para los contrastes globales y la prueba de Mann-Whitney para las comparaciones múltiples.

En primer lugar se comprobaron los supuestos de independencia (prueba de las rachas), normalidad (pruebas de Kolmogorov-Smirnov y prueba de Shapiro-Wilks y gráficos de normalidad) y homocedasticidad (prueba de Levene y de Brown Forsythe).

Respecto a la independencia de las mediciones, los test de rachas no permiten rechazar la hipótesis de independencia por lo que pudo afirmarse que las muestras son independientes, en todas las variables analizadas.

En el caso de no cumplirse el supuesto de normalidad, se realizó un análisis más detallado de las medias recortadas, las medianas y los coeficientes de asimetría y curtosis así como de los gráficos de normalidad decidir la aplicación del ANOVA o no.

Se realizó un análisis exploratorio de datos segmentado por el tipo de tratamiento, número de racimo y campaña y se obtuvieron los estadísticos descriptivos para cada uno de ellos.

Con los ANOVA se realizaron en primer lugar los contrastes de hipótesis globales y a continuación se estimó el tamaño del efecto ( $\omega^2$ ) y la potencia del análisis. Se considera un tamaño del efecto bajo cuando  $\omega^2 \approx 0,01$ ; medio cuando  $\omega^2 \approx 0,06$  y alto cuando  $\omega^2 \approx 0,14$ . El tamaño del efecto debe interpretarse como una medida de la magnitud de las diferencias independientemente del nivel de significación alcanzado.

Se realizaron pruebas post hoc de Tukey en caso de asumir homocedasticidad y la prueba de Games-Howell en caso de no poder hacerlo.

Para comprobar la posible influencia de la campaña sobre los factores independientes (nivel de racimo y tratamiento, se realizó un análisis de la varianza corregida por campaña (ANCOVA). La variable independiente fue en cada caso el correspondiente atributo de calidad y capacidad antioxidante tal y como se detalla en el capítulo de resultados y discusión.

En caso de ser necesario se realizaron comparaciones múltiples para valorar los efectos simples del efecto del racimo y del tratamiento se utilizó la prueba T-Student para muestras independientes con la corrección de Bonferroni.

Las relaciones entre las variables de interés se llevaron a cabo con el coeficiente de correlación de Pearson (o con el coeficiente rho de Spearman en caso de no poder asumirse la normalidad de las distribuciones).

El nivel de significación de todos los test se fijó en el 5% (Cohen, J., 1988; Pardo *et al.*, 2010).

Los análisis se analizaron con IBM SPSS Statistics para Window 19.0 (IBM Company, 2010).

## **CAPÍTULO IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**



## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### IV.1. PARÁMETROS AMBIENTALES AL AIRE LIBRE DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE ESTUDIO

Las variaciones climáticas habidas durante el período de ensayo fueron estudiadas con independencia durante cada una de las campañas, continuando el seguimiento en el lapso existente entre ambos períodos, y que si bien no afectarían directamente a las plantas al no haber cultivo, sí podrían tener una incidencia en cuanto a la vida útil de los materiales de cubierta y la evolución de sus propiedades, con lo que potencialmente repercutiría en la conducta del material vegetal en la segunda campaña.

Aunque las dos campañas se consideran finalizadas al realizarse la última recolección desde la óptica productiva, los datos ambientales de la primera campaña se extendieron hasta el inicio de la segunda, y en la segunda solo hasta el mes de agosto, ya que a partir de ese momento no hubo valoración de la producción (**Figuras IV.29A y B**).

#### IV.1.1. Primera y segunda campaña

Aunque los invernaderos se cubrieron con los materiales experimentales el 15 de octubre de 2009, la primera campaña se consideró como que se inició con el primer trasplante, el 19 de enero de 2010, y finalizó con la última recolección, practicada el 19 de julio de ese mismo año, ya que no hubo fenómenos meteorológicos que dañaran las cubiertas en ese período previo a la plantación.

La segunda campaña se inicia con el trasplante el 12 de enero de 2011 y finaliza el 6 de julio, coincidiendo con la última recolección realizada en ese mismo año. Los datos climáticos también se consideran finalizados ese mismo día ya que la repercusión del estado de los materiales de cubierta ya no trasciende sobre la cosecha.

#### IV.1.1.1 Temperatura

Para tener una mejor perspectiva de los efectos de las temperaturas externas en el interior de los recintos de cultivo, fueron estudiadas en tres aspectos, niveles máximos, mínimos y medios, alcanzados (**Figura IV.29A**). Cada uno de ellos es necesario observarlo durante el crecimiento de la planta, ya que, las temperaturas máximas van a influir más en fenómenos de estrés durante la fase de recolección y en la degradación de las propiedades de los materiales de cubierta (López-Marín *et al.*, 2011); las mínimas, en cambio, van a tener mayor repercusión en la respuesta vegetativa (Nuez, 1995a; Castilla, 2004), y ya las medias, pueden orientar sobre como han podido funcionar procesos como el de fecundación en los primeros racimos de la planta (González *et al.*, 2003b).

Las temperaturas en el segundo período de ensayo fueron consideradas con los mismos criterios de estudio de la primera campaña, contemplándose el estudio de valores máximos, mínimos y medios (**Figura IV.29B**).

##### IV.1.1.1.1. Temperaturas máximas

Las temperaturas máximas registradas al aire libre durante la vida útil de la planta en la primera campaña, se sucedieron de acuerdo con un patrón normal de la zona (**Figura IV.29A**), produciéndose unos valores discretos durante el período invernal, que ascendieron ligeramente al inicio de la primavera y presentaron sus niveles más elevados durante las semanas de verano. Y en todos los casos sin aparecer irregularidades notables que pudieran haber afectado la conducta de la planta y los resultados productivos (Foolad y Lind, 1998).

Los valores registrados en la segunda campaña, se encontraron en el entorno de los observados en la primera a lo largo de las estaciones en las que se ha desarrollado el cultivo, por lo que en este aspecto se podría decir que no se introducen nuevas variables que puedan influir sobre el comportamiento vegetativo de las plantas o el resultado agronómico de la producción (**Figura IV.29B**). Ello habla también de la regularidad de las condiciones ambientales que rigen en estos parajes de influencia mediterránea y que posibilitan la programación bastante aproximada de los cultivos protegidos, la cual solo es alterada circunstancialmente algún año con respecto a los valores medios registrados a lo largo de decenas de campañas o períodos más largos (Contreras *et al.*, 2006).

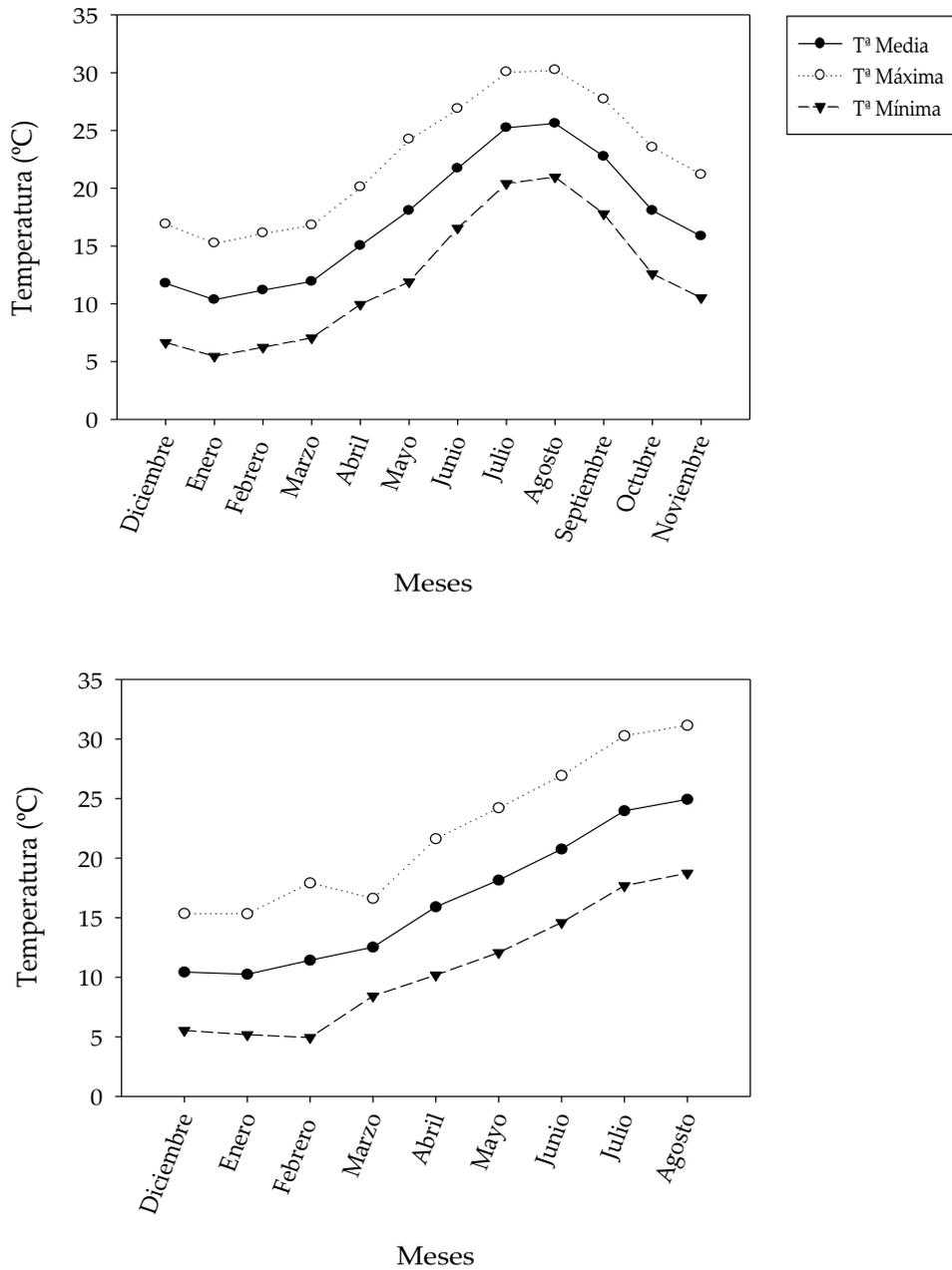
#### IV.1.1.1.2. Temperaturas mínimas

Las temperaturas mínimas al aire libre siempre estuvieron sobre cero durante la etapa más fría (**Figura IV.29**), aunque no se alcanzaron niveles suficientes para evitar, en una pequeña proporción, que se produjesen fenómenos de inversión térmica puntuales en algunos tratamientos. Pensando que han podido estar motivados más por la pequeña superficie que presentan estos recintos de cultivo, con el consiguiente reducido volumen de aire que albergan, lo que minimiza su inercia térmica, que por la naturaleza de alguno de los materiales de cubierta ensayados (Salmerón *et al.*, 2006). Aunque en aquellos descritos como de Larga Duración sí está más justificado al carecer de aditivación para mostrarse opacos a la radiación infrarroja de onda larga procedente del suelo del invernadero (Castilla, 2005; López, J.C, 2006).

#### IV.1.1.1.3. Temperaturas medias

Los valores de las temperaturas medias en la primera campaña, considerados a nivel orientador (**Figura IV.29A**), se sucedieron dentro de una escala moderada en general.

Los valores alcanzados en la segunda campaña hacen pensar en una casuística ambiental similar a la de la primera, que se derivó de una cierta estabilidad climática reinante en la zona dentro del período total de ensayo que comprende a las dos campañas (**Figura IV.29B**), sin irregularidades térmicas continuadas o dignas de mención, que pudieran afectar sensiblemente el conjunto de los resultados (Reche, 2009).



**Figura IV.29.** Temperaturas máximas, mínimas y medias registradas al aire libre en la 1ª (A) Y 2ª (B) campaña de cultivo (Observatorio meteorológico de la finca experimental Torreblanca, 2013).

#### IV.1.1.2. Humedad relativa

Al igual que la temperatura en ambas campañas, la humedad relativa ambiental, se observó en sus valores máximos, mínimos y medios, durante ese mismo período (**Figuras IV.30A y B**), y aunque el volumen de aire de los invernaderos fue relativamente pequeño y puede ser intercambiado con cierta facilidad en el caso de esta variable climática, las condiciones del entorno ambiental influyeron claramente en esa posible regulación.

Uno de los efectos concatenantes que se pueden producir en el invernadero, influido por la humedad relativa ambiental externa, puede ser la variabilidad en que se puede traducir la condensación del vapor de agua en la cara interior del material de cubierta, pudiendo alterar la transmisión de la radiación (Pearson *et al.*, 1995; Papadakis *et al.*, 2000), de aquí la consideración a tener en cuenta de esta variable climática.

##### IV.1.1.2.1. Humedades relativas máximas

Los perjuicios que se produjeron en la conducta de la planta ante la existencia de valores máximos de humedad de manera sostenida, y a lo cual puede contribuir la humedad externa (López *et al.*, 2005d), en localidades mediterráneas se vieron reducidos al tener una pluviometría escasa, y si bien la proximidad marítima, en este caso del mar Menor, promueve la presencia de mayores valores, estos no fueron determinantes durante la primera campaña. Siendo estos además puntuales y no muy continuados, y nunca llegando al 100% (**Figura IV.30A**).

Reafirmando la similitud con otras variables climáticas en la campaña anterior, los valores máximos de la humedad relativa estuvieron en la misma línea que durante la primera campaña (**Figura IV.30B**), no concurriendo otros factores climáticos que favoreciesen su variabilidad, y que al no revestir valores de saturación de forma continuada tampoco pudieron influir de manera importante sobre las condiciones ambientales internas del invernadero (Papadakis *et al.*, 2000).

##### IV.1.1.2.2. Humedades relativas mínimas

Las condiciones que propiciaron los invernaderos, facilitaron realizar el equilibrio climático en el interior de los módulos de cultivo, haciéndolo más viable a través de los sencillos medios de ventilación que posee este tipo de estructura

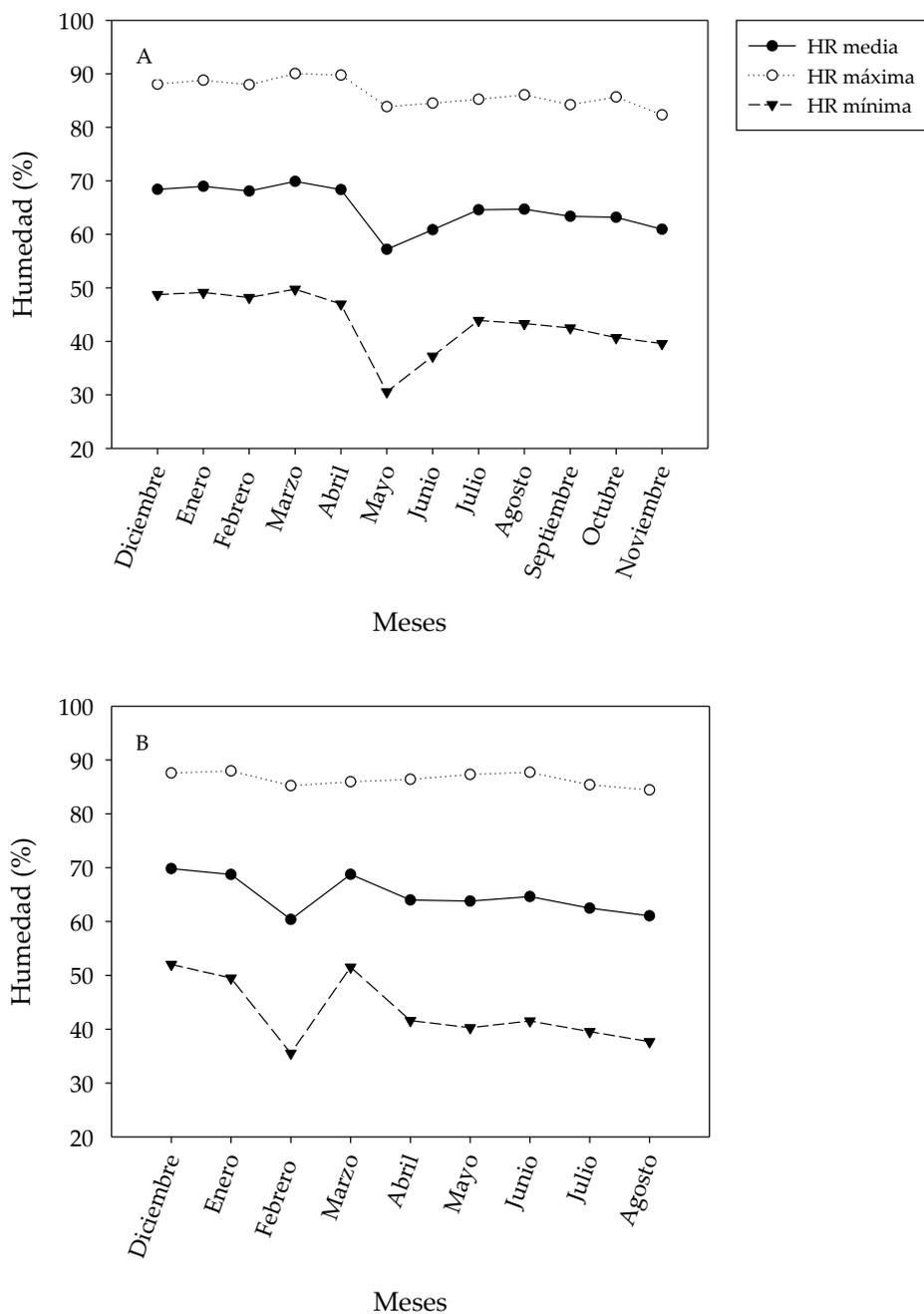
(Contreras *et al.*, 2006). Sus valores en la primera campaña, que solo en momentos ocasionales excedieron el 50%, fueron los correspondientes a parajes de clase subdesértica como es el perfil del Campo de Cartagena (**Figura IV.30A**).

También fueron muy paralelos los valores que se produjeron en la segunda campaña con relación a los de la primera y por lo tanto presentaron valores bajos (**Figura IV.30B**). Lo que supuso a partir de la primavera, especialmente, mantener una atención particular a la aplicación del riego de las plantas (Maroto, 2000). Ya que, al unirse la presencia de elevadas temperaturas pudo facultar la aparición de fenómeno de estrés hídrico (López-Marín *et al.*, 2011).

#### IV.1.1.2.3. Humedades relativas medias

Con menor importancia desde el punto de vista de aporte informativo, casi todos los valores de la primera campaña se encontraron en el espacio del 70% que es el porcentaje óptimo para el desarrollo del cultivo (Reche, 2009); expresión que queda casi totalmente reflejada a lo largo de la vida útil de la planta (**Figura IV.30A**).

La sucesión observada de datos medios higrométricos obtenidos en la segunda campaña (**Figura IV.30B**), unido a la constante vigilancia del estado hídrico del cultivo en el interior del invernadero, fueron suficientes para que las plantas hayan mantenido un desarrollo progresivo sin correr el riesgo de aparición de fenómenos inhibidores de la actividad normal de la planta (González *et al.*, 2003b).



**Figura IV.30.** Humedades relativas máximas, mínimas y medias registradas al aire libre en la 1ª (A) y 2ª (B) campaña de cultivo (Observatorio meteorológico de la finca experimental Torreblanca, 2013).

#### IV.1.1.3. Pluviometría

Esta comarca, pluviométricamente, se encuentra ubicada en las consideradas como de régimen de muy débil aparición, y cuando lo hace, con cierta frecuencia, se produce de manera torrencial. Por ello, factores positivos que podría conllevar para los cultivos protegidos, como la limpieza externa de los materiales de cubierta de los invernaderos, no se produce habitualmente, siendo importante para los materiales con gran carga electrostática en su superficie que produce una gran atracción y fijación del polvo, con lo que se reduce la capacidad de transparencia del filme (Díaz *et al.*, 2001). Los valores registrados a lo largo de todo el cultivo reafirman la tendencia comentada, tanto a nivel de valores correspondientes al total caído semanalmente como al máximo diario contabilizado (**Tabla IV.14**).

En la segunda campaña el régimen de lluvias fue poco inferior al caído en la primera campaña, por lo que efectos que podían influir en la conducta del cultivo, como el aumento de los valores externos de humedad relativa y por ende en el interior del invernadero o en el incremento del porcentaje de transmisión de la radiación solar al limpiar las cubiertas de polvo y partículas reflectantes, han tenido que ser mínimos y poco representativos (**Tabla IV.14**).

**Tabla IV.14.** Media mensual de pluviometría máxima diaria (mm). Observatorio meteorológico de la finca experimental Torreblanca, 2013.

Meses	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Ma.	Jun.	Jul.	Ago.	Sep.	Oct.	Nov.
<b>1ª campaña</b>	0,63	0,70	0,46	0,52	0,06	0,23	0,84	0,00	0,80	0,03	0,35	0,31
<b>2ª campaña</b>	0,28	0,19	0,04	0,97	0,32	0,51	0,07	0,00	0,54	-	-	-

De igual manera, no solo el volumen máximo de agua caída diariamente sino durante los totales semanales fueron muy reducidos (**Tabla IV.15**), lo que además hace pensar en bajos niveles de nubosidad con lo que la radiación que incidió en la cubierta de los invernaderos se ha tenido que ver poco afectada, tanto en el aspecto beneficioso con la PAR (Hanan, 1998), como en el negativo con la UV para disminuir la vida útil de los materiales de cubierta (Papadakis *et al.*, 2000).

**Tabla IV.15.** Total semanal de pluviometría (mm). Observatorio meteorológico de la finca experimental Torreblanca, 2013.

Meses	Dic.	En.	Feb.	Mar.	Abr.	Ma.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.
1 <sup>o</sup> campaña	2,37	2,47	1,14	1,23	0,14	0,33	1,67	0,00	1,06	0,03	0,55	1,09
2 <sup>a</sup> campaña	0,85	0,46	0,07	1,90	0,48	1,15	0,10	0,00	0,64	-	-	-

#### IV.1.1.4. Radiación global semanal

La radiación global en la zona mostró un ascenso paulatino de sus magnitudes desde los valores mínimos (**Tabla IV.16**), que se registraron en el equinoccio de invierno, hasta los máximos, en el de verano (López y González, 2006), alcanzándose gradientes semanales importantes, a pesar de las pérdidas sufridas desde el sol como foco emisor (Monteith *et al.*, 1990), y muy adecuados para la práctica de cultivos en invernadero. Ello supone la satisfacción de la planta de sus necesidades de fotoperíodo (Castilla, 2005) y una inducción térmica suficiente para cubrir las exigencias medioambientales de la misma (Reche, 2009), aunque en ciertas épocas resulte excesiva (López-Marín *et al.*, 2011).

El total semanal recibido de radiación directa y difusa, radiación global, en la segunda campaña fue parangonable al que se produjo en la primera (**Tabla IV.16**). Por lo que, con el aditamento de la pérdida de propiedades mecánicas y ópticas de los filmes de cubierta, la respuesta de las plantas a esta variable ambiental debió ser similar (Dumas *et al.*, 2003; Anza *et al.*, 2006). Habiendo de tenerse en cuenta posibles situaciones de estrés al final del cultivo (López-Marín *et al.*, 2011), que han podido repercutir en la calidad de los frutos (Dumas *et al.*, 2003).

#### IV.1.1.5. Horas de sol

El número de horas de sol comenzó a elevarse a partir de la primavera, teniendo una duración media que asegura el cumplimiento de un fotoperíodo adecuado, pudiendo asociarse con los valores de radiación como factores indicadores de la inducción potencial de calor que se pudieron producir en el interior de los invernaderos (**Tabla IV.17**).

Al igual que las otras variables climáticas comentadas, los valores observados en la primera campaña se encontraron dentro de los habituales en zonas con este perfil climático.

El incremento de la duración del día de cara a las estaciones de primavera y verano indujo un aumento proporcional en el número de horas de sol de las que ha disfrutado el cultivo, manteniéndose la cadencia observada en la primera campaña (**Tabla IV.17**). Este elevado número de horas de sol en épocas de recolección asegura una maduración adecuada (Davies y Kempton, 1975; Dorais *et al.*, 2001), aunque también puede afectar la calidad del fruto al provocar distintos tipos de estrés, como el oxidativo (Rosales, 2008).

**Tabla IV.16.** Incidencia media semanal de la radiación global ( $W/m^2$ ). Observatorio Meteorológico de la finca experimental Torreblanca, 2013.

Meses	Dic.	En.	Febr.	Mar.	Abr.	Ma.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.
1 <sup>a</sup> campaña	95,47	99,25	123,25	168,05	239,11	313,07	313,23	315,76	268,63	223,09	157,19	127,60
2 <sup>a</sup> campaña	90,33	98,71	162,46	163,92	239,58	273,35	300,96	302,64	276,47	-	-	-

**Tabla IV.17.** Media de número de horas de sol diarias. Observatorio Meteorológico de la finca experimental Torreblanca, 2013.

Meses	Dic.	En.	Febr.	Mar.	Abr.	Ma.	Jun.	Jul.	Ago.	Sept.	Oct.	Nov.
1 <sup>a</sup> campaña	6,54	6,29	7,04	8,68	10,54	11,68	11,74	11,93	11,43	9,60	8,25	7,29
2 <sup>a</sup> campaña	6,13	6,32	8,57	7,88	10,51	11,07	11,57	11,71	11,26	-	-	-

## IV.2. EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS AMBIENTALES EN EL INTERIOR DEL INVERNADERO DURANTE LAS DOS CAMPAÑAS DE CULTIVO

En este ámbito se estudiaron temperatura, humedad relativa y radiación, contemplándose estrictamente los meses en los cuales ha estado presente el cultivo en ambas campañas. En el ínterin entre campañas no se continuó la observancia ya que la falta de masa vegetal y la gran ventilación existente de forma continuada, no iba a aportar datos que guardasen cierta coherencia con los captados durante las fases de actividad vegetativa.

### IV.2.1. Primera y segunda campaña

Al igual que al aire libre, la primera campaña en invernadero se contempló desde los meses de enero hasta julio, ambos inclusive, abarcando desde el 19 de enero, fecha de trasplante, hasta el 19 de julio, día en que se efectuó la última recolección de este período. Y la segunda se inició a partir de la plantación el 12 de diciembre y se extendió hasta el 6 de julio coincidiendo con la finalización de la cosecha. Siendo toda la información recogida posteriormente a esta fecha, como no relevante al no tener incidencia sobre los datos de la producción y su calidad, ni en los niveles de contenidos de sustancias beneficiosas hallados en ésta.

#### IV.2.1.1. Temperatura

Continuando con los criterios llevados a cabo al aire libre, en invernadero se registraron igualmente temperaturas máximas, mínimas y medias. La variación de éstas en el invernadero estuvo no solo influida lógicamente por las características de las condiciones ambientales sino que también estuvo matizada por las directrices del seguimiento del cultivo (Anza *et al.*, 2006; Toor *et al.*, 2005), actuando con el movimiento de la ventilación para ejercer dicha regulación; aunque haya de tenerse en cuenta que la simplicidad de las estructuras utilizadas solo permitieron este manejo en forma limitada y se dieron situaciones en que ya no se pudieron amortiguar efectos no deseados. Pudiendo citarse entre ellos ciertas temperaturas mínimas, que con la infraestructura de cultivo que se ha contado, de material de cubierta, unido a la extensión de la superficie cubierta del recinto de cultivo, no fue posible estimularlas potenciando más la inercia térmica del sistema; o, en caso contrario, y por la misma razón, rebajar algunas temperaturas máximas en

determinados momentos del día en la fase final del ciclo de cultivo que podrían provocar ROS en los frutos (Dumas *et al.*, 2003).

#### IV.2.1.1.1. Temperaturas máximas

Los valores más elevados de estas temperaturas en la primera campaña se produjeron de forma fraccionada, principalmente, en dos tratamientos de cubierta (**Figura IV.31A**). Así, en la primera parte del desarrollo de la planta, desde el trasplante en enero hasta finales del mes de abril, se sucedieron en el tratamiento T2, PETc; mientras que desde el mes de mayo y hasta la finalización de las recolecciones, se produjeron en el tratamiento T1, LDe.

En cuanto a los primeros valores, está justificado que se dieran en este tratamiento, ya que su aditivación dirigida a dotarle de opacidad a la radiación infrarroja de onda larga y su gran transparencia, explica esta elevación térmica durante los meses más fríos de cultivo. No quedando excesivamente claro el que a continuación de este período los valores más altos de las temperaturas máximas se produjeran bajo la cubierta de un material LDe, como es el que le corresponde al T1; aunque ya se ha comentado que con el reducido volumen de aire que albergan estas estructuras es difícil mantener regular una dinámica térmica ambiental. Las diferencias térmicas entre tratamientos fueron más ostensibles durante las primeras semanas de cultivo, reduciéndose éstas hacia la finalización del mismo.

Por el contrario, en cuanto a los valores menores registrados, la respuesta fue más uniforme, localizándose la mayoría de ellos en el tratamiento de cubierta T4 (LDc), y en mucha menor proporción en el tratamiento T5 (Uve) (**Figura IV.31A**).

Con relación a las magnitudes que se alcanzaron en todos los tratamientos de cubierta, decir que las más elevadas observadas en la etapa inicial del cultivo pudieron ser beneficiosas y potenciadoras de las fases fenológicas inherentes al crecimiento de la planta permitiendo su cultivo, mientras que las menores siempre llegaron a niveles suficientes como para actuar positivamente sobre la inercia térmica del invernadero.

Durante la segunda campaña, en estas temperaturas máximas en invernadero, se observaron una sucesión de valores diferentes a los registrados en la primera, y ello aunque a nivel ambiental externo si se halló un paralelismo entre ambas.

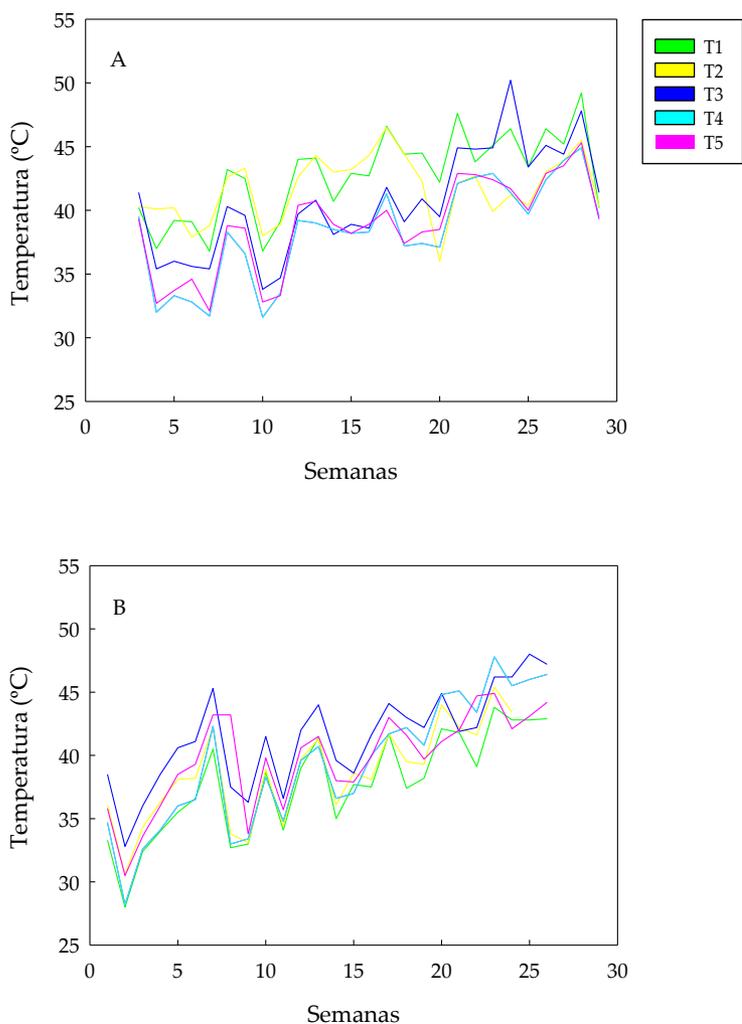
Ya que en este caso los valores de mayor entidad se produjeron, de una manera casi unánime en el tratamiento T3, UVA100%, seguidos a continuación, pero en mucha menor proporción, por los de T5, y, más residualmente, por los de T4, LDc (**Figura IV.31B**).

Los valores de menor importancia en estas temperaturas máximas se encontraron recogidas básicamente en el tratamiento T1, LDe, completándose los que faltaban para la totalidad del ciclo en diferentes tratamientos de forma más dispersa, no destacando claramente uno de ellos que aglutine un conjunto notable de valores.

Se aprecia por tanto una dinámica térmica de los materiales de cubierta experimentados, totalmente cambiante de una campaña con respecto a la otra, aunque se insista en que no ocurrió lo mismo en el exterior de los invernaderos y que por ello, no fue atribuible, por lo menos en su totalidad, al clima habitual de la zona (**Figura IV.31**).

Los valores que alcanzaron las temperaturas máximas fueron suficientes para contribuir al crecimiento de la planta y a conseguir una buena calidad de los frutos producidos (Heuvelink y Dorais, 2005), así como suficientes para propiciar la evolución de la maduración de una forma adecuada. Contribuyendo igualmente a la formación de principios antioxidantes, como los carotenoides (Dumas *et al.*, 2003). Aunque a veces estos niveles térmicos máximos puedan influir negativamente en mantener los contenidos de ascorbatos, al ser degradado en presencia de gradientes muy elevados (Torres *et al.*, 2006; Rosales, 2008), estimándose como reductores niveles superiores a los 32°C (Gautier *et al.*, 2008), pudiendo igualmente estar condicionado el contenido de otro fitonutriente, como el licopeno, por temperaturas de este rango (Dumas *et al.*, 2003).

También con relación a la presencia de compuestos fenólicos en los frutos, se ha constatado que temperaturas elevadas, próximas a los 32°C, inhiben su formación (George *et al.*, 2004), aunque otros autores ponen este límite en los 35°C (Rivero *et al.*, 2001). En lo que coinciden diversos investigadores es que la producción de estos compuestos es incentivada por temperaturas superiores a 25°C. De igual manera, con la existencia de temperaturas en este entorno, hay otros factores de calidad, como la acidez, que son reducidas parcialmente aumentando las características gustativas del fruto (Gautier *et al.*, 2008).



**Figura IV.31.** Temperaturas máximas registradas en el interior del invernadero durante la 1<sup>a</sup> (A) y 2<sup>a</sup> (B) campaña.

#### IV.2.1.1.2. Temperaturas mínimas

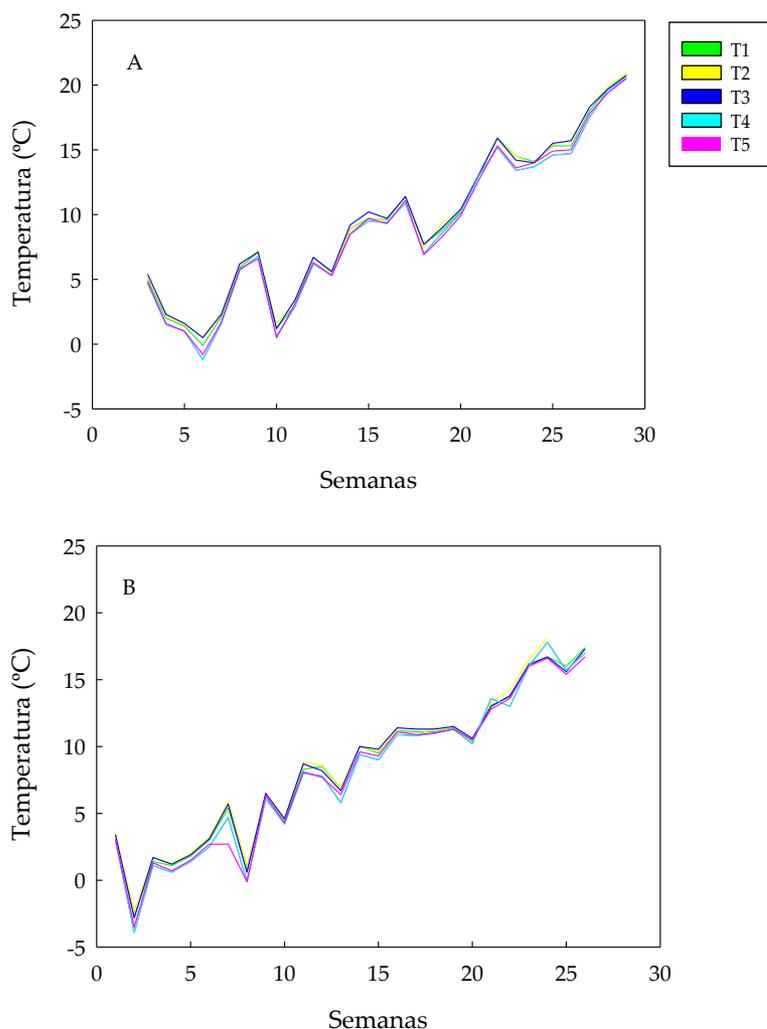
Los valores más importantes de las temperaturas mínimas en esta primera campaña, y que por tanto beneficiaron más el crecimiento de las plantas, se distribuyeron de forma irregular y alterna durante todo el período de cultivo bajo tres de los tratamientos de materiales de cubierta, T3 (UVA100%e) y T2, en mayor medida y, en menor cantidad, en T1 (**Figura IV.32A**). Pudiendo tener cierta influencia en ello la posición que ocupaban estos invernaderos en la batería de

ensayo, ya que aunque fuese la situación norte para los tres, también estaban más protegidos.

Al igual que con los anteriores, los valores más bajos registrados en estas temperaturas mínimas se distribuyeron de forma entremezclada e irregular entre los tratamientos T4 y T5 (**Figura IV.32A**), habiendo de destacar la presencia de algunos valores perjudiciales para el cultivo que evidenciaron la aparición del fenómeno de inversión térmica en alguno de los tratamientos de cubierta durante la segunda semana de febrero. Aunque tras esa situación no se detectaron plantas afectadas o con primordios vegetativos dañados por helada en ninguno de los tratamientos experimentados.

También en el período desde la última semana de enero que se prolongó durante las tres primeras de febrero, y de nuevo darse durante la segunda y tercera de marzo, se produjeron temperaturas mínimas inferiores al cero vegetativo de la planta, lo que pudo ralentizar su crecimiento, pudiendo haber repercutido negativamente en la fecundación de las flores de los primeros racimos.

A diferencia con lo que ocurrió con las temperaturas máximas, en las mínimas de la segunda campaña la distribución de los valores más importantes bajo los diferentes materiales de cubierta se produjo de forma similar a la de la primera (**Figura IV.32B**). De tal manera que estos vuelven a encontrarse localizados en los tratamientos T2, fundamentalmente, completándose en el resto de semanas no cubiertas con algunos valores en el tratamiento T3. Apreciándose igualmente, cómo los valores del tratamiento T1 se encuentran muy próximos a los de los tratamientos enumerados.



**Figura IV.32.** Temperaturas mínimas registradas en el interior del invernadero durante la 1<sup>a</sup> (A) y 2<sup>a</sup> (B) campaña.

La influencia de la presencia de bajas temperaturas no parece estar relacionada con la presencia de contenidos antioxidantes, por otro lado, aseveración muy lógica, ya que la fase de maduración de los frutos en la planta va ligada a una mayor duración del día con una consecuente elevación de la dotación de radiación y de temperatura recibida por la planta. Y tampoco existen trabajos que indiquen que períodos de bajas temperaturas sufridos por las plantas tengan consecuencias posteriores en la evolución de los procesos fisiológicos que atraviesan los frutos, y

solamente, e indirectamente, pueden influir si es que la planta que los sustenta ha sido afectada gravemente en ese período.

#### IV.2.1.1.3. Temperaturas medias

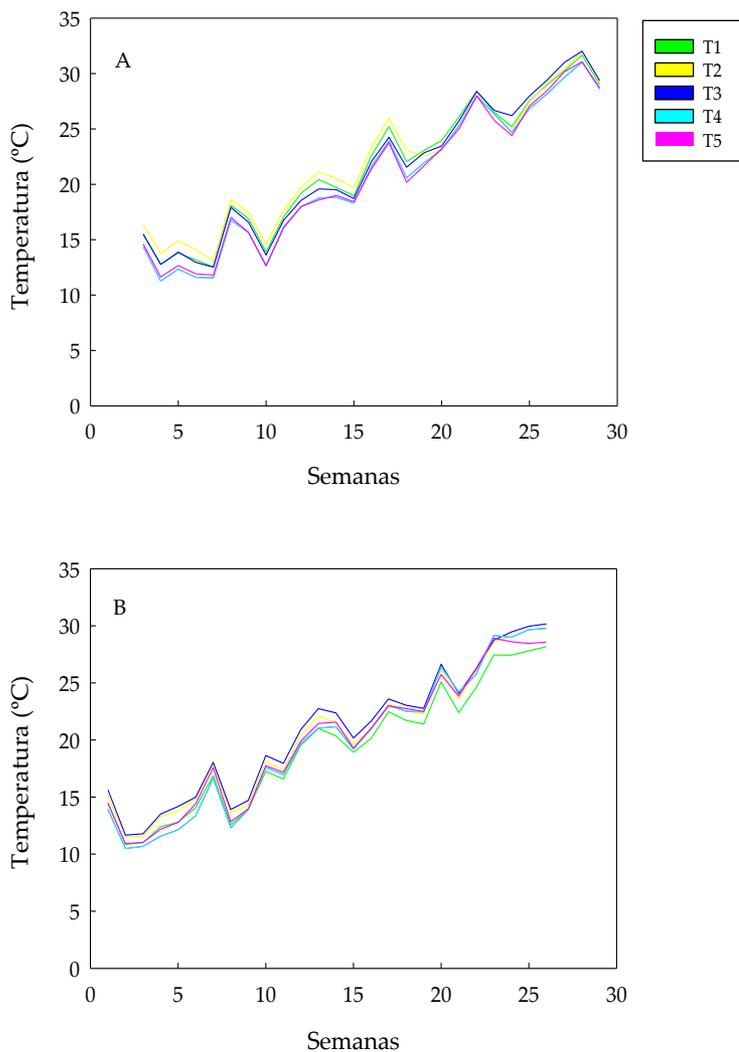
Estas temperaturas mostraron inicialmente una tendencia más próxima a la marcada en el caso de las temperaturas máximas, es decir, mayor número de valores más importantes en la primera fase del cultivo, hasta ya comenzado el mes de mayo, en el tratamiento T2, aunque a continuación estos valores se concentren en el tratamiento T3 (**Figura IV.33A**).

Y en cuanto a las magnitudes menos importantes se siguieron recogiendo bajo la protección de la cubierta del tratamiento T4, y en bastante menor medida, en el tratamiento T5 (**Figura IV.33A**).

Y argumentar que en ambos casos, la presencia de los valores de todas las temperaturas medias supuso una casi constante actividad de las plantas, aunque haya habido algunas situaciones problemáticas en las primeras semanas tras el trasplante.

La repercusión en los valores más elevados alcanzados por las temperaturas medias en la segunda campaña, como resultado de las máximas y mínimas acaecidas, no alteraron del todo el orden de importancia mantenido en la primera campaña, ya que en los tratamientos T3, especialmente, seguido por otros del tratamiento T2, se encontraron los superiores (**Figura IV.33B**). Aunque también haya que reseñar que en el tratamiento T1, se observó una conducta totalmente contraria a la que exhibió en la primera campaña.

En la distribución del número más elevado de semanas con valores más bajos de las temperaturas medias, también se vio cierta similitud con lo registrado en la primera campaña, ya que el tratamiento T4, presentó un buen número de períodos semanales con estos valores (**Figura IV.33B**). Pero en los restantes para completar la campaña, irrumpe el tratamiento T1, que fue el mayor portador de estos valores en los últimos dos tercios del ciclo de cultivo.



**Figura IV.33.** Temperaturas medias registradas en el interior del invernadero durante la 1ª campaña (A) y la 2ª campaña (B).

#### IV.2.1.2. Humedad relativa

Aunque no sea en este caso una de las variables ambientales determinante, sobre todo por la mayor inestabilidad en estas pequeñas superficies, sus características han podido influir en aspectos importantes y muy diversos del cultivo, tales como la de potenciar la resistencia de la planta a las bajas temperaturas, facilitar la traslación de los granos de polen durante la polinización, propiciar la existencia de enfermedades criptogámicas producidas por hongos, etc.

En el seguimiento realizado de esta variable en invernadero en esta primera campaña, se detalla la evolución de estas humedades a nivel de mínimas y medias, constatándose que las máximas a diario han alcanzado su máximo posible, del 100%.

#### IV.2.1.2.1. Humedades relativas máximas

Se ha constatado que en algún momento del día durante la primera campaña, normalmente en las primeras horas de la mañana y con las estructuras sin ventilar, se alcanzó el 100% de humedad máxima en todos los tratamientos estudiados.

En la segunda campaña, al igual que en la primera, siempre han existido momentos durante el día en el que se ha llegado al 100% de grado higrométrico, por lo que ha de considerarse de forma totalmente justificada que siempre se alcanzó este nivel máximo bajo la totalidad de materiales de cubierta que se han experimentado.

#### IV.2.1.2.2. Humedades relativas mínimas

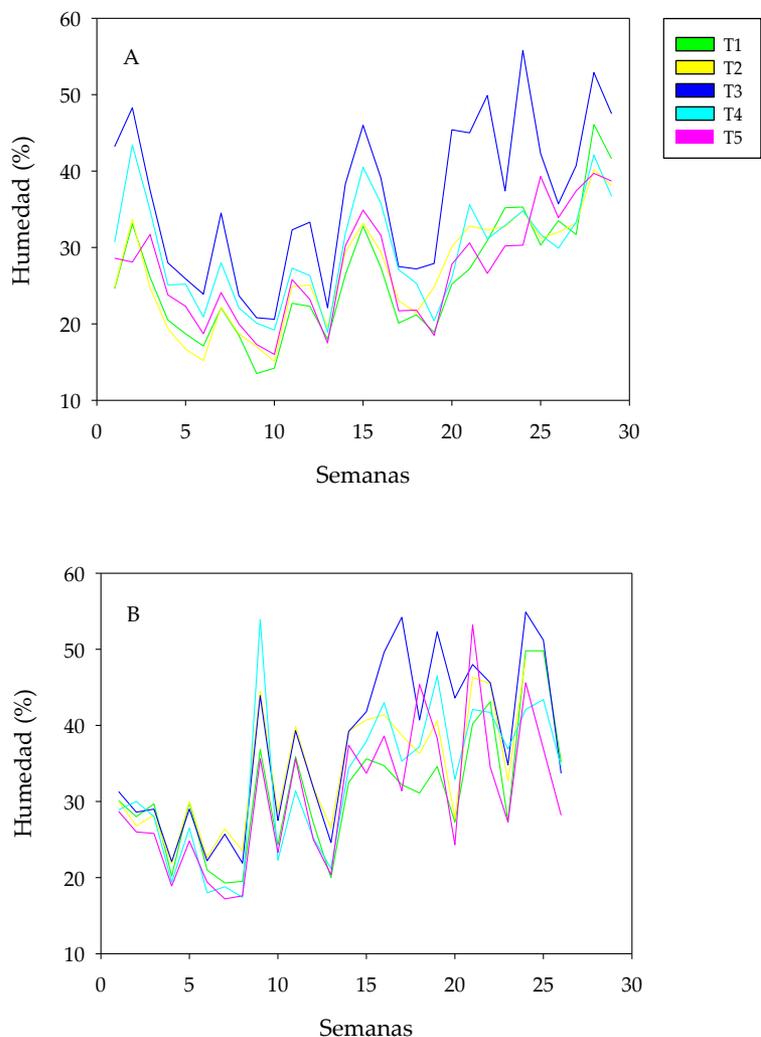
Los mayores valores alcanzados se produjeron de forma unánime en el tratamiento T3, UVA100%e, siguiéndole en importancia con estos valores el tratamiento T4, LDc (**Figura IV.34A**).

En cuanto a los tratamientos en los que se centró menor humedad ambiental, aparece el T1, LDe, como el que la presentó con mayor frecuencia, aunque en T5, UVe, también se localizaran algunas semanas, siendo, aparentemente, el T2, PETc, el que menos oscilaciones presenta (**Figura IV.34A**).

En la segunda campaña el tratamiento T3 se manifestó como en el que bajo su material de cubierta se produjeron los valores superiores de la humedad mínima, al igual que sucedía en la primera campaña, coincidiendo con las etapas media y final del ciclo de cultivo (**Figura IV.34B**), siendo los tratamientos T2 y T1, los que compartieron con este los niveles más importantes, del resto de períodos semanales registrados.

Con relación a los materiales de cubierta que menor cantidad de humedad relativa han conservado bajo ellos, destacan, al igual que en la primera campaña, los tratamientos T5 y T1, aunque en este caso se presentaron en este orden de

importancia, en cuanto a mayor número de períodos semanales que los han ostentado, inverso al observado en la primera campaña (**Figura IV.34B**).



**Figura IV.34.** Humedades mínimas registradas en el interior del invernadero durante la 1<sup>a</sup> campaña (A) y la 2<sup>a</sup> campaña (B).

#### IV.2.1.2.3. Humedades relativas medias

Los valores semanales registrados durante el cultivo difieren inicialmente de la tendencia mostrada en los controles de menor humedad, ya que en las primeras semanas de cultivo, hasta finales de abril, los más elevados se localizaron en el

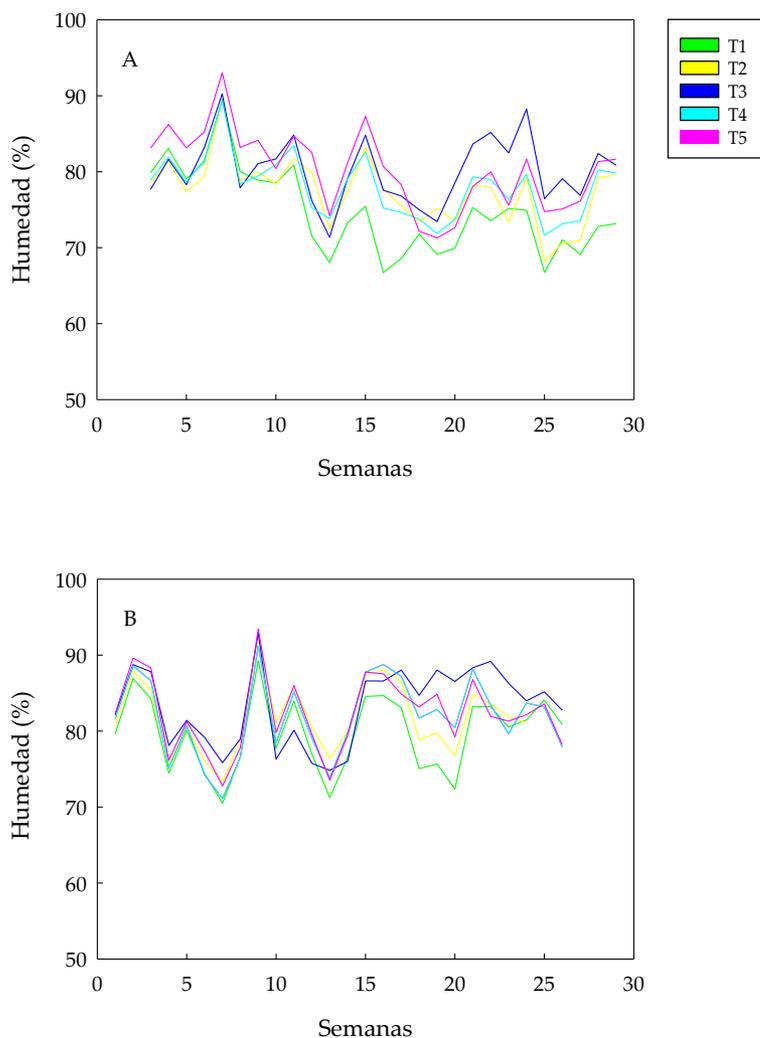
tratamiento T5, a los cuales les dio continuidad el tratamiento T3, hasta la finalización de las recolecciones (**Figura IV.35A**).

Encontrándose las semanas con los valores de menor cuantía casi concentrados en el tratamiento T1, y en contadas veces salpicando a otros tratamientos, como el T2 el que más (**Figura IV.35A**).

Y en ambos casos, ofreciendo niveles muy adecuados para el crecimiento de la planta, en general, y para el desarrollo de otros procesos fisiológicos, de nutrición y fructificación.

Con este parámetro cambia un poco la tendencia mostrada en la primera campaña, ya que aunque el tratamiento T3 siguió mostrando un número importante de períodos con los valores higrométricos más elevados, fue superior al ofrecido en la primera campaña (**Figura IV.35B**). Estando repartido en el resto de semanas en fases inicial y media del ciclo de cultivo, en T5 y T2.

Y los valores higrométricos menores dentro de estos niveles medios correspondieron, como en la primera campaña, también al tratamiento T1 en gran parte, completándose en los períodos restantes con presencia de la mayoría de tratamientos de cubierta de forma bastante arbitraria (**Figura IV.35B**).



**Figura IV.35.** Humedades relativas medias registradas en el interior del invernadero durante la 1<sup>a</sup> (A) y la 2<sup>a</sup> (B) campaña.

#### IV.2.1.3. Radiación

Aunque los espectros de radiación ultravioleta A y B son los agentes responsables a los que se dirige fundamentalmente esta investigación, junto a la temperatura, y que se les considera interactúan en el crecimiento y desarrollo de las plantas (Krizek y Mirecki, 2004), y cuya relación con la mayor o menor presencia de contenidos antioxidantes en los frutos de tomate ha sido y está siendo estudiada (Luthria *et al.*, 2006; Rosales, 2008), en el análisis realizado de esta variable

ambiental, también han sido incluidos los de la radiación fotosintéticamente activa (PAR), por las orientaciones que pueden aportar en cuanto al volumen de radiación recibida en el entorno de la planta (Krizek, 2004), en primer lugar, y por el comportamiento llevado a cabo por el vegetal, en el segundo, al ser la radiación PAR la componente fundamental responsable de su conducta (Salmerón *et al.*, 2006).

La evolución de la radiación ha sido observada bajo la óptica de la cantidad de ella que consigue llegar finalmente a la planta, y que se ha contemplado como porcentaje de radiación transmitida. De esta manera, la variación de las propiedades ópticas de los materiales de cubierta que integran el conjunto de los tratamientos ha podido ser mejor analizada.

Estas medidas se han realizado sobre probetas de los distintos materiales, vírgenes y además en momentos determinantes en el transcurso de la experiencia, como el final de la primera campaña, y el inicio y final de la segunda considerando para ello los espectros PAR, UVA y UVB (**Tablas IV.18, IV.19 y IV.20**).

#### IV.2.1.3.1. Radiación PAR

Los porcentajes transmitidos de este tipo de radiación en momentos importantes del ensayo mostraron en su inicio, con los materiales vírgenes, que hubieron ligeras diferencias entre ellos (**Tabla IV.18**). Siendo el menos transparente a ella el tratamiento T1 (LDe), posiblemente motivado por la presencia de pigmentos de interferencia aditivados para reducir la acción del espectro ultravioleta, y que si no están bien equilibradas sus formulaciones, pueden percutir negativamente en espectros radiométricos próximos, como el PAR, reduciéndolo. Efectos negativos similares se producen con formulaciones de filmes antitérmicos experimentales, cuyos aditivos al reducir la radiación infrarroja próxima (NIR), invaden otras bandas de radiación cercanas, como la PAR, afectando la precocidad de la producción (López-Marín *et al.*, 2011).

En cuanto a la variación observada de estos porcentajes al final de la primera campaña, aparecieron pequeñas diferencias de incremento y reducciones de los mismos (**Tabla IV.18**). En el primer caso, los tratamientos T1 (LDe), y T3 (UVA100%e), aumentaron su poder inicial, pero en menos del 1%, mientras que cuando descendieron, el porcentaje reducido, en los tratamientos T2 (PETc), T4

(LDc) y T5 (UVe), lo decrecen también en cantidades poco sensibles, en un entorno máximo de un 4%.

Al inicio de la segunda campaña, los incrementos o decrementos experimentados en los distintos materiales de cubierta, se estrecharon aún más, con independencia de que el sentido sea al alza o a la baja (**Tabla IV.18**). Expresando con ello la poca influencia que ha podido tener sobre sus estabilidad estructural la acción de las duras condiciones estivales que se dan en la comarca del Campo Cartagena (López *et al.*, 2007c) y la mínima repercusión habida en las propiedades ópticas de todos los filmes evaluados. Comentar además que los pequeños aumentos observados se produjeron en todos los tratamientos, a excepción del T3, que se redujo en menos de un 1%.

Y en el último momento determinante del cultivo estudiado, al final de la segunda campaña, la variación de estos porcentajes de transmisión fue uniforme y ascendente para todos los filmes considerados, e igualmente manteniendo incrementos porcentuales similares a los ya comentados (**Tabla IV.18**), siendo el más notable de ellos el del tratamiento T4, de alrededor de un 8%, que pudiera explicarse en que al sufrir una migración importante de los aditivos antiUV, hayan despejado totalmente su intromisión en el espectro PAR.

**Tabla IV.18.** *Porcentaje de transmisión de radiación PAR durante las dos campañas: Momentos relevantes.*

Tratamiento	Material Virgen	Final 1ªC	Inicio 2ªC	Final 2ªC
T1	71,94	72,05	73,95	76,81
T2	88,62	88,21	88,28	90,80
T3	89,43	90,65	89,45	93,10
T4	90,16	86,72	87,45	95,57
T5	89,78	86,13	89,24	91,41

A la vista de los resultados obtenidos a lo largo de la experiencia, en las dos campañas, se podría considerar que la acción de la radiación PAR recibida por las plantas en todos los tratamientos de cubierta, ha sido adecuada y que no ha debido influir de forma diferencial en su comportamiento agronómico, aunque haya de

tenerse en cuenta posteriormente en el análisis de cualquier parámetro que en el tratamiento T1 (LDe), siempre se mantuvo la mayor diferencia con respecto al grupo restante de los otros cuatro tratamientos, y que ésta nunca fue inferior a un 14% con relación al mínimo alcanzado en ese conjunto (**Tabla IV.18**).

Comentar también que los porcentajes de radiación recibidos por las plantas al final de cada una de las campañas ha sido notable y que estos niveles de radiación han podido permitir la síntesis de principios interesantes, como los carotenos (Gautier *et al.*, 2008), vitamina C (Torres *et al.*, 2006), etc., sin propiciar riesgos de exceso de iluminación, con el consiguiente perjuicio para la inhibición de la síntesis de estos productos (Dumas *et al.*, 2003). Y que estos porcentajes no tienen influencia sobre otros aspectos de la calidad del fruto, como el contenido de sólidos solubles y la cantidad de peso seco, ya que según algunos autores no son afectados por la PAR (Baxter *et al.*, 2005; Riga *et al.*, 2008).

#### IV.2.1.3.2. Radiación UVA

Al ser este tipo de radiación la mayor variante diferencial de las propiedades ópticas de todos los materiales valorados, y llegar a las plantas en gran proporción (Yarosh y Smiles, 2009), su evolución revistió un valor especial, a lo cual hay que añadir que, junto a la UVB, son los factores hipotéticos de cuya presencia se desea conocer si tiene mayor o menor repercusión en el comportamiento de la planta (Cadwell *et al.*, 2007), y en los niveles de los principios salutíferos que se puedan generar en los frutos de tomate (Rosales, 2008).

Inicialmente, en los materiales vírgenes, ya se vio claramente que la reducción del porcentaje de radiación UVA fue muy importante, aunque con menor intensidad en el tratamiento T5, UVe (**Tabla IV.19**). Así mismo se comprobó la buena transformación realizada en el tratamiento T3, postulado como UVA100%, y que, prácticamente, estuvo totalmente logrado, ya que solo fue transparente en un 1% a esta radiación específica. También se entienden perfectamente los porcentajes de transmisión que se lograron en los tratamientos T1 (LDe) y T4 (LDc), de 6,17 y 1,42, respectivamente, ya que mostraron la característica que preconizan de mayor impermeabilidad ante la presencia de radiación UVA para permitir una mayor duración de la vida útil de ambos filmes (**Tabla IV.19**). Y ciertamente comprensible fue la presencia de los niveles de transmisión de este tipo de radiación en el tratamiento T2 (PETc), que es un filme de excelente calidad y eficacia contrastada, y

que por su formulación y transformación en multicapas, lleva aditivaciones muy completas. Finalmente, fue el tratamiento T5 (UVE), el que se observó como menos acabado en este aspecto y más deficiente, aun siendo un material experimental específico, estando realizado con menor definición (**Tabla IV.19**).

Al final de la primera campaña ya se hizo evidente la naturaleza de los filmes más impermeables a este tipo de radiación, resaltando rotundamente que los materiales de los tratamientos T3 y T4, fueron los que realmente se aditivaron para procurar una mayor opacidad a la penetración de la radiación UVA, en el interior de los recintos de cultivo que protegen (**Tabla IV.19**), ya que esta intrusión solo se incrementó en un 1 y 4%, respectivamente, con relación a su índice de transparencia inicial. El tratamiento T1, mostró, en cambio, que la pérdida de esta propiedad se manifestó en un incremento del porcentaje de transmisión superior al 10%; y ya casi se salieron fuera de contexto los tratamientos T2 y T5, con aumentos de transmisión más importantes en el primero, superior a un 15%, y ya totalmente desfasado de alrededor de un 32% en el segundo (**Tabla IV.19**).

**Tabla IV.19.** *Porcentaje de transmisión de radiación UVA durante las dos campañas: Momentos relevantes.*

Tratamiento	Material Virgen	Final 1ªC	Inicio 2ªC	Final 2ªC
T1	6,17	17,28	22,71	35,69
T2	4,55	20,68	24,54	46,80
T3	1,00	2,17	8,45	21,70
T4	1,42	5,41	10,66	28,13
T5	18,70	51,29	50,78	65,34

En los porcentajes de transmisión analizados al inicio de la segunda campaña, con el período de inactividad de cultivos por medio, se apreciaron diferencias notables entre los registros practicados unos pocos meses antes (**Tabla IV.19**). Mostrando la gran influencia que tiene sobre la vida útil de los materiales de cubierta y los aditivos que la propician, el tránsito del verano en estas comarcas y las condiciones térmicas, especialmente, que se dan durante su transcurso. Ello se manifestó con el incremento superior al 5% que sufrieron los dos materiales más

claramente antiUVA, de los tratamientos T3 y T4. Porcentajes que también trasladaron su incremento al resto de tratamientos T1, T2 y T5.

En el último registro realizado al final de la segunda campaña, decir que siguieron debilitándose las propiedades ópticas de todos los materiales, con relación a la opacidad específica de la transmisión de radiación UVA, y que en porcentajes superiores al 10% en los filmes antiUVA, T3 y T4, y superiores a éstos en el resto de tratamientos, T1, T2 y T5, fueron manifestándose la degradación de todos los materiales de cubierta experimentados (**Tabla IV.19**).

Concluir diciendo que los filmes de los tratamientos T3 y T4, se mostraron durante todo el experimento, las dos campañas, como efectivamente cubiertas antiUVA, mientras que la formulación del tratamiento T1 debería ser revisada, así como la de T5, aun en mayor profundidad, si ambos materiales deben ser considerados reguladores de la radiación UVA.

Estos comportamientos de transmisión habrán de ser tenidos en cuenta en el análisis de contenidos de los frutos recolectados, para constatar su repercusión en las concentraciones halladas de antocianinas y flavonoides (Sinha *et al.*, 1998; Guo y Wang, 2010), que además pueden actuar como pigmentos absorbentes de este tipo de radiación para inhibir su acción oxidativa (Xia *et al.*, 2007).

Además, deberá ser considerada que su acción complementaria con la radiación PAR puede suponer un incremento de los niveles de clorofila, carotenos, etc., que influirán en el crecimiento de la planta (Shiozaki *et al.*, 1999), por lo que los valores alcanzados deberán ser estudiados igualmente conjuntamente con los correspondientes a los de la radiación fotosintética.

#### IV.2.1.3.3. Radiación UVB

La radiación de esta longitud de onda actúa de forma muy negativa sobre la estabilidad de la estructura polimérica de los materiales de cubierta de los invernaderos, acortando la vida útil de los mismos, por medio de la potenciación de la captación de radicales que quedan libres y con los que, por medio de procesos de oxidación, se producen acortamientos de las cadenas carbonadas, disminuyendo las propiedades mecánicas del filme y por tanto su resistencia.

Aunque por contra, y junto al resto de radiaciones del espectro UV, las radiaciones UVA y UVC, son promotoras del incremento de propiedades y

contenidos en los frutos del tomate y de otras hortalizas, que las hacen necesarias durante las fases productivas de las plantas.

Los porcentajes de transmisión de esta radiación que poseen los materiales de cubierta experimentados ya fueron bastante importantes en origen, es decir aun con los materiales salidos de la transformación y aún sin utilizar (**Tabla IV.20**). Y tanto en materiales experimentales como en comerciales se encontró en un rango elevado de entre el 59 y el 69%, localizándose en todos los tratamientos entre esos valores.

En la fecha correspondiente a la finalización de la primera campaña, estos porcentajes se incrementaron ligeramente en todos los tratamientos, con índices no superiores al 6% en el caso más llamativo, correspondiente al tratamiento T5 (UVe) (**Tabla IV.20**).

**Tabla IV.20.** Porcentaje de transmisión de radiación UVB durante las dos campañas: Momentos relevantes.

Tratamiento	Material Virgen	Final 1ªC	Inicio 2ªC	Final 2ªC
T1	59,64	61,18	62,59	67,23
T2	60,38	64,83	71,26	82,24
T3	59,52	60,92	60,57	62,88
T4	63,16	66,75	70,09	84,28
T5	69,90	75,89	80,28	84,81

Esta tendencia se mantuvo de forma casi uniforme en todos los tratamientos de cubierta de acuerdo con las cifras registradas unos meses después, en los que los invernaderos permanecieron sin cultivo, en el momento que se hizo el trasplante correspondiente al inicio de la segunda campaña. Solo en el caso del tratamiento T3 (UVA100%e), se conservó la estabilidad de la transparencia en este material de cubierta. En el resto de tratamientos y casi en el mismo orden cuantitativo que en el control del final de la primera campaña, se produjeron pequeños incrementos en los porcentajes de transmisión, evidenciando un ligero envejecimiento más en el recorrido del manejo de estos plásticos de cubierta (**Tabla IV.20**).

Y ya, a la finalización de la segunda campaña, la pérdida de filtros antiUVB se disparó en algunos materiales, como los de los tratamientos T2 y T4, PETc y LDc, respectivamente, llegando a más del 80%, los cuales, junto al tratamiento T5 (UVe), que desde el principio mostró el menor índice de opacidad a esta radiación, no opusieron prácticamente resistencia a su penetración en los recintos de cultivo (**Tabla IV.20**).

De todo ello se deduce que los materiales de los tratamientos T1 (LDe) y T3 (UVA100%e), fueron los que presentaron menor desvío en los porcentajes de transmisión de la radiación UVB, conservándose más activos y con menor tasa de migración de los filtros específicos aditivados (**Tabla IV.20**).

### IV.3. ESTUDIO DE LA EVOLUCIÓN DE LOS PARÁMETROS VEGETATIVOS

Se analizaron varios parámetros vegetativos que han podido ser influidos por las variaciones de las condiciones ambientales interiores de los invernaderos, propiciadas por los distintos materiales de cubierta (Antón, 2004). Todo ello partiendo desde el trasplante de plántulas de tomate de apariencia uniforme y que han sido consideradas que se encontraron en su estado óptimo de desarrollo (**Tabla IV.21**), tanto en la parte aérea como subterránea, en las dos campañas de estudio (Jones, 1999; Reche, 2009). Lo que supone que cualquier falta de analogía en el crecimiento de las plantas de los distintos tratamientos no estuvo motivada por deficiencias iniciales del material vegetal evaluado (Atherton *et al.*, 1986).

Durante la segunda campaña, los valores de cada uno de los parámetros medidos en las 10 plántulas en el estado cero fueron similares a los obtenidos en la primera campaña (**Tabla IV.21**).

Los parámetros vegetativos valorados y cuya conducta puede tener repercusión en las características de la fructificación (Galindo, 2010), han sido: altura de la planta, diámetro del tallo principal, número de hojas adultas por planta, evolución de la superficie foliar de dos hojas adultas y contenido en clorofila en hojas adultas.

**Tabla IV.21.** Características de plántulas en estado cero durante la primera campaña.

Nº Plántulas	Altura (cm)	Nº Hojas	Diámetro tallo principal (cm)	Clorofila (spad)		Superficie (cm <sup>2</sup> )	
				Haz	Envés	Hoja 1	Hoja 2
1	33,00	4	3,55	30,30	30,80	100,00	77,00
2	34,00	4	3,36	28,00	26,30	75,00	102,00
3	30,50	4	3,21	24,90	27,00	70,00	123,50
4	29,50	3	3,03	25,90	24,80	92,00	78,75
5	30,00	4	3,98	28,10	28,80	80,50	84,00
6	33,50	4	3,55	28,90	30,20	90,00	135,00
7	30,00	4	3,77	32,50	30,40	110,50	133,00
8	34,00	4	4,01	30,60	26,60	84,00	141,75
9	28,00	3	3,07	29,10	31,30	84,00	74,75
10	33,00	4	3,56	28,80	28,50	123,50	74,75

### IV.3.1. Altura de la planta

El crecimiento vertical de las plantas en la primera campaña, se manifestó con mayor vigor en el tratamiento T2 (PETc), durante la primera fase de evolución de las plantas, hasta 72 Días Después del Trasplante (DDT), a partir de cuyo momento se trasladó al tratamiento T3 (UVA100%e), hasta 152 DDT, fecha en la que volvieron a encontrarse las mayores alturas en el tratamiento T2 (**Tablas IV.22 y IV.23**), y que es el último control efectuado de la altura, ya que el tallo principal sufre el pinzamiento de la yema terminal vegetativa para evitar crecimientos ya no deseados y dirigir todo el potencial generado por la planta a la fructificación (Dorais *et al.*, 2008).

Comentar que la diferencia de crecimiento de las plantas de todos los tratamientos, indistintamente del lugar que ocupen cada uno de ellos durante el ciclo de cultivo, a pesar de que siempre fue mínima, menos en el último control realizado, siendo de 4 ó menos centímetros, en la interpretación estadística de estos valores si que se aparecieron diferencias significativas al respecto. En cuanto al crecimiento mínimo de las plantas en esta primera campaña, correspondieron a las del tratamiento T5 (UVe), en casi todo el ciclo de cultivo, seguidas muy de cerca por las del tratamiento T4 (LDc). Al igual como se produjo en los crecimientos máximos, las diferencias de altura en ambos tratamientos fueron muy pequeñas, a excepción del último control de 152 DDT (**Tablas IV.22 y IV.23**).

**Tabla IV.22.** *Altura de la planta durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 84 DDT.*

	DDT			
	36	50	72	84
T1	34,68 ± 0,58 <sup>b1</sup>	51,95 ± 0,72 <sup>b</sup>	86,50 ± 0,90 <sup>c</sup>	124,30 ± 3,28 <sup>b</sup>
T2	39,93 ± 0,81 <sup>a</sup>	60,10 ± 0,94 <sup>a</sup>	101,50 ± 1,20 <sup>a</sup>	130,10 ± 1,31 <sup>a</sup>
T3	38,28 ± 0,74 <sup>a</sup>	60,05 ± 0,95 <sup>a</sup>	97,10 ± 0,77 <sup>b</sup>	133,35 ± 1,29 <sup>a</sup>
T4	31,95 ± 0,60 <sup>c</sup>	43,83 ± 0,84 <sup>c</sup>	77,38 ± 1,25 <sup>d</sup>	108,43 ± 1,24 <sup>c</sup>
T5	32,48 ± 0,76 <sup>c</sup>	43,65 ± 1,07 <sup>c</sup>	73,95 ± 1,53 <sup>e</sup>	96,95 ± 1,76 <sup>d</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Las plantas de mayor crecimiento mostraron con respecto a las de menor, un desarrollo medio casi continuado de unos 30 cm en cada uno de los controles realizados, aumentándose notablemente a partir de los 84 DDT, en la primera campaña, y desde los 96 DDT, en la segunda (**Tablas IV.22 y IV.23**).

**Tabla IV.23.** *Altura de la planta durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 152 DDT.*

	DDT			
	84	114	127	152
T1	124,30 ± 3,28 <sup>b1</sup>	184,25 ± 3,27 <sup>a</sup>	211,33 ± 3,60 <sup>a</sup>	262,15 ± 3,18 <sup>ab</sup>
T2	130,10 ± 1,31 <sup>a</sup>	187,93 ± 2,34 <sup>a</sup>	215,15 ± 4,76 <sup>a</sup>	252,75 ± 2,02 <sup>bc</sup>
T3	133,35 ± 1,29 <sup>a</sup>	190,75 ± 2,24 <sup>a</sup>	216,58 ± 2,23 <sup>a</sup>	267,80 ± 3,87 <sup>a</sup>
T4	108,43 ± 1,24 <sup>c</sup>	165,10 ± 2,62 <sup>b</sup>	197,15 ± 3,07 <sup>b</sup>	247,75 ± 3,05 <sup>b</sup>
T5	96,95 ± 1,76 <sup>d</sup>	155,43 ± 2,71 <sup>c</sup>	184,45 ± 2,98 <sup>c</sup>	229,05 ± 4,71 <sup>d</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

La altura de las plantas durante la segunda campaña mantuvo una trayectoria bastante paralela a la descrita para la primera, de tal manera que los máximos crecimientos se mantuvieron bajo las cubiertas de los tratamientos T2 y

T3, y los mínimos volvieron a encontrarse en las plantas protegidas por los filmes de los tratamientos T4 y T5 (Tablas IV.24 y IV.25).

En cuanto a las plantas con menor altura, la respuesta de los tratamientos fue prácticamente igual a la de la primera campaña, aunque en ésta segunda éstas se dieron de forma general en el tratamiento T4, casi en la totalidad del ciclo de cultivo (Tablas IV.24 y IV.25), y con valores muy próximos a los de las plantas del T5 durante todo este período.

**Tabla IV.24.** *Altura de la planta durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 70 DDT.*

	DDT			
	19	33	55	70
T1	27,56 ± 0,36 <sup>a1</sup>	37,28 ± 0,70 <sup>b</sup>	61,90 ± 0,79 <sup>b</sup>	87,67 ± 1,13 <sup>c</sup>
T2	27,82 ± 0,60 <sup>a</sup>	41,85 ± 0,55 <sup>a</sup>	70,89 ± 0,59 <sup>a</sup>	100,70 ± 0,94 <sup>a</sup>
T3	27,35 ± 0,50 <sup>a</sup>	37,97 ± 0,61 <sup>b</sup>	62,43 ± 0,76 <sup>b</sup>	92,91 ± 1,07 <sup>b</sup>
T4	27,36 ± 0,27 <sup>a</sup>	31,90 ± 0,81 <sup>c</sup>	48,69 ± 1,69 <sup>d</sup>	72,22 ± 2,04 <sup>e</sup>
T5	27,56 ± 0,34 <sup>a</sup>	33,52 ± 0,80 <sup>c</sup>	54,83 ± 0,98 <sup>c</sup>	79,37 ± 1,65 <sup>d</sup>
P- valor <sup>2</sup>	ns	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

A nivel estadístico, aunque aparezcan algunos controles en los que se dieron diferencias significativas entre los tratamientos con plantas de mayor y menor altura, realmente reflejan la sensibilidad del criterio estadístico aplicado, ya que a nivel agronómico esas diferenciaciones de tan pocos centímetros, son poco representativos no implicando necesariamente una repercusión notable en la conducta de la planta en cuanto a la fructificación (Escaff *et al.*, 2005).

A la vista de las alturas alcanzadas por las plantas en las dos campañas en los tratamientos de cubierta estudiados, y con relación a la posible influencia en ello de las condiciones ambientales que se han dado bajo los distintos filmes (Nelson, 1985; Papadakis *et al.*, 2000), se puede decir que las temperaturas registradas en el interior de los invernaderos, a nivel de máximas no tuvieron una relación claramente proporcional con la evolución de esos desarrollos vegetativos (Tablas IV.22-IV.25),

y que, parcialmente, mostraron su repercusión en los tratamientos T2, en la primera campaña, y T3, en la segunda.

En cambio, con las temperaturas mínimas (**Figuras IV.32A y B**), sí se apreciaron mayores correlaciones, marcándose la tendencia de que los tratamientos de cubierta que propician menor inercia térmica, como T4 y T5, indujeron un menor crecimiento de las plantas (Castilla, 1995; Heuvelink y Dorais, 2005), lográndose menores alturas y que se destacaron en los diversos controles de crecimiento efectuados (**Tablas IV.22-IV.25**).

**Tabla IV.25.** *Altura de la planta durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 139 DDT.*

	DDT			
	82	96	118	139
T1	120,90 ± 1,35 <sup>b1</sup>	154,85 ± 1,69 <sup>ab</sup>	199,25 ± 2,24 <sup>b</sup>	223,55 ± 3,65 <sup>b</sup>
T2	127,00 ± 1,64 <sup>a</sup>	154,83 ± 1,65 <sup>ab</sup>	192,35 ± 2,69 <sup>bc</sup>	220,50 ± 2,96 <sup>b</sup>
T3	125,88 ± 1,41 <sup>a</sup>	160,13 ± 2,92 <sup>a</sup>	212,35 ± 1,98 <sup>a</sup>	241,15 ± 1,85 <sup>a</sup>
T4	107,05 ± 1,83 <sup>c</sup>	145,75 ± 1,67 <sup>c</sup>	189,25 ± 2,84 <sup>c</sup>	222,90 ± 2,61 <sup>b</sup>
T5	111,15 ± 2,15 <sup>c</sup>	149,35 ± 2,02 <sup>bc</sup>	198,80 ± 2,46 <sup>b</sup>	236,65 ± 2,49 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Con relación a la humedad relativa registrada durante los dos períodos experimentales (**Figuras IV.34A y B**), podría argumentarse en el caso de los porcentajes mínimos, que los valores alcanzados de desarrollo, pero solo en alguno de los tratamientos, como en el T3, podrían haber estado influidos por esos grados higrométricos (Ayers y Westcost, 1985), ya que su presencia coincide con los menores crecimientos vegetativos (**Tablas IV.22-IV.25**).

En cuanto a la responsabilidad que hayan podido tener los distintos tipos de radiación recibida por las plantas y que haya percutido en su crecimiento (Rozema *et al.*, 1997; Pinto *et al.*, 2000; Raveh *et al.*, 2003), ya se ha comentado que la PAR, como mayor responsable de ello, no presentó grandes diferencias entre tratamientos (**Tabla IV.18**), y que si, inicialmente, como material virgen, y finalmente, al final de la segunda campaña, el tratamiento T1 (LDe), fue el menos

transparente a ella, en cambio no se manifestó así en los crecimientos logrados por las plantas, ya que estos fueron intermedios en las dos campañas.

La radiación UVA (**Tabla IV.19**), sin embargo, y cuya presencia tiene menos repercusión en la fisiología de la planta (Rozema *et al.*, 1997), ofreció una correlación parcial en cuanto a sus magnitudes, correspondiendo su mayor opacidad en T3 a alguno de los crecimientos más importantes.

En la radiación UVB (**Tabla IV.20**) se observaron correlaciones alternas, apreciándose algunas coincidencias de menores valores de transparencias con los de mayor crecimiento de las plantas, como en los tratamientos T2 y T3, y a la recíproca como en T5 y T4.

Además, los resultados obtenidos en ambas campañas no establecieron diferencias claras en el comportamiento fotoselectivo de los diversos materiales de cubierta experimentados (Castilla, 2004; López *et al.*, 2005a; Salmerón *et al.*, 2006), ya que cubiertas que inducen mayor inercia térmica, como el T2, un térmico definido, influyen positivamente en el crecimiento (Diaz *et al.*, 2001), pero también lo hacen aparentemente otros aditivados con opacidad UV, como el T3 y que en teoría debían potenciar menos este efecto (Kittas *et al.*, 2006; Hemming, 2008). Siendo más plausible la conducta de los filmes de cubierta que proporcionan menor crecimiento en las plantas, ya que en sendos casos, la formulación que los describe no aportan potenciadores de la temperatura ni al infrarrojo de longitud de onda larga (Salmerón *et al.*, 2001; Castilla, 2005; López *et al.*, 2008a).

### IV.3.2. Diámetro del tallo principal

El crecimiento progresivo del diámetro del tallo principal durante la primera campaña se produjo de forma más acusada en las plantas del tratamiento T3, en primer lugar, seguidas por las de T2 (**Tablas IV.26 y IV.27**).

En los controles vegetativos efectuados en varias fechas tras el trasplante, guardando de 2 a 3 semanas entre ellos, el engrosamiento medio percibido varió en las plantas de todos los tratamientos en unos 2 mm, tanto en las plantas de mayor como de menor desarrollo.

Con respecto a estas últimas, decir que se encontraron dentro de los tratamientos T5 y T4 (**Tablas IV.26 y IV.27**), manteniendo la misma tendencia de evolución que la que presentaron las plantas con mayor vigor.

**Tabla IV.26.** Evolución del diámetro del tallo principal durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 84 DDT.

	DDT			
	36	50	72	84
T1	5,24 ± 0,13 <sup>b1</sup>	6,98 ± 0,15 <sup>b</sup>	10,24 ± 0,18 <sup>b</sup>	12,75 ± 0,19 <sup>b</sup>
T2	5,91 ± 0,18 <sup>a</sup>	7,42 ± 0,20 <sup>b</sup>	10,60 ± 0,21 <sup>ab</sup>	11,92 ± 0,23 <sup>b</sup>
T3	5,89 ± 0,16 <sup>a</sup>	7,90 ± 0,19 <sup>a</sup>	10,91 ± 0,19 <sup>a</sup>	13,10 ± 0,28 <sup>a</sup>
T4	5,01 ± 0,22 <sup>b</sup>	5,99 ± 0,14 <sup>c</sup>	10,87 ± 0,29 <sup>a</sup>	11,91 ± 0,19 <sup>b</sup>
T5	4,89 ± 0,16 <sup>b</sup>	5,43 ± 0,12 <sup>d</sup>	8,68 ± 0,22 <sup>c</sup>	11,15 ± 0,30 <sup>c</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

De todas maneras las diferencias de los incrementos del diámetro del tallo de las plantas de todo el paquete de tratamientos, se mantuvo constante en los controles periódicos realizados, y en todos los casos no llegaron a sobrepasar los 3 mm (Tablas IV.26 y IV.27), siendo esta una progresión natural (Aterton y Rudich, 1986; Wittweg y Castilla, 1995).

**Tabla IV.27.** Evolución del diámetro del tallo principal durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 152 DDT.

	DDT			
	84	114	127	152
T1	12,75 ± 0,19 <sup>b1</sup>	14,35 ± 0,36 <sup>b</sup>	14,82 ± 0,32 <sup>b</sup>	17,46 ± 0,36 <sup>a</sup>
T2	11,92 ± 0,23 <sup>b</sup>	14,48 ± 0,28 <sup>ab</sup>	15,06 ± 0,26 <sup>ab</sup>	15,79 ± 0,27 <sup>b</sup>
T3	13,10 ± 0,28 <sup>a</sup>	15,38 ± 0,46 <sup>a</sup>	15,91 ± 0,48 <sup>a</sup>	16,56 ± 0,43 <sup>ab</sup>
T4	11,91 ± 0,19 <sup>b</sup>	12,13 ± 0,29 <sup>d</sup>	13,36 ± 0,48 <sup>c</sup>	14,08 ± 0,31 <sup>c</sup>
T5	11,15 ± 0,30 <sup>c</sup>	13,31 ± 0,32 <sup>c</sup>	13,66 ± 0,35 <sup>c</sup>	14,14 ± 0,29 <sup>c</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

El análisis estadístico de las cifras alcanzadas en los tratamientos más y menos favorecidos, mostró diferencias significativas en alguno de los controles practicados, pero no se tradujeron en grandes disparidades morfométricas que pudieran hacer pensar en una respuesta clara de su crecimiento bajo un determinado material de cubierta (**Tablas IV.26 y IV.27**).

En la segunda campaña, los mayores diámetros logrados por las plantas bajo los distintos materiales de cubierta estuvieron menos definidos que en la primera, aunque hay varios controles en los que los tratamientos T2 y T3, en los que se presentaron las anchuras más notables (**Tablas IV.28 y IV.29**). Presentándose un crecimiento, considerado como pausado y normal de las plantas (González *et al.*, 2003b), en todos los tratamientos con independencia del vigor alcanzado en cada uno de ellos.

**Tabla IV.28.** Evolución del diámetro del tallo principal durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 70 DDT.

	DDT			
	19	33	55	70
T1	4,30 ± 0,07 <sup>abcd</sup>	6,99 ± 0,21 <sup>bc</sup>	10,65 ± 0,25 <sup>b</sup>	13,09 ± 0,29 <sup>ab</sup>
T2	4,68 ± 0,25 <sup>a</sup>	8,02 ± 0,20 <sup>a</sup>	11,92 ± 0,32 <sup>a</sup>	13,21 ± 0,26 <sup>a</sup>
T3	4,57 ± 0,14 <sup>ab</sup>	7,20 ± 0,14 <sup>b</sup>	12,05 ± 0,35 <sup>a</sup>	13,35 ± 0,27 <sup>a</sup>
T4	4,13 ± 0,10 <sup>c</sup>	5,88 ± 0,20 <sup>d</sup>	8,96 ± 0,30 <sup>c</sup>	11,63 ± 0,33 <sup>c</sup>
T5	4,29 ± 0,06 <sup>bc</sup>	6,62 ± 0,16 <sup>c</sup>	10,79 ± 0,37 <sup>b</sup>	12,31 ± 0,30 <sup>bc</sup>
P- valor <sup>2</sup>	**	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

La interpretación estadística realizada de las dimensiones de los diámetros habidos en la segunda campaña, fue casi una copia de la hecha de este parámetro vegetativo en la primera, aunque encontrando diferencias significativas entre tratamientos, gracias a la sensibilidad del criterio estadístico aplicado (**Tablas IV.28 y IV.29**).

Los desarrollos de los diámetros de las plantas conseguidos durante las dos campañas, contemplaron cierta relación con la altura adquirida por éstas (Nuez,

1995a; Reche, 2010), no observándose ahilamientos apreciables en los tallos principales menos evolucionados, lo que ha proporcionado la disponibilidad de plantas con un aspecto bastante armónico en todos los tratamientos (Hanan, 1998).

**Tabla IV.29.** Evolución del diámetro del tallo principal durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 139 DDT.

	DDT			
	82	96	118	139
T1	13,67 ± 0,26 <sup>b1</sup>	13,85 ± 0,29 <sup>c</sup>	16,17 ± 0,44 <sup>a</sup>	17,15 ± 0,38 <sup>a</sup>
T2	15,33 ± 0,40 <sup>a</sup>	15,65 ± 0,42 <sup>a</sup>	16,11 ± 0,40 <sup>a</sup>	17,03 ± 0,43 <sup>a</sup>
T3	14,72 ± 0,18 <sup>a</sup>	15,52 ± 0,17 <sup>a</sup>	16,15 ± 0,38 <sup>a</sup>	17,12 ± 0,30 <sup>a</sup>
T4	13,03 ± 0,34 <sup>b</sup>	14,49 ± 0,38 <sup>bc</sup>	15,17 ± 0,35 <sup>a</sup>	15,73 ± 0,26 <sup>b</sup>
T5	13,50 ± 0,31 <sup>b</sup>	14,92 ± 0,27 <sup>ab</sup>	15,83 ± 0,29 <sup>a</sup>	17,28 ± 0,30 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	**	***	ns	*

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

La repercusión de los distintos filmes de cubierta en el desarrollo de esta parte de la planta prosigue la dirección bosquejada en su altura, lo que ocurre es que al ser cuantitativamente mucho menores los incrementos experimentados y a su vez ser expresados en mm, se diluye aparentemente un poco su importancia (Antón, 2004; Reche, 2010). Pero se sigue manifestando que en los diámetros máximos se apreció en menor proporción, aún, los efectos del material térmico, tratamiento T2, con relación al UV100%, menos termófilo (Rozema *et al.*, 1997; Pinto *et al.*, 2000), mientras que sí se mantuvo el criterio de que aquellos formulados fotoselectivos al UV, tratamientos T4 y T5, promueven menor desarrollo vegetativo de las plantas (Díaz *et al.*, 2001; García-Alonso *et al.*, 2006; López-Marín *et al.*, 2009a).

### IV.3.3. Número de Hojas Verdaderas

En la primera campaña, el número de estos órganos ya adultos, aparecieron en mayor cantidad, casi, a todo lo largo del ciclo de cultivo en las plantas del tratamiento T3, junto a las del T2 (Tablas IV.30 y IV.31); proximidad de conducta

que queda refrendada en la interpretación estadística de estos datos, en la que se presentaron diferencias significativas entre ellos (**Tablas IV.30 y IV.31**). Tampoco a escala agronómica, la diferencia de una o dos hojas verdaderas, plasmada en los controles periódicos efectuados, no suponen cambios importantes en el comportamiento fisiológico de la planta (Berninger, 1989) y su posterior reflejo en la evolución de la floración o fructificación de las plantas. Aunque, tal y como ocurre en los parámetros vegetativos comentados anteriormente, a nivel estadístico, la aparición de diferencias significativas entre tratamientos fue muy marcada en el conjunto de controles efectuados en diversos períodos después del trasplante.

**Tabla IV.30.** Variación del número de hojas verdaderas durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 84 DDT.

	DDT			
	36	50	72	84
T1	10,40 ± 0,26 <sup>b1</sup>	14,75 ± 0,22 <sup>a</sup>	18,05 ± 0,42 <sup>b</sup>	23,45 ± 0,27 <sup>b</sup>
T2	11,15 ± 0,18 <sup>a</sup>	14,45 ± 0,21 <sup>a</sup>	18,00 ± 0,42 <sup>b</sup>	24,95 ± 0,39 <sup>a</sup>
T3	11,60 ± 0,2 <sup>a</sup>	14,50 ± 0,22 <sup>a</sup>	18,80 ± 0,40 <sup>b</sup>	26,20 ± 0,29 <sup>a</sup>
T4	9,65 ± 0,18 <sup>c</sup>	13,00 ± 0,26 <sup>b</sup>	15,85 ± 0,45 <sup>a</sup>	23,45 ± 0,31 <sup>b</sup>
T5	9,70 ± 0,16 <sup>c</sup>	12,25 ± 0,22 <sup>c</sup>	16,05 ± 0,29 <sup>a</sup>	20,10 ± 0,38 <sup>c</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En cuanto al menor número de hojas contabilizado en la primera campaña se localizó en las plantas del tratamiento T5, seguidas muy de cerca por las del tratamiento T4 (**Tablas IV.30 y IV.31**), pero con diferencias entre ellos que no excedieron la de tres de ellas, hasta llegar al último control realizado a los 152 DDT, en el que varió. Volviendo a ratificarse la precaria distinción entre tratamientos ante la observación efectuada de la significación estadística en los distintos controles que se hicieron de las plantas en diversas fases después de su trasplante.

**Tabla IV.31.** Variación del número de hojas verdaderas durante el primer ciclo de cultivo: Hasta 152 DDT.

	DDT			
	84	114	127	152
T1	23,45 ± 0,27 <sup>b1</sup>	29,20 ± 0,68 <sup>b</sup>	28,25 ± 0,33 <sup>b</sup>	32,65 ± 0,45 <sup>ab</sup>
T2	24,95 ± 0,39 <sup>a</sup>	30,15 ± 0,40 <sup>ab</sup>	29,20 ± 0,55 <sup>ab</sup>	32,55 ± 0,37 <sup>ab</sup>
T3	26,20 ± 0,29 <sup>a</sup>	31,10 ± 0,48 <sup>a</sup>	29,60 ± 0,43 <sup>a</sup>	31,75 ± 0,55 <sup>b</sup>
T4	23,45 ± 0,31 <sup>b</sup>	27,30 ± 0,41 <sup>c</sup>	27,00 ± 0,43 <sup>c</sup>	33,55 ± 0,42 <sup>a</sup>
T5	20,10 ± 0,38 <sup>c</sup>	26,90 ± 0,57 <sup>c</sup>	26,55 ± 0,35 <sup>c</sup>	33,45 ± 0,34 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	*

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En la segunda campaña, la aparición de estas hojas fue más alternativa, pero siempre guardando exiguas diferencias entre tratamientos, anotándose en general, en mayor número en el T2, en las primeras fases de crecimiento, hasta llegar a los 70 DDT (**Tabla IV.32**), y posteriormente pasar a las plantas del tratamiento T3, hasta el final del ciclo (**Tabla IV.33**). Las manifestaciones de la significación estadística entre estos tratamientos estuvieron acordes con los guarismos numéricos aportados, aunque fueron muy marcadas, con grandes diferencias significativas (**Tablas IV.32 y IV.33**), sin tener relevancia a nivel agronómico (Dorais *et al.*, 2001; Galindo, 2010).

El menor número de hojas hallado en las plantas de los diversos tratamientos, correspondió a las de T4 y tras éstas las de T5 (**Tablas IV.32 y IV.33**).

Se apreció por tanto una conducta general de los tratamientos de cubierta con relación a este parámetro que siguió la trayectoria exhibida por las plantas con los anteriores ya analizados, en los que los filmes correspondientes a T2 y T3, fueron los que favorecieron un mayor desarrollo, mientras que T4 y T5, parece que no los potenciaron tanto. Por lo que la repercusión de la variación de las variables ambientales estudiadas en el interior de los invernaderos debió ser bastante similar a la ya detallada anteriormente, lo que coincidiría con el comportamiento observado en otros estudios realizados (Papadakis *et al.*, 2000; Pinto *et al.*, 2000; Reche, 2009). Y aunque haya de tenerse muy en cuenta en todos los parámetros

analizados los reducidos márgenes existentes entre el conjunto de tratamientos que, insistimos, hace cuestionable valorar su repercusión en otras fases fenológicas de las plantas, como puedan ser floración y fructificación, y por ende, la producción (Atterton y Rudich, 1986; Wittwer y Castilla, 1995).

**Tabla IV.32.** Variación del número de hojas verdaderas durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 70 DDT.

	DDT			
	19	33	55	70
T1	7,57 ± 0,17 <sup>b1</sup>	12,15 ± 0,17 <sup>b</sup>	18,45 ± 0,27 <sup>b</sup>	21,55 ± 0,35 <sup>b</sup>
T2	8,29 ± 0,18 <sup>a</sup>	13,25 ± 0,18 <sup>a</sup>	19,80 ± 0,25 <sup>a</sup>	22,55 ± 0,32 <sup>a</sup>
T3	7,59 ± 0,15 <sup>b</sup>	11,95 ± 0,26 <sup>b</sup>	19,25 ± 0,29 <sup>a</sup>	20,75 ± 0,27 <sup>bc</sup>
T4	6,85 ± 0,18 <sup>c</sup>	10,65 ± 0,33 <sup>c</sup>	17,25 ± 0,38 <sup>c</sup>	20,15 ± 0,33 <sup>c</sup>
T5	7,17 ± 0,15 <sup>bc</sup>	11,85 ± 0,27 <sup>b</sup>	18,25 ± 0,20 <sup>b</sup>	20,50 ± 0,27 <sup>c</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Se podría decir que los resultados obtenidos de las dos campañas vienen a constatar de nuevo que los tratamientos que propiciaron un ambiente térmico más elevado, aunque solo fuera ligeramente, influyen en el comportamiento de la planta en el invernadero (Nelson, 1985; Salmerón *et al.*, 2006), y que estas diferencias se acumulan en la integral térmica final del cultivo dando la explicación adecuada a esa respuesta vegetativa (Wittwer y Castilla, 1995; González *et al.*, 2004).

Y en el caso del número de hojas producidas por la planta vino a repetirse la misma circunstancia ya explicada para otros parámetros vegetativos, y que al igual que en los casos anteriores, se encontró dentro de los umbrales normales de la conducta de la planta de tomate (Nuez, 1995a; Reche, 2010). Y si el caso del tratamiento T2 ya está suficientemente explicado, en el caso del T3, cabe pensar que al no conocer exactamente su formulación, al ser un material experimental cedido, pueda contener algún aditivo que coadyuve a provocar el efecto térmico y su mayor inducción vegetativa.

**Tabla IV.33.** Variación del número de hojas verdaderas durante el segundo ciclo de cultivo: Hasta 139 DDT.

	DDT			
	82	96	118	139
T1	27,20 ± 0,56 <sup>a1</sup>	30,50 ± 0,37 <sup>b</sup>	35,40 ± 0,69 <sup>b</sup>	43,30 ± 0,70 <sup>a</sup>
T2	26,00 ± 0,38 <sup>ab</sup>	31,35 ± 0,36 <sup>ab</sup>	36,25 ± 0,42 <sup>b</sup>	43,30 ± 0,58 <sup>a</sup>
T3	24,80 ± 0,40 <sup>b</sup>	32,20 ± 0,53 <sup>a</sup>	38,05 ± 0,60 <sup>a</sup>	45,05 ± 0,63 <sup>a</sup>
T4	22,35 ± 0,56 <sup>c</sup>	30,60 ± 0,54 <sup>b</sup>	34,90 ± 0,66 <sup>b</sup>	40,20 ± 1,02 <sup>b</sup>
T5	23,10 ± 0,58 <sup>c</sup>	30,70 ± 0,45 <sup>b</sup>	34,60 ± 0,73 <sup>b</sup>	44,05 ± 1,02 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	*	**	**

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

#### IV.3.4. Evolución de la superficie foliar de dos hojas adultas

Si bien los factores vegetativos analizados anteriormente son importantes para la evolución del cultivo, la superficie foliar es el que más repercusión puede tener sobre la respuesta productiva de la planta (Berninger, 1989; Wargent *et al.*, 2009), claro está en interconexión total con las relacionadas con la arquitectura de ésta.

La vida útil de una hoja adulta es inferior a la duración del ciclo de cultivo fijado (Rozema *et al.*, 1997; Dorais *et al.*, 2001), por lo que se observará que cuando se produce el endurecimiento de las primeras de ellas, que aparecen visiblemente envejecidas apuntando su inhibición fotosintética, habrá de continuar este seguimiento cambiándolo a otra hoja adulta. De esa manera se podrá proseguir investigando sobre la influencia de los materiales de cubierta en la evolución de la superficie foliar de las plantas de cada tratamiento. Estos cambios de hoja, de las dos por ciclo, se produjeron en la primera y segunda campaña a los 84 y 82 DDT, respectivamente, simultaneándose ello en todos los tratamientos de cubierta (Tablas IV.34-IV.41).

**Tabla IV.34.** Superficie foliar de órganos adultos durante el primer ciclo de cultivo: Hoja  $\alpha$  hasta 84 DDT.

	DDT			
	36	50	72	84
T1	92,41 $\pm$ 4,06 <sup>a1</sup>	491,40 $\pm$ 16,72 <sup>a</sup>	930,35 $\pm$ 43,57 <sup>b</sup>	1099,40 $\pm$ 49,38 <sup>b</sup>
T2	94,34 $\pm$ 4,47 <sup>a</sup>	538,06 $\pm$ 31,46 <sup>a</sup>	1101,63 $\pm$ 32,58 <sup>a</sup>	1184,33 $\pm$ 30,71 <sup>ab</sup>
T3	101,12 $\pm$ 4,08 <sup>a</sup>	514,26 $\pm$ 26,37 <sup>a</sup>	1036,48 $\pm$ 25,68 <sup>a</sup>	1253,73 $\pm$ 39,78 <sup>a</sup>
T4	96,71 $\pm$ 3,79 <sup>a</sup>	270,98 $\pm$ 9,04 <sup>b</sup>	629,08 $\pm$ 35,00 <sup>c</sup>	690,63 $\pm$ 36,48 <sup>c</sup>
T5	97,45 $\pm$ 3,69 <sup>a</sup>	206,78 $\pm$ 11,65 <sup>c</sup>	420,05 $\pm$ 34,74 <sup>d</sup>	457,85 $\pm$ 35,53 <sup>d</sup>
P- valor <sup>2</sup>	**	***	***	**

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

La evolución de las dos primeras hojas adultas observadas, enumeradas como  $\alpha$  y  $\beta$  en cada tratamiento, comenzaron a estudiarse en la primera campaña a partir de 36 DDT durando hasta los 84 DDT, y mostraron una similitud bastante grande en su área superficial en todos los tratamientos (**Tablas IV.34 y IV.36**). Siendo en el caso de la hoja  $\alpha$ , en los tratamientos T2 y T3, donde mayor desarrollo alcanzó (**Tabla IV.34**), mientras que cuando se trata de la hoja  $\beta$ , el crecimiento más importante se dio en las hojas del tratamiento T3, preferentemente, y en menor medida de las de T2 (**Tabla IV.36**).

Ya, al comprobar el tamaño más importante adquirido en las hojas de cambio, a partir de los 114 DDT, en la primera campaña, y en la interpretación estadística de las superficies alcanzadas, aparecieron diferencias significativas, existiendo un decalage inicial aproximado de un 20%, entre las áreas de las hojas más grandes del tratamiento T4, para ambas hojas  $\alpha$  y  $\beta$ , y las menores del tratamiento T3, para la hoja  $\alpha$ , y más indefinido para la hoja  $\beta$ .

**Tabla IV.35.** Superficie foliar de órganos adultos durante el primer ciclo de cultivo: cambio de Hoja  $\alpha$  (114 DDT) hasta 152 DDT.

	DDT			
	84	114	127	152
T1	1099,40 $\pm$ 49,38 <sup>b1</sup>	455,23 $\pm$ 37,85 <sup>b</sup>	733,03 $\pm$ 37,60 <sup>b</sup>	829,60 $\pm$ 49,26 <sup>a</sup>
T2	1184,33 $\pm$ 30,71 <sup>ab</sup>	457,81 $\pm$ 35,18 <sup>b</sup>	693,29 $\pm$ 41,31 <sup>b</sup>	898,05 $\pm$ 37,97 <sup>a</sup>
T3	1253,73 $\pm$ 39,78 <sup>a</sup>	373,78 $\pm$ 24,89 <sup>b</sup>	597,90 $\pm$ 21,75 <sup>c</sup>	674,76 $\pm$ 25,31 <sup>b</sup>
T4	690,63 $\pm$ 36,48 <sup>c</sup>	560,53 $\pm$ 30,79 <sup>a</sup>	867,74 $\pm$ 32,15 <sup>a</sup>	899,59 $\pm$ 39,52 <sup>a</sup>
T5	457,85 $\pm$ 35,53 <sup>d</sup>	431,94 $\pm$ 20,68 <sup>b</sup>	762,03 $\pm$ 30,20 <sup>b</sup>	804,38 $\pm$ 36,31 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	**	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Como en el cambio de hoja no se mantuvo el orden de importancia de superficies alcanzados por las primeras hojas, no se pudo estudiar su continuidad.

**Tabla IV.36.** Superficie foliar de órganos adultos durante el primer ciclo de cultivo: Hoja  $\beta$  hasta 84 DDT.

	DDT			
	36	50	72	84
T1	104,16 $\pm$ 4,40 <sup>a1</sup>	476,85 $\pm$ 19,34 <sup>b</sup>	934,04 $\pm$ 40,91 <sup>b</sup>	1072,51 $\pm$ 47,83 <sup>b</sup>
T2	106,99 $\pm$ 4,38 <sup>a</sup>	501,00 $\pm$ 36,17 <sup>ab</sup>	1015,28 $\pm$ 32,26 <sup>b</sup>	1102,90 $\pm$ 31,64 <sup>b</sup>
T3	103,09 $\pm$ 4,53 <sup>a</sup>	551,56 $\pm$ 38,74 <sup>a</sup>	1117,90 $\pm$ 28,18 <sup>a</sup>	1307,33 $\pm$ 34,97 <sup>a</sup>
T4	103,95 $\pm$ 4,84 <sup>a</sup>	262,25 $\pm$ 9,84 <sup>c</sup>	561,08 $\pm$ 33,90 <sup>c</sup>	597,49 $\pm$ 34,90 <sup>c</sup>
T5	104,06 $\pm$ 4,69 <sup>a</sup>	198,56 $\pm$ 11,99 <sup>c</sup>	396,15 $\pm$ 32,55 <sup>d</sup>	426,80 $\pm$ 35,26 <sup>d</sup>
P- valor <sup>2</sup>	ns	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En las nuevas hojas, a partir de los 114 DDT (**Tablas IV.35 y IV.37**), se conservó un desarrollo proporcional, tanto máximo como mínimo, para la hoja  $\alpha$  (**Tabla IV.35**), mientras que fueron irregulares para la hoja  $\beta$  (**Tabla IV.37**).

En ambas hojas, inicialmente y con los cambios, aparecieron numerosas diferencias significativas a nivel estadístico.

**Tabla IV.37.** Superficie foliar de órganos adultos durante el primer ciclo de cultivo: cambio de Hoja  $\beta$  (114 DDT) hasta 152 DDT.

	DDT			
	84	114	127	152
T1	1072,51 $\pm$ 47,83 <sup>b1</sup>	477,68 $\pm$ 36,58 <sup>b</sup>	735,80 $\pm$ 47,55 <sup>a</sup>	856,73 $\pm$ 41,57 <sup>a</sup>
T2	1102,90 $\pm$ 31,64 <sup>b</sup>	440,45 $\pm$ 27,77 <sup>b</sup>	678,33 $\pm$ 29,49 <sup>a</sup>	844,63 $\pm$ 38,75 <sup>a</sup>
T3	1307,33 $\pm$ 34,97 <sup>a</sup>	477,88 $\pm$ 26,75 <sup>b</sup>	713,53 $\pm$ 35,42 <sup>a</sup>	765,96 $\pm$ 39,74 <sup>a</sup>
T4	597,49 $\pm$ 34,90 <sup>c</sup>	608,55 $\pm$ 35,26 <sup>a</sup>	794,80 $\pm$ 48,16 <sup>a</sup>	855,29 $\pm$ 50,68 <sup>a</sup>
T5	426,80 $\pm$ 35,26 <sup>d</sup>	475,39 $\pm$ 30,44 <sup>b</sup>	815,43 $\pm$ 39,77 <sup>a</sup>	855,75 $\pm$ 35,34 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	**	ns	ns

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En la segunda campaña, con la iniciación de los controles a los 19 días DDT, las hojas  $\alpha$  (**Tabla IV.38**) y  $\beta$  (**Tabla IV.40**), durante todas las observaciones del seguimiento, aparecieron con mayor tamaño en el tratamiento T2, acompañándolas en casi estas dimensiones las del tratamiento T1 en la hoja  $\alpha$ , apareciendo en casi todos los registros diferencias significativas a nivel estadístico. Emulando esta uniformidad de conducta, solo que con respecto al menor tamaño adquirido, igualmente por las dos hojas  $\alpha$  y  $\beta$ , en este período, fue el tratamiento T4, donde se reunieron los ejemplares de menores dimensiones (**Tablas IV.38 y 40**).

**Tabla IV.38.** Superficie foliar de órganos adultos durante el segundo ciclo de cultivo: Hoja  $\alpha$  hasta 70 DDT.

	DDT			
	19	33	55	70
T1	97,754 $\pm$ 8,82 <sup>b1</sup>	335,08 $\pm$ 18,03 <sup>b</sup>	521,06 $\pm$ 22,41 <sup>b</sup>	631,47 $\pm$ 16,53 <sup>b</sup>
T2	150,81 $\pm$ 10,98 <sup>a</sup>	396,35 $\pm$ 18,42 <sup>a</sup>	605,95 $\pm$ 25,52 <sup>a</sup>	702,40 $\pm$ 30,88 <sup>a</sup>
T3	102,89 $\pm$ 3,65 <sup>b</sup>	290,42 $\pm$ 11,34 <sup>c</sup>	467,51 $\pm$ 13,14 <sup>b<sup>c</sup></sup>	554,87 $\pm$ 15,31 <sup>c</sup>
T4	98,585 $\pm$ 3,97 <sup>b</sup>	183,04 $\pm$ 14,20 <sup>d</sup>	305,68 $\pm$ 21,07 <sup>d</sup>	377,50 $\pm$ 26,08 <sup>d</sup>
T5	99,582 $\pm$ 3,55 <sup>b</sup>	255,89 $\pm$ 12,84 <sup>c</sup>	444,99 $\pm$ 19,00 <sup>c</sup>	562,24 $\pm$ 14,22 <sup>c</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

El cambio de la hoja hasta la finalización del ciclo de cultivo en esta segunda campaña se produjo a los 96 DDT, realizándose solo tres controles a diferencia de los cinco que se llevaron a cabo en la primera parte del ciclo. Y dentro de este menor número de medidas, para las dos hojas  $\alpha$  y  $\beta$ , se dieron los tamaños más grandes en las del tratamiento T5, denotando también buenos tamaños en las del T1 (Tablas IV.39 y IV.41), surgiendo menores diferencias estadísticas.

**Tabla IV.39.** Superficie foliar de órganos adultos durante el segundo ciclo de cultivo: cambio de Hoja  $\alpha$  (82 DDT) hasta 139 DDT.

	DDT			
	82	96	118	139
T1	705,09 $\pm$ 18,11 <sup>ab1</sup>	55,90 $\pm$ 5,76 <sup>c</sup>	1064,91 $\pm$ 65,95 <sup>ab</sup>	1191,48 $\pm$ 71,71 <sup>a</sup>
T2	764,75 $\pm$ 31,46 <sup>a</sup>	77,33 $\pm$ 4,85 <sup>bc</sup>	914,72 $\pm$ 33,36 <sup>bc</sup>	997,20 $\pm$ 30,48 <sup>bc</sup>
T3	616,04 $\pm$ 14,73 <sup>c</sup>	69,21 $\pm$ 8,18 <sup>c</sup>	881,39 $\pm$ 46,49 <sup>c</sup>	882,50 $\pm$ 40,46 <sup>c</sup>
T4	487,68 $\pm$ 24,54 <sup>d</sup>	99,94 $\pm$ 9,94 <sup>ab</sup>	980,42 $\pm$ 69,22 <sup>abc</sup>	1082,25 $\pm$ 69,58 <sup>ab</sup>
T5	645,53 $\pm$ 16,23 <sup>bc</sup>	111,99 $\pm$ 13,75 <sup>a</sup>	1087,74 $\pm$ 53,46 <sup>a</sup>	1194,11 $\pm$ 46,24 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	*	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

**Tabla IV.40.** Superficie foliar de órganos adultos durante el segundo ciclo de cultivo: Hoja  $\beta$  hasta 70 DDT.

	DDT			
	19	33	55	70
T1	102,74 $\pm$ 4,16 <sup>b</sup>	303,67 $\pm$ 13,12 <sup>b</sup>	510,68 $\pm$ 19,11 <sup>ab</sup>	619,75 $\pm$ 16,25 <sup>ab</sup>
T2	127,07 $\pm$ 8,32 <sup>a</sup>	393,83 $\pm$ 15,25 <sup>a</sup>	554,53 $\pm$ 17,39 <sup>a</sup>	656,61 $\pm$ 19,73 <sup>a</sup>
T3	103,25 $\pm$ 5,35 <sup>b</sup>	309,43 $\pm$ 10,93 <sup>b</sup>	491,10 $\pm$ 21,77 <sup>b</sup>	559,93 $\pm$ 27,67 <sup>bc</sup>
T4	99,135 $\pm$ 3,68 <sup>b</sup>	197,35 $\pm$ 11,93 <sup>d</sup>	289,58 $\pm$ 17,49 <sup>d</sup>	412,96 $\pm$ 27,67 <sup>d</sup>
T5	101,40 $\pm$ 3,14 <sup>b</sup>	267,91 $\pm$ 9,78 <sup>c</sup>	430,08 $\pm$ 16,41 <sup>c</sup>	533,62 $\pm$ 14,94 <sup>c</sup>
P- valor <sup>2</sup>	*	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Y ya, para las hojas de área más reducida, se vio una gran irregularidad entre las de todos los tratamientos, situándose indistintamente y no mostrando una tendencia definida en ninguno de ellos, de aquí que las diferencias significativas emerjan por doquier (**Tablas IV.39 y IV.41**).

Hay que considerar que en ambas hojas,  $\alpha$  y  $\beta$ , las mayores y menores elegidas inicialmente fueron las de T2 y T4, respectivamente, por lo que se puede pensar que se produjeron simplemente desarrollos proporcionales de los tamaños iniciales.

Y en las hojas cambiadas de la segunda campaña, ocurrió lo mismo que en la primera, que al no guardar el orden de superficie en que se acabó en el primer período, no pudo estudiarse la continuidad. Mostrándose en la evolución de las hojas cambiadas un incremento progresivo, casi, general en todos los tratamientos (**Tablas IV.39 y IV.41**).

**Tabla IV.41.** Superficie foliar de órganos adultos durante el segundo ciclo de cultivo: cambio de Hoja  $\beta$  (96 DDT) hasta 139 DDT.

	DDT			
	82	96	118	139
T1	675,28 $\pm$ 15,26 <sup>a1</sup>	78,27 $\pm$ 7,27 <sup>b</sup>	994,42 $\pm$ 57,69 <sup>a</sup>	1130,94 $\pm$ 54,06 <sup>a</sup>
T2	724,81 $\pm$ 20,50 <sup>a</sup>	79,63 $\pm$ 8,05 <sup>b</sup>	730,48 $\pm$ 44,64 <sup>b</sup>	794,20 $\pm$ 44,27 <sup>b</sup>
T3	612,71 $\pm$ 29,16 <sup>b</sup>	100,54 $\pm$ 11,29 <sup>ab</sup>	986,55 $\pm$ 67,97 <sup>a</sup>	1125,00 $\pm$ 47,25 <sup>a</sup>
T4	508,59 $\pm$ 24,09 <sup>c</sup>	116,48 $\pm$ 13,61 <sup>a</sup>	909,52 $\pm$ 64,74 <sup>a</sup>	1180,25 $\pm$ 52,51 <sup>a</sup>
T5	611,29 $\pm$ 17,15 <sup>b</sup>	118,91 $\pm$ 12,00 <sup>a</sup>	1047,44 $\pm$ 53,34 <sup>a</sup>	1121,25 $\pm$ 56,56 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	**	**	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

### IV.3.5. Clorofilas

Los niveles de clorofila determinados en los controles periódicos realizados en el haz y en el envés en hojas adultas seleccionadas aleatoriamente en las plantas de los distintos tratamientos en la primera campaña, indican, en general, que el número de spads registrado en todas ellas y casos (**Tablas IV.42-IV.45**), se encuentran en niveles normales y adecuados (Peltonen *et al.*, 1995; Finnan *et al.*, 1997), tanto los encontrados en el haz (**Tablas IV.42 y IV.43**) como en el envés (**Tablas IV.44 y IV.45**).

Y que no existió una distribución demasiado uniforme y preponderante en ningún tratamiento con relación a los contenidos máximos de clorofila a+b, aunque en los valores de los tratamientos T2 y T5, se distinguiera cierta tendencia, lo que supone que aparezcan diversas diferencias significativas. Hecho que se prolongó en cuanto a los contenidos inferiores observados, y que si bien en el tratamiento T4 hubo cierta presencia de ellos, volvió a darse una contingencia estadística similar, fruto de esa dispersión de resultados.

**Tabla IV.42.** Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Haz, hasta 72 DDT (1ª campaña).

	DDT		
	36	50	72
T1	44,71 ± 0,67 <sup>bcl</sup>	44,82 ± 0,57 <sup>b</sup>	49,70 ± 1,24 <sup>b</sup>
T2	45,68 ± 0,59 <sup>ab</sup>	48,15 ± 0,63 <sup>a</sup>	52,19 ± 0,71 <sup>a</sup>
T3	47,68 ± 0,77 <sup>a</sup>	48,62 ± 0,79 <sup>a</sup>	52,44 ± 1,24 <sup>a</sup>
T4	44,11 ± 1,25 <sup>bc</sup>	41,13 ± 0,64 <sup>c</sup>	46,03 ± 0,58 <sup>b</sup>
T5	42,02 ± 1,42 <sup>c</sup>	44,38 ± 0,77 <sup>b</sup>	48,83 ± 0,86 <sup>b</sup>
P- valor <sup>2</sup>	**	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Además se aprecia una gran ponderación entre los contenidos del haz y del envés, lo que podría ser un reflejo de una adecuada alimentación nitrogenada de la planta (Reeves *et al.*, 1993; Fox *et al.*, 1994) que no conllevaría efectos de debilitamiento de la planta, especialmente a lo que se refiere a la estructura de sostén.

**Tabla IV.43.** Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Haz, hasta 152 DDT (1ª campaña).

	DDT		
	84	127	152
T1	53,69 ± 0,76 <sup>a1</sup>	55,02 ± 0,87 <sup>ab</sup>	55,37 ± 1,10 <sup>ab</sup>
T2	53,08 ± 0,92 <sup>a</sup>	52,80 ± 0,91 <sup>bc</sup>	53,23 ± 1,21 <sup>b</sup>
T3	51,39 ± 1,31 <sup>a</sup>	50,39 ± 0,78 <sup>d</sup>	48,97 ± 0,83 <sup>c</sup>
T4	48,37 ± 2,53 <sup>a</sup>	52,20 ± 0,79 <sup>cd</sup>	55,55 ± 1,23 <sup>ab</sup>
T5	50,58 ± 1,11 <sup>a</sup>	57,06 ± 0,72 <sup>a</sup>	58,21 ± 0,87 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	ns	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

**Tabla IV.44.** Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Envés, hasta 72 DDT (1ª campaña).

	DDT		
	36	50	72
T1	44,27 ± 0,67 <sup>a1</sup>	45,26 ± 0,58 <sup>b</sup>	50,41 ± 1,15 <sup>ab</sup>
T2	46,35 ± 0,69 <sup>a</sup>	47,81 ± 0,86 <sup>a</sup>	52,25 ± 0,74 <sup>a</sup>
T3	45,35 ± 2,21 <sup>a</sup>	49,17 ± 0,72 <sup>a</sup>	51,12 ± 1,17 <sup>ab</sup>
T4	44,29 ± 1,21 <sup>a</sup>	41,66 ± 0,75 <sup>c</sup>	45,45 ± 0,64 <sup>c</sup>
T5	42,37 ± 1,28 <sup>a</sup>	44,28 ± 0,68 <sup>b</sup>	48,56 ± 0,77 <sup>b</sup>
P- valor <sup>2</sup>	ns	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

**Tabla IV.45.** Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Envés, hasta 152 DDT (1ª campaña).

	DDT		
	84	127	152
T1	53,69 ± 0,92 <sup>a1</sup>	55,48 ± 0,87 <sup>ab</sup>	55,37 ± 1,10 <sup>ab</sup>
T2	53,23 ± 1,16 <sup>ab</sup>	52,80 ± 0,91 <sup>bc</sup>	53,23 ± 1,21 <sup>b</sup>
T3	50,20 ± 1,06 <sup>b</sup>	50,39 ± 0,78 <sup>d</sup>	48,97 ± 0,83 <sup>c</sup>
T4	50,39 ± 1,16 <sup>b</sup>	52,20 ± 0,79 <sup>cd</sup>	55,55 ± 1,23 <sup>ab</sup>
T5	50,38 ± 1,09 <sup>b</sup>	57,06 ± 0,72 <sup>a</sup>	58,21 ± 0,87 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	*	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En la segunda campaña (**Tablas IV.46 y IV.47**), aunque aparecieron de inicio niveles inferiores a los anotados en la primera campaña, hay que tener en cuenta que los controles se iniciaron a los 19 DDT, en vez de a los 36 en los que se comenzó en la primera; ello manifiesta que al ser más precaria y con menor desarrollo la estructura fisiológica de la hoja, no tienen la capacidad de síntesis y de actividad fotosintética de las otras hojas, más maduras y con un perfil histológico más completo (Berninger, 1989).

**Tabla IV.46.** Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Haz, hasta 70 DDT (2ª campaña).

	DDT			
	19	33	55	70
T1	36,24 ± 1,11 <sup>a1</sup>	47,84 ± 0,91 <sup>b</sup>	56,01 ± 1,00 <sup>b</sup>	56,50 ± 1,36 <sup>a</sup>
T2	39,31 ± 1,77 <sup>a</sup>	54,37 ± 1,26 <sup>a</sup>	59,07 ± 1,09 <sup>a</sup>	58,02 ± 1,23 <sup>a</sup>
T3	36,64 ± 0,90 <sup>a</sup>	53,49 ± 0,90 <sup>a</sup>	58,08 ± 1,06 <sup>ab</sup>	58,87 ± 1,12 <sup>a</sup>
T4	32,80 ± 1,15 <sup>b</sup>	48,46 ± 1,46 <sup>b</sup>	56,74 ± 1,03 <sup>ab</sup>	55,12 ± 1,17 <sup>a</sup>
T5	35,42 ± 1,18 <sup>ab</sup>	48,84 ± 1,12 <sup>b</sup>	57,94 ± 0,68 <sup>ab</sup>	58,88 ± 0,98 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	*	***	*	ns

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

**Tabla IV.47.** Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Haz, hasta 139 DDT (2ª campaña).

	DDT			
	82	96	118	139
T1	53,16 ± 0,92 <sup>b1</sup>	56,20 ± 0,92 <sup>b</sup>	47,52 ± 1,58 <sup>b</sup>	52,72 ± 1,14 <sup>bc</sup>
T2	59,57 ± 1,02 <sup>a</sup>	61,42 ± 1,14 <sup>a</sup>	54,22 ± 1,50 <sup>a</sup>	58,56 ± 0,96 <sup>a</sup>
T3	54,86 ± 1,58 <sup>b</sup>	54,20 ± 1,21 <sup>b</sup>	46,83 ± 1,03 <sup>b</sup>	50,55 ± 1,79 <sup>c</sup>
T4	53,36 ± 1,22 <sup>b</sup>	56,29 ± 0,71 <sup>b</sup>	46,74 ± 1,16 <sup>b</sup>	50,69 ± 1,37 <sup>bc</sup>
T5	56,51 ± 1,19 <sup>ab</sup>	56,90 ± 1,09 <sup>b</sup>	52,34 ± 1,70 <sup>a</sup>	54,25 ± 0,98 <sup>b</sup>
P- valor <sup>2</sup>	**	***	***	*

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Pero ello no es óbice para que en estos primeros controles se principie a ver un agrupamiento general de valores en torno a los gradientes adecuados de número de spads a lo largo del cultivo (**Tablas IV.46-IV.49**).

En esta campaña si se vio un lugar más preponderante de estos contenidos máximos en el haz de las hojas del tratamiento T2, siendo este mayor en varios de los controles periódicos realizados (**Tablas IV.46 y IV.47**). Actitud que se continuó en el caso del envés, aunque no con tanta frecuencia (**Tablas IV.48 y IV.49**).

Pero igualmente arrojando en todos los casos niveles muy aproximados en las hojas de todos los filmes de cubierta, y, a su vez, tanto en situación del haz como del envés.

Centrándose en el tratamiento T1, la mayor presencia de número de controles en cuyas hojas aparecieron los menores gradientes de clorofila a+b, se dio tanto en el haz como en el envés de las mismas (**Tablas IV.46- IV.49**).

**Tabla IV.48.** Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Envés, hasta 70 DDT (2ª campaña).

	DDT			
	19	33	55	70
T1	35,04 ± 1,01 <sup>ab1</sup>	46,79 ± 0,84 <sup>b</sup>	54,23 ± 1,32 <sup>b</sup>	55,68 ± 1,16 <sup>b</sup>
T2	37,86 ± 1,80 <sup>a</sup>	52,57 ± 1,34 <sup>a</sup>	59,01 ± 1,12 <sup>a</sup>	58,35 ± 1,16 <sup>ab</sup>
T3	36,09 ± 0,97 <sup>a</sup>	53,30 ± 0,75 <sup>a</sup>	57,48 ± 0,96 <sup>a</sup>	59,50 ± 1,11 <sup>a</sup>
T4	32,41 ± 1,15 <sup>b</sup>	47,14 ± 1,34 <sup>b</sup>	57,23 ± 0,93 <sup>a</sup>	57,09 ± 1,14 <sup>ab</sup>
T5	34,18 ± 0,87 <sup>ab</sup>	47,96 ± 1,10 <sup>b</sup>	57,41 ± 0,53 <sup>a</sup>	57,46 ± 1,33 <sup>ab</sup>
P- valor <sup>2</sup>	*	***	*	**

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Lo que sigue aunando el criterio de que los niveles de alimentación nitrogenada puestos a disposición de la planta, fueron equilibrados y suficientes para no interferir en el buen desarrollo de la planta, ni correr riesgos de provocar fisiopatías accidentales derivadas de un exceso o ausencia de este elemento nutritivo (Reeves *et al.*, 1993; Fox *et al.*, 1994; Peltonen *et al.*, 1995).

Al llegar a estas conclusiones, es difícil pensar que las diferencias de contenidos de clorofila a+b en haz y en envés de las hojas de los distintos tratamientos de cubierta puedan tener una influencia capital en la presencia en frutos de los contenidos buscados (Nagata y Yamashita, 1992).

**Tabla IV.49.** Contenido en clorofila a+b en hojas adultas: Envés, hasta 139 DDT (2ª campaña).

	DDT			
	82	96	118	139
T1	53,70 ± 0,89 <sup>cd</sup>	51,82 ± 2,66 <sup>c</sup>	48,17 ± 1,40 <sup>bc</sup>	49,67 ± 1,20 <sup>a</sup>
T2	60,26 ± 0,94 <sup>a</sup>	60,65 ± 1,08 <sup>a</sup>	52,65 ± 1,23 <sup>a</sup>	54,09 ± 1,74 <sup>a</sup>
T3	57,09 ± 1,34 <sup>b</sup>	53,77 ± 1,12 <sup>bc</sup>	45,93 ± 1,23 <sup>c</sup>	49,61 ± 1,73 <sup>a</sup>
T4	51,86 ± 1,25 <sup>d</sup>	55,03 ± 0,64 <sup>bc</sup>	47,80 ± 1,49 <sup>bc</sup>	49,46 ± 1,16 <sup>a</sup>
T5	56,14 ± 1,13 <sup>bc</sup>	57,58 ± 1,04 <sup>ab</sup>	51,02 ± 1,55 <sup>ab</sup>	52,26 ± 1,00 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	**	ns

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

#### IV.4. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE LOS FRUTOS RECOLECTADOS

Se analizan a continuación algunos factores de la producción que orientan y certifican la viabilidad de los cultivos realizados, y en los que se aprecia que en todos los tratamientos de cubierta, comerciales y experimentales, se han obtenido resultados que pueden calificarse como adecuados y dentro de una conducta habitual para la especie y modalidad de cultivo ejercitada (Peralta y Spooner, 2007).

Lo que da lugar a que los estudios posteriores realizados para la determinación de ciertos contenidos en los frutos (Dumas *et al.*, 2003), partiendo de este material vegetal, puedan ser considerados como procedentes de plantaciones normales a nivel de agricultor (Davies y Hobson, 1981).

Y eso que la zona donde se han realizado los experimentos agronómicos, aunque presenta, en general, una integral térmica adecuada para el cultivo de solanáceas bajo cultivo protegido (Contreras *et al.*, 2006), no es la óptima y queda un poco baja para tomate (De León, 2009), de aquí que los rendimientos obtenidos no sean muy elevados, pero sí quedando dentro de los rangos posibles para el cultivo de esta especie (Pérez *et al.*, 2002; Escaff *et al.*, 2005).

##### IV.4.1. Duración del período de formación de frutos

Como ya quedó mencionado, se etiquetaron 3 frutos/planta, en 10 plantas/tratamiento, para analizar más específicamente algunos aspectos que

podieran aportar información sobre su conducta, y por prolongación, establecer aspectos diferenciales entre los diversos tratamientos de cubierta (De León, 2009). De tal manera que, frutos de pequeño tamaño, pero ya consolidados, se etiquetaron y se recolectaron cuando alcanzaron su tamaño comercial y momento de recolección (Heuvelink y Dorais, 2005), con la coloración adecuada (López *et al.*, 2008b; López-Marín *et al.*, 2010b), computándose tras ello el período de tiempo invertido para llegar a ese estado, además de analizar otros aspectos físicos, como su peso y calibre.

En cada una de las recolecciones llevadas a cabo, en este caso, se incluyeron todos los frutos aptos etiquetados que había en la planta, con independencia del racimo en el que se encontrasen. Practicándose 8 recolecciones en la primera campaña y 9 en la segunda, y manteniéndose el intervalo de tiempo entre ellas que aconsejaba la práctica agronómica según la estación del año (Castilla, 1995; Nuez, 1995). Por lo tanto los datos que se estudian responden a la conducta de la fructificación por planta, en cada tratamiento.

En la primera campaña, este período de tiempo transcurrió para el conjunto de todos los frutos entre algo menos de dos meses, para los de mayor brevedad, y un poco más, para los que más se dilataron (**Tablas IV.50 y IV.51**). Encontrándose estos lapsos de tiempo dentro del rango temporal necesario para la formación de los frutos de esta especie en esta modalidad de cultivo (Adams *et al.*, 2001; Bertin *et al.*, 2001).

En cuanto a la repercusión del empleo de cada uno de los materiales plásticos de cubierta en esta variable productiva (Baille, 1999; Gálvez *et al.*, 2009), decir que se podrían establecer como dos períodos diferenciales durante las ocho recolecciones practicadas. Uno primero, hasta la cuarta recolección inclusive, en el que no hubo una predominancia de ninguno de los tratamientos considerados, ni en acortamiento ni en prolongación excesiva de este período de formación del fruto, según las peculiaridades del cultivo (Dorais *et al.*, 2001; González *et al.*, 2004), y otro segundo, en el que se observa cierta dominancia de alguno de ellos.

**Tabla IV.50.** Número de días necesarios para formar el fruto: 1ª Campaña (1ª a 4ª recolección).

	Recolecciones			
	1ª	2ª	3ª	4ª
T1	69,50 ± 0,56 <sup>b1</sup>	57,00 ± 2,00 <sup>b</sup>	61,38 ± 0,85 <sup>b</sup>	71,13 ± 1,57 <sup>b</sup>
T2	69,47 ± 1,69 <sup>b</sup>	59,75 ± 2,29 <sup>b</sup>	61,22 ± 0,98 <sup>b</sup>	80,00 ± 1,25 <sup>a</sup>
T3	73,47 ± 1,05 <sup>a</sup>	61,17 ± 0,65 <sup>b</sup>	62,86 ± 0,94 <sup>b</sup>	-
T4	-	71,71 ± 2,77 <sup>a</sup>	65,70 ± 1,99 <sup>b</sup>	70,62 ± 0,33 <sup>b</sup>
T5	72,60 ± 0,76 <sup>ab</sup>	67,75 ± 3,73 <sup>ab</sup>	73,43 ± 5,64 <sup>a</sup>	70,17 ± 0,46 <sup>b</sup>
P- valor <sup>2</sup>	*	*	**	**

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En el segundo, desde la quinta recolección hasta la finalización de ellas, se observa que en el tratamiento T1, este plazo de tiempo fue superior al requerido en el resto de tratamientos, mientras que el encontrado con el tratamiento T4 fue el más reducido (**Tablas IV.50 y IV.51**), mostrándose en ambos casos diferencias significativas a nivel estadístico. Parece que ante las condiciones ambientales no muy favorables las diferentes cubiertas no trasladan disparidades de comportamiento de las plantas (Verlodt y Verchaeren, 2000; López-Marín *et al.*, 2009a), mientras que sí lo manifiestan cuando son más óptimas, pudiendo ello estar relacionado con las dimensiones de los recintos de cultivo y el colchón térmico que engloban (Matallana y Montero, 1995).

La ausencia de frutos cosechados en la primera recolección en el tratamiento T4 (**Tabla IV.50**), y en la última, de T1, claramente, y de T2, relativamente (**Tabla IV.51**), quedan justificadas ya que en T4 el período de formación fue más lento en iniciarlo, puesto que la Larga Duración no faculta la termicidad (Papadakis *et al.*, 2000; López *et al.*, 2005d) y por tanto no se podrían recolectar los frutos, y en los casos de T1 y T2, por su brevedad, porque habían sido cosechados en recolecciones anteriores.

**Tabla IV.51.** Número de días necesarios para formar el fruto: 1ª Campaña (5ª a 8ª recolección).

	Recolecciones			
	5ª	6ª	7ª	8ª
T1	62,47 ± 1,20 <sup>b1</sup>	54,39 ± 1,31 <sup>d</sup>	50,22 ± 1,34 <sup>b</sup>	-
T2	65,09 ± 1,22 <sup>ab</sup>	58,67 ± 1,00 <sup>bc</sup>	61,71 ± 1,66 <sup>a</sup>	-
T3	67,12 ± 1,39 <sup>a</sup>	57,86 ± 0,42 <sup>c</sup>	59,85 ± 1,04 <sup>a</sup>	59,00 ± 0,00 <sup>a</sup>
T4	68,63 ± 1,15 <sup>a</sup>	61,87 ± 1,15 <sup>a</sup>	61,75 ± 1,33 <sup>a</sup>	67,87 ± 3,77 <sup>a</sup>
T5	65,50 ± 1,57 <sup>ab</sup>	61,20 ± 1,19 <sup>ab</sup>	58,71 ± 1,20 <sup>a</sup>	61,36 ± 1,52 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	*	***	***	ns

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En la segunda campaña, donde el estudio se llevo a cabo en 9 recolecciones, aparece la primera coincidencia con la primera campaña, en la recolección inicial, y la constituyó la ausencia de frutos recolectables en el tratamiento T4, lo que vuelve a confirmar, entre otras características (Caldwell *et al.*, 2007), las menores prestaciones térmicas y ambientales, en general, de este material de cubierta (Tablas IV.52 y IV.53).

**Tabla IV.52.** Número de días necesarios para formar el fruto: 2ª Campaña (1ª a 4ª recolección).

	Recolecciones			
	1ª	2ª	3ª	4ª
T1	82,13 ± 3,07 <sup>b1</sup>	-	76,29 ± 1,31 <sup>ab</sup>	71,48 ± 1,70 <sup>a</sup>
T2	91,09 ± 0,81 <sup>a</sup>	82,67 ± 2,30 <sup>b</sup>	79,20 ± 0,81 <sup>a</sup>	70,57 ± 1,19 <sup>a</sup>
T3	89,57 ± 1,27 <sup>a</sup>	79,22 ± 1,52 <sup>b</sup>	74,72 ± 0,74 <sup>b</sup>	66,88 ± 1,04 <sup>b</sup>
T4		92,17 ± 1,60 <sup>a</sup>	77,89 ± 2,48 <sup>a</sup>	73,50 ± 1,11 <sup>a</sup>
T5	86,20 ± 1,50 <sup>ab</sup>	95,00 ± 3,21 <sup>a</sup>	76,43 ± 0,92 <sup>ab</sup>	74,67 ± 1,52 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	**	***	**	**

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En cuanto al resto de particularidades observadas de la duración del período de formación del fruto, no apareció con claridad ninguna diferencia que haga

preponderante a un tratamiento u otro. Ya que, en relación a aquellos en que se invirtió un mayor número de días, solo en T2, y esto de forma irregular, fue donde apareció en mayor número de recolecciones (**Tablas IV.52 y IV.53**).

**Tabla IV.53.** Número de días necesarios para formar el fruto: 2ª Campaña (5ª a 9ª recolección).

	Recolecciones				
	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª
T1	62,86 ± 1,80 <sup>bc1</sup>	61,67 ± 1,14 <sup>a</sup>	63,00 ± 1,26 <sup>a</sup>	-	-
T2	63,30 ± 1,45 <sup>bc</sup>	64,56 ± 1,48 <sup>a</sup>	62,40 ± 2,40 <sup>a</sup>	67,67 ± 6,96 <sup>a</sup>	75,00 ± 2,00 <sup>a</sup>
T3	60,12 ± 0,69 <sup>c</sup>	62,00 ± 0,68 <sup>a</sup>	55,00 ± 0,67 <sup>b</sup>	-	64,00 ± 2,08 <sup>b</sup>
T4	79,73 ± 7,56 <sup>a</sup>	63,50 ± 5,28 <sup>a</sup>	48,56 ± 3,39 <sup>c</sup>	44,00 ± 0,00 <sup>a</sup>	46,80 ± 2,13 <sup>c</sup>
T5	68,00 ± 1,11 <sup>c</sup>	70,00 ± 1,00 <sup>a</sup>	-	-	49,50 ± 2,50 <sup>c</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	ns	***	ns	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

#### IV.4.2. Valoración de las cualidades físicas

Con el control del peso y del tamaño de los frutos recolectados se ha podido obtener información sobre su calidad comercial, al igual como se ha realizado en otros tipos de cultivo (Ciruelos *et al.*, 2007).

##### IV.4.2.1. En relación al conjunto de la planta

###### IV.4.2.1.1. Peso medio de frutos etiquetados

En la primera campaña, en cuanto al peso (**Tablas IV.54 y IV.55**), se aprecia que no hubo ningún tratamiento en que se evidencien diferencias de comportamiento, no manifestándose influencia clara de alguno de ellos, apareciendo sin embargo, diferencias significativas a nivel estadístico de forma muy alternativa.

Se apreció una tendencia general a incrementarse el peso medio de los frutos a partir de la tercera recolección, con formación de frutos de calibre GG, que se tornó en decreciente a partir de la séptima, conducta que está comprendida en el comportamiento productivo de la especie (**Tablas IV.54 y IV.55**).

**Tabla IV.54.** *Peso medio de frutos etiquetados (g): 1ª Campaña (1ª a 4ª recolección).*

	Recolecciones			
	1ª	2ª	3ª	4ª
T1	101,98 ± 4,77 <sup>b1</sup>	103,10 ± 2,50 <sup>b</sup>	187,18 ± 9,51 <sup>b</sup>	156,80 ± 7,22 <sup>b</sup>
T2	121,53 ± 6,26 <sup>a</sup>	159,65 ± 6,19 <sup>a</sup>	195,69 ± 5,72 <sup>b</sup>	154,10 ± 5,00 <sup>ab</sup>
T3	116,25 ± 3,98 <sup>a</sup>	155,90 ± 6,54 <sup>a</sup>	218,22 ± 6,54 <sup>a</sup>	-
T4	-	112,28 ± 4,88 <sup>b</sup>	186,02 ± 9,45 <sup>b</sup>	202,51 ± 7,33 <sup>a</sup>
T5	96,35 ± 3,44 <sup>b</sup>	107,82 ± 5,88 <sup>b</sup>	180,40 ± 8,07 <sup>b</sup>	181,68 ± 7,73 <sup>b</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	**	**

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

De ello se deduce que no se observó una repercusión nítida de la duración de su período de formación ante la consecución de los pesos obtenidos en las distintas recolecciones practicadas durante este período de estudio, siendo atribuibles a las características de la infraestructura de cultivo (Reche, 2010), más que a los tratamientos de cubierta propuestos, pudiendo estar motivada la ausencia de pesos importantes en los primeros frutos por factores ambientales (Verlodt y Verchaeren, 2000), entre los cuales la temperatura con bajos niveles dificulta el desarrollo de las semillas lo que conlleva una reducción de la placenta y por ende del tamaño definitivo del fruto (López-Andreu *et al.*, 1986; Castilla, 2004).

**Tabla IV.55.** *Peso medio de frutos etiquetados (g): 1ª Campaña (5ª a 8ª recolección).*

	Recolecciones			
	5ª	6ª	7ª	8ª
T1	180,53 ± 5,40 <sup>b1</sup>	139,47 ± 5,58 <sup>c</sup>	139,43 ± 13,30 <sup>b</sup>	-
T2	155,51 ± 3,12 <sup>c</sup>	143,27 ± 9,41 <sup>c</sup>	105,31 ± 5,89 <sup>c</sup>	-
T3	205,04 ± 4,58 <sup>a</sup>	202,66 ± 8,78 <sup>a</sup>	134,55 ± 6,61 <sup>b</sup>	119,75 ± 14,65
T4	207,31 ± 9,11 <sup>a</sup>	201,28 ± 5,43 <sup>a</sup>	162,66 ± 6,95 <sup>a</sup>	148,67 ± 5,52
T5	207,39 ± 8,07 <sup>a</sup>	180,67 ± 5,73 <sup>b</sup>	137,65 ± 5,42 <sup>b</sup>	165,19 ± 7,60
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	*

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En la segunda campaña, a partir de la tercera recolección los mayores pesos medios de los frutos recolectados se concentran en los tratamientos T5 y T4, por ese orden, así como, los menos importantes, se localizan en T2 (**Tablas IV.56 y IV.57**).

**Tabla IV.56.** *Peso medio de frutos etiquetados (g): 2ª Campaña (1ª a 4ª recolección).*

	Recolectaciones			
	1ª	2ª	3ª	4ª
T1	63,96 ± 4,54 <sup>a1</sup>	-	293,08 ± 29,27 <sup>b</sup>	195,35 ± 6,80 <sup>ac</sup>
T2	22,00 ± 2,15 <sup>b</sup>	49,24 ± 5,00 <sup>b</sup>	183,67 ± 8,47 <sup>c</sup>	147,67 ± 4,71 <sup>d</sup>
T3	32,64 ± 4,43 <sup>b</sup>	220,40 ± 12,76 <sup>a</sup>	163,59 ± 7,43 <sup>c</sup>	186,25 ± 4,09 <sup>bc</sup>
T4	-	24,75 ± 4,00 <sup>c</sup>	176,01 ± 7,07 <sup>c</sup>	171,16 ± 8,69 <sup>c</sup>
T5	57,28 ± 7,18 <sup>a</sup>	13,63 ± 2,22 <sup>c</sup>	389,83 ± 17,70 <sup>a</sup>	215,89 ± 8,37 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Los pesos medios máximos de estos frutos, al igual como en la primera campaña, se encuentran en las recolecciones centrales del período de estudio, entre la tercera y la sexta (Gautier *et al.*, 2005a), ambas inclusive, en las que los frutos de calibre GG se contabilizan en mayor número (**Tablas IV.56 y IV.57**).

**Tabla IV.57.** *Peso medio de frutos etiquetados (g): 2ª Campaña (5ª a 9ª recolección).*

	Recolectaciones				
	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª
T1	134,27 ± 7,32 <sup>b1</sup>	116,32 ± 5,10 <sup>c</sup>	135,43 ± 8,58 <sup>a</sup>	-	
T2	106,66 ± 9,21 <sup>c</sup>	103,76 ± 6,28 <sup>c</sup>	83,08 ± 4,89 <sup>b</sup>	98,93 ± 5,27 <sup>a</sup>	53,10 ± 1,90 <sup>b</sup>
T3	157,35 ± 4,10 <sup>b</sup>	137,48 ± 6,15 <sup>b</sup>	130,98 ± 7,71 <sup>a</sup>	-	121,57 ± 11,74 <sup>a</sup>
T4	204,81 ± 10,10 <sup>a</sup>	216,52 ± 11,75 <sup>a</sup>	146,89 ± 8,55 <sup>a</sup>	131,25 ± 7,85 <sup>b</sup>	152,38 ± 16,94 <sup>a</sup>
T5	220,49 ± 9,75 <sup>a</sup>	143,00 ± 4,50 <sup>bc</sup>	-	-	107,90 ± 1,20 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	*	*

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

#### IV.4.2.1.2. Altura (diámetro longitudinal) y anchura (diámetro ecuatorial) de frutos etiquetados

El tamaño del fruto está definido parcialmente por su altura o diámetro longitudinal, siendo parte de la forma de expresión del calibre (Adams *et al.*, 2001). En la primera campaña, en cuanto a esta variable, existen tratamientos ligeramente más o menos dominantes, viéndose varias fluctuaciones entre ellos, con respuestas normales, como la de T2 (Nuez, 1995), que si bien son más altos durante una breve fase de tiempo, luego se redujeron más que en el resto de tratamientos (**Tablas IV.58 y IV.59**).

**Tabla IV.58.** *Altura de frutos etiquetados (mm): 1ª Campaña (1ª a 4ª recolección).*

	Recolecciones			
	1 <sup>a</sup>	2 <sup>a</sup>	3 <sup>a</sup>	4 <sup>a</sup>
T1	49,52 ± 1,00 <sup>c1</sup>	52,85 ± 1,06 <sup>abc</sup>	56,19 ± 0,94 <sup>a</sup>	56,49 ± 1,30 <sup>b</sup>
T2	53,14 ± 1,01 <sup>a</sup>	56,63 ± 0,77 <sup>ab</sup>	58,58 ± 0,54 <sup>a</sup>	56,51 ± 0,27 <sup>ab</sup>
T3	52,71 ± 0,96 <sup>ab</sup>	57,65 ± 0,22 <sup>a</sup>	56,25 ± 2,18 <sup>a</sup>	-
T4	-	52,91 ± 1,48 <sup>bc</sup>	57,22 ± 1,04 <sup>a</sup>	61,59 ± 0,76 <sup>a</sup>
T5	50,50 ± 0,66 <sup>ac</sup>	52,94 ± 1,18 <sup>c</sup>	57,37 ± 0,70 <sup>a</sup>	60,51 ± 0,61 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	*	*	ns	**

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

**Tabla IV.59.** *Altura de frutos etiquetados (mm): 1ª Campaña (5ª a 8ª recolección).*

	Recolecciones			
	5 <sup>a</sup>	6 <sup>a</sup>	7 <sup>a</sup>	8 <sup>a</sup>
T1	58,44 ± 0,56 <sup>b1</sup>	54,74 ± 0,57 <sup>c</sup>	53,12 ± 0,89 <sup>bc</sup>	-
T2	57,95 ± 0,39 <sup>b</sup>	56,53 ± 1,03 <sup>c</sup>	50,45 ± 0,90 <sup>c</sup>	-
T3	61,07 ± 0,59 <sup>a</sup>	62,61 ± 0,62 <sup>a</sup>	53,80 ± 0,87 <sup>b</sup>	57,40 ± 3,52 <sup>a</sup>
T4	61,27 ± 0,83 <sup>a</sup>	62,22 ± 0,49 <sup>a</sup>	57,25 ± 1,03 <sup>a</sup>	56,77 ± 0,76 <sup>a</sup>
T5	62,73 ± 0,79 <sup>a</sup>	59,37 ± 0,50 <sup>b</sup>	55,29 ± 0,76 <sup>ab</sup>	57,88 ± 0,93 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	ns

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

En la segunda campaña, la altura del fruto vino un poco auspiciada por los datos de su peso (Bertin, 2001), por lo que en los correspondientes a los tratamientos T4 y T5, fue donde, en general, aún sin desfases drásticos, se ofrecieron las mayores dimensiones (Tablas IV.60 y IV.61).

**Tabla IV.60.** *Altura de frutos etiquetados (mm): 2ª Campaña (1ª a 4ª recolección).*

	Recolecciones			
	1ª	2ª	3ª	4ª
T1	40,98 ± 1,56 <sup>a1</sup>	-	65,67 ± 1,95 <sup>b</sup>	64,51 ± 1,98 <sup>a</sup>
T2	27,77 ± 1,10 <sup>b</sup>	41,83 ± 4,20 <sup>b</sup>	58,93 ± 0,69 <sup>c</sup>	58,28 ± 1,19 <sup>b</sup>
T3	28,90 ± 2,05 <sup>b</sup>	59,28 ± 1,07 <sup>a</sup>	58,63 ± 0,71 <sup>c</sup>	59,36 ± 1,29 <sup>b</sup>
T4	-	29,75 ± 1,83 <sup>c</sup>	61,03 ± 1,32 <sup>c</sup>	58,74 ± 0,57 <sup>b</sup>
T5	39,17 ± 2,13 <sup>a</sup>	24,26 ± 1,74 <sup>c</sup>	69,57 ± 1,15 <sup>a</sup>	60,65 ± 1,01 <sup>ab</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	*

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

**Tabla IV.61.** *Altura de frutos etiquetados (mm): 2ª Campaña (5ª a 9ª recolección).*

	Recolecciones				
	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª
T1	56,28 ± 2,13 <sup>b1</sup>	52,83 ± 1,45 <sup>b</sup>	54,60 ± 1,11 <sup>b</sup>	-	-
T2	55,86 ± 2,81 <sup>b</sup>	52,72 ± 2,13 <sup>b</sup>	46,44 ± 1,13 <sup>c</sup>	50,89 ± 0,80 <sup>a</sup>	40,13 ± 1,80 <sup>b</sup>
T3	61,18 ± 1,59 <sup>a</sup>	58,78 ± 1,53 <sup>a</sup>	58,62 ± 1,44 <sup>ab</sup>	-	56,28 ± 1,53 <sup>a</sup>
T4	61,32 ± 1,57 <sup>ab</sup>	61,80 ± 1,15 <sup>a</sup>	60,89 ± 2,13 <sup>a</sup>	55,92 ± 1,17 <sup>b</sup>	57,44 ± 1,54 <sup>a</sup>
T5	63,19 ± 0,96 <sup>a</sup>	54,25 ± 1,20 <sup>ab</sup>	-	-	54,81 ± 3,68 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	**	***	***	*	**

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Conducta que vuelve a repetirse en la primera campaña cuando se analizó la información de la anchura o diámetro ecuatorial (Tablas IV.62 y IV.63), y que se puede calificar como similar a la presentada en la altura. Y, en el general de los

casos, apareciendo múltiples diferencias significativas a nivel estadístico, pero que si se analizasen con los rangos establecidos con criterios comerciales (Ciruelos *et al.*, 2007), se vería que entran dentro de los mismos intervalos, y por tanto, habiendo de considerarlos lógicamente como semejantes (Castilla, 1995).

**Tabla IV.62.** Anchura de frutos etiquetados (mm): 1ª Campaña (1ª a 4ª recolección).

	Recolecciones			
	1ª	2ª	3ª	4ª
T1	58,91 ± 1,35 <sup>bc1</sup>	60,04 ± 1,09 <sup>b</sup>	75,49 ± 1,74 <sup>b</sup>	70,23 ± 1,15 <sup>a</sup>
T2	62,95 ± 1,37 <sup>a</sup>	70,75 ± 1,16 <sup>a</sup>	75,09 ± 0,99 <sup>b</sup>	69,86 ± 1,20 <sup>a</sup>
T3	62,06 ± 0,96 <sup>ab</sup>	69,19 ± 1,40 <sup>a</sup>	79,53 ± 1,12 <sup>a</sup>	-
T4	-	60,61 ± 1,27 <sup>b</sup>	74,33 ± 1,54 <sup>b</sup>	73,88 ± 1,51 <sup>a</sup>
T5	57,84 ± 1,04 <sup>c</sup>	60,21 ± 1,22 <sup>b</sup>	72,28 ± 1,40 <sup>b</sup>	71,97 ± 1,00 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	**		***	ns

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

**Tabla IV.63.** Anchura de frutos etiquetados (mm): 1ª Campaña (5ª a 8ª recolección).

	Diámetro ecuatorial frutos etiquetados (mm)			
	Recolecciones			
	5ª	6ª	7ª	8ª
T1	72,38 ± 1,05 <sup>b1</sup>	64,21 ± 0,98 <sup>c</sup>	64,88 ± 2,47 <sup>ab</sup>	-
T2	68,26 ± 0,63 <sup>c</sup>	66,53 ± 1,80 <sup>c</sup>	59,04 ± 1,20 <sup>c</sup>	-
T3	77,52 ± 1,55 <sup>a</sup>	75,35 ± 1,35 <sup>a</sup>	64,41 ± 1,13 <sup>b</sup>	62,84 ± 1,60 <sup>a</sup>
T4	75,53 ± 1,55 <sup>ab</sup>	75,33 ± 0,88 <sup>a</sup>	68,70 ± 1,00 <sup>a</sup>	67,78 ± 1,05 <sup>a</sup>
T5	75,21 ± 1,00 <sup>ab</sup>	70,52 ± 0,91 <sup>b</sup>	64,62 ± 0,92 <sup>b</sup>	69,46 ± 1,30 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	ns

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan ( $p < 0,05$ ).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$  y ns, no significativo.

Al estudiar los valores de la segunda campaña, se apreció una tendencia derivada de la información ya aportada y paralela a la obtenida en la altura de sus

frutos que corroboraron a los tratamientos T4 y T5, como los que aportan la anchura más importante (Tablas IV.64 y IV.65). Lo cual quedó confirmado en el análisis estadístico realizado, en el que aparecieron diferencias significativas entre tratamientos (Tablas IV.64 y IV.65).

**Tabla IV.64.** Anchura de frutos etiquetados (mm): 2ª Campaña (1ª a 4ª recolección).

	Recoleciones			
	1ª	2ª	3ª	4ª
T1	53,43 ± 1,98 <sup>a1</sup>	-	84,16 ± 7,50 <sup>b</sup>	68,52 ± 1,83 <sup>cd</sup>
T2	37,11 ± 1,17 <sup>c</sup>	40,44 ± 3,58 <sup>b</sup>	72,49 ± 1,11 <sup>c</sup>	64,90 ± 1,43 <sup>d</sup>
T3	45,58 ± 2,05 <sup>b</sup>	78,58 ± 2,81 <sup>a</sup>	69,35 ± 1,21 <sup>c</sup>	72,34 ± 1,03 <sup>ab</sup>
T4	-	39,37 ± 1,87 <sup>a</sup>	71,91 ± 3,25 <sup>c</sup>	69,59 ± 1,46 <sup>bc</sup>
T5	50,18 ± 1,87 <sup>ab</sup>	32,39 ± 1,91 <sup>b</sup>	96,79 ± 1,73 <sup>a</sup>	76,25 ± 1,36 <sup>a</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	***

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan (p < 0,05).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \* p < 0,05, \*\* p < 0,01, \*\*\* p < 0,001 y ns, no significativo.

**Tabla IV.65.** Anchura de frutos etiquetados (mm): 2ª Campaña (5ª a 9ª recolección).

	Recoleciones				
	5ª	6ª	7ª	8ª	9ª
T1	61,88 ± 1,68 <sup>b</sup>	61,55 ± 1,69 <sup>b</sup>	59,42 ± 1,70 <sup>a</sup>	-	-
T2	53,42 ± 0,98 <sup>c</sup>	58,28 ± 1,70 <sup>b</sup>	43,97 ± 1,13 <sup>b</sup>	59,18 ± 2,22 <sup>a</sup>	46,20 ± 0,64 <sup>b</sup>
T3	63,45 ± 1,73 <sup>b</sup>	62,28 ± 1,57 <sup>b</sup>	60,42 ± 1,97 <sup>a</sup>	-	59,96 ± 2,88 <sup>a</sup>
T4	71,96 ± 3,29 <sup>a</sup>	78,41 ± 1,88 <sup>a</sup>	61,85 ± 1,26 <sup>a</sup>	63,41 ± 1,83 <sup>a</sup>	68,65 ± 3,68 <sup>a</sup>
T5	76,09 ± 1,82 <sup>a</sup>	66,82 ± 1,40 <sup>ab</sup>	-	-	60,79 ± 1,65 <sup>ab</sup>
P- valor <sup>2</sup>	***	***	***	ns	*

<sup>1</sup>Los valores con las mismas letras en cada columna no son significativamente diferentes de acuerdo con el Test de rango múltiple de Duncan (p < 0,05).

<sup>2</sup>Niveles de significación representados mediante \* p < 0,05, \*\* p < 0,01, \*\*\* p < 0,001 y ns, no significativo.

#### IV.4.2.2. Por la situación en la planta (según racimo)

Si bien se ha estudiado la variación de las particularidades de los frutos recolectados en el conjunto de la planta, en este caso se ha pretendido,

etiquetándolos un poco después de la fecundación de la flor, ver su comportamiento según la posición que ocupaban en los racimos distribuidos a lo largo de la planta. Para ello, considerando 3 frutos por racimo, en 10 plantas por tratamiento, se analizaron las variables que ya se han controlado en opciones anteriores.

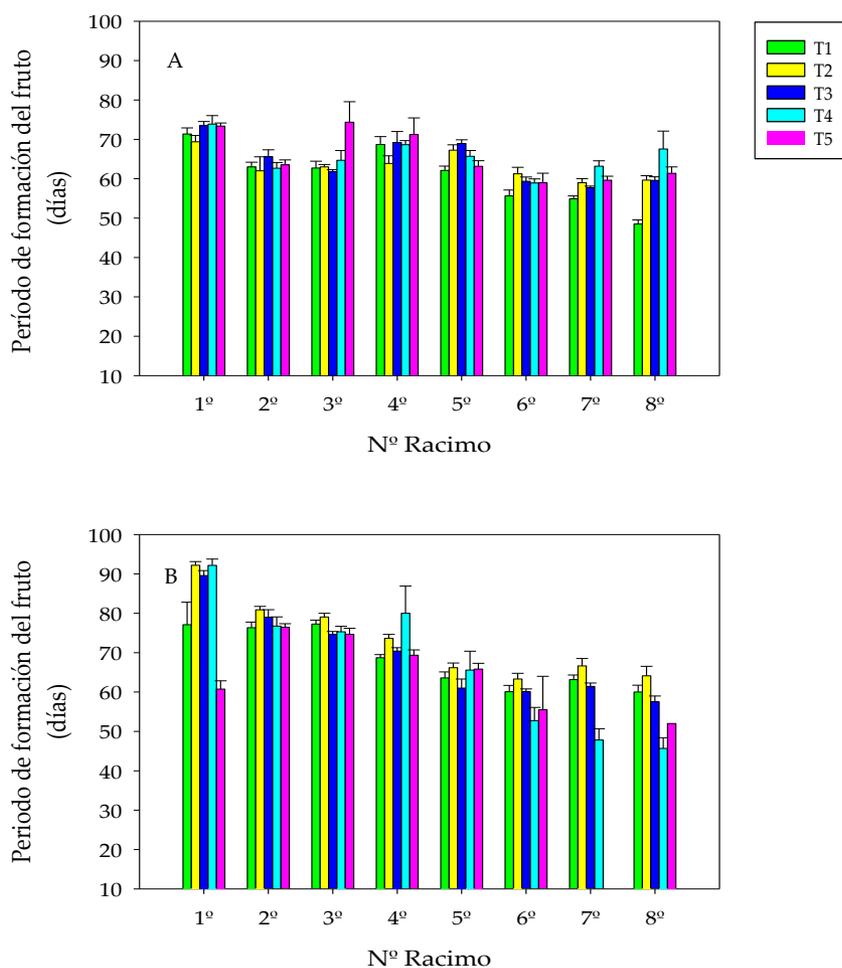
Como consideraciones generales deducidas de los datos aportados, se puede comentar que solo se ha podido controlar, por lo general en todos los racimos de cada uno de los tratamientos, alrededor del 50% de los frutos etiquetados, debiendo ser estimados los resultados dentro de ese contexto, situación que es más deficiente en la segunda campaña (**Tabla IV.66**).

**Tabla IV.66.** N° frutos etiquetados recolectados por racimo en ambas campañas.

1ª Campaña	Racimo							
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
T1	14	12	15	16	17	16	10	10
T2	18	7	14	18	16	16	10	11
T3	17	16	14	20	16	17	17	14
T4	8	9	12	19	13	12	16	13
T5	19	17	20	18	12	8	16	11
2ª Campaña	Racimo							
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º	8º
T1	9	6	12	14	12	12	12	7
T2	18	7	14	18	16	16	10	11
T3	7	6	15	13	5	17	14	11
T4	6	8	7	12	7	4	10	3
T5	8	7	12	14	6	2	0	1

#### IV.4.2.2.1. Período de formación del fruto

En cuanto al período de formación del fruto, en la primera campaña, en el racimo donde tardaron más en formarse los frutos fue en el primero en todos los tratamientos, siendo de casi 74 días en los de mayor duración, T3, T4 y T5 (**Figura IV.36A**).



**Figura IV.36.** N° de días de formación del fruto durante el primer (A) y segundo (B) período productivo.

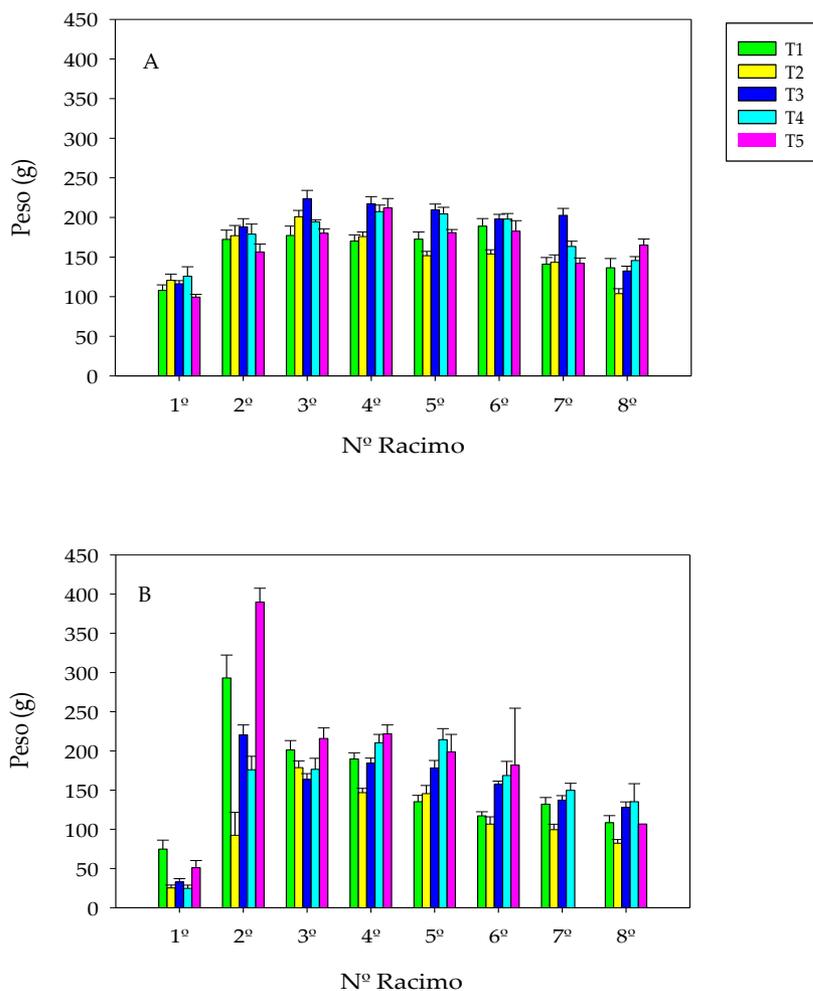
Este hecho es normal en el cultivo y está justificado por la época en que transcurre su desarrollo (Castilla, 2004), así como por el estado fisiológico en el que se encuentra la planta (González *et al.*, 2003b). Siendo los últimos racimos, sexto, séptimo y octavo, en los que en menos tiempo se formó el fruto (Reche, 2010); acción lógica, ya que la planta se vio favorecida por la mejoría de las condiciones ambientales (Castilla, 2005) y comenzó a decaer el calibre de los frutos producidos (Adams *et al.*, 2001), encontrándose distribuida esta situación por todos los tratamientos (**Figura IV.36A**).

En la segunda campaña, en cambio, no ocurrió esto de forma uniforme, y si bien fue el primer racimo del tratamiento T2, con 92 días, donde se invirtió más tiempo en formarse los frutos, en otros, como T1 y T5, fue en el tercero y segundo, respectivamente, donde tardaron más (**Figura IV.36B**). Aunque observando el resto de variables que definen esos frutos de T2, arrojan información que hacen comprensible esa duración exagerada, ya que expresan que la mayoría fueron frutos de tamaño pequeño, MMM (Gautier *et al.*, 2005a), los cuales se recolectan cuando están muy maduros. En cuanto al racimo donde por término medio tardaron menos en formarse los frutos en esta campaña, correspondieron a los del tratamiento T4, pero estando en el conjunto de tratamientos dentro de los rangos marcados en la primera campaña (**Figura IV.36B**).

#### IV.4.2.2.2. Peso medio del fruto

Con relación al peso medio de los frutos por racimo, en la primera campaña, fue a partir del segundo racimo donde se apreció que este se elevó en todos los tratamientos y que las características gravimétricas propias de la variedad se hicieron evidentes (Davies y Hobson, 1981), logrando el ideotipo que propugnan comercialmente. En los racimos tercero y cuarto se encontraron los frutos con mayor peso medio en casi todos los tratamientos, siendo en el primero de ellos del tratamiento T3 donde se dio el más elevado, con más de 223 g, lo que le asigna un calibre GG más que sobrado (**Figura IV.37A**). En cambio, en la segunda campaña, la elevación de pesos medios de los frutos fue más temprana, y empezó a manifestarse, casi totalmente, en el segundo racimo, siendo en el tratamiento T5, donde se dio el máximo con 389 g (**Figura IV.37B**).

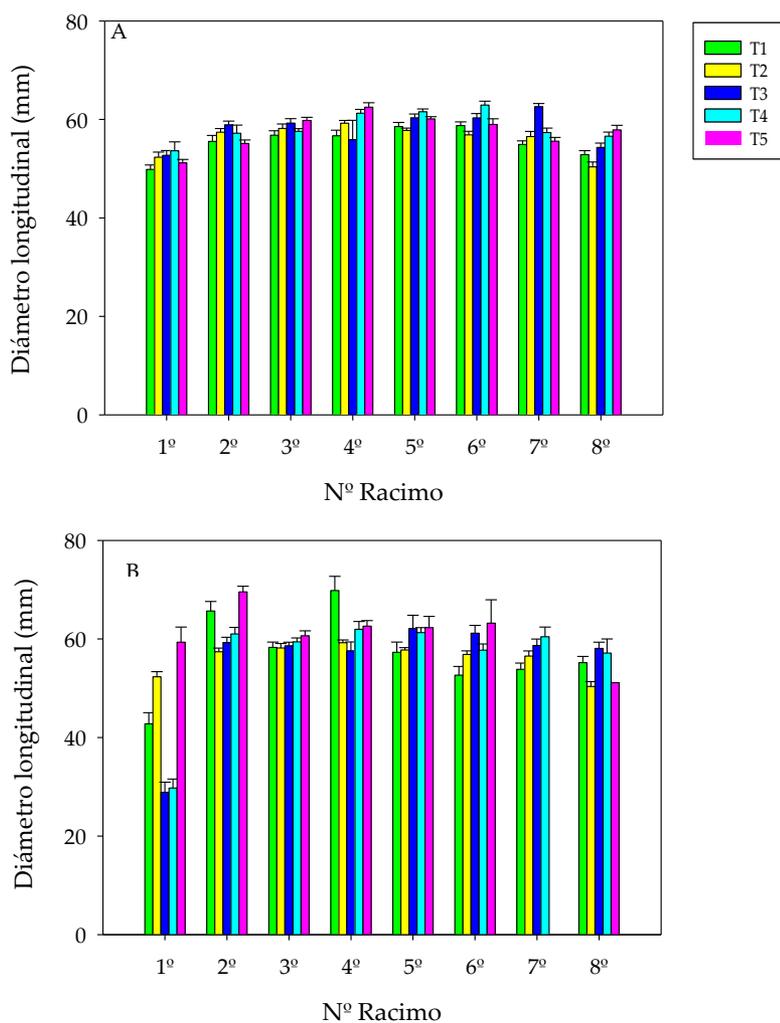
Los racimos con frutos de menor peso medio, fueron el primero y el último, en las dos campañas, lógicamente debido a que en el primer caso, la planta aun no estaba totalmente desarrollada a lo que se le une mayores dificultades de fecundación e irregularidades en ella (López-Andreu *et al.*, 1986; Gautier *et al.*, 2005), y en el último, porque aunque la planta se conduzca bien agrónomicamente, empieza a mostrar síntomas de agotamiento disminuyendo el calibre de la producción (Rozema *et al.*, 1997; Fleisher *et al.*, 2006).



**Figura IV.37.** *Peso de los frutos de tomate durante la primera (A) y segunda campaña (B).*

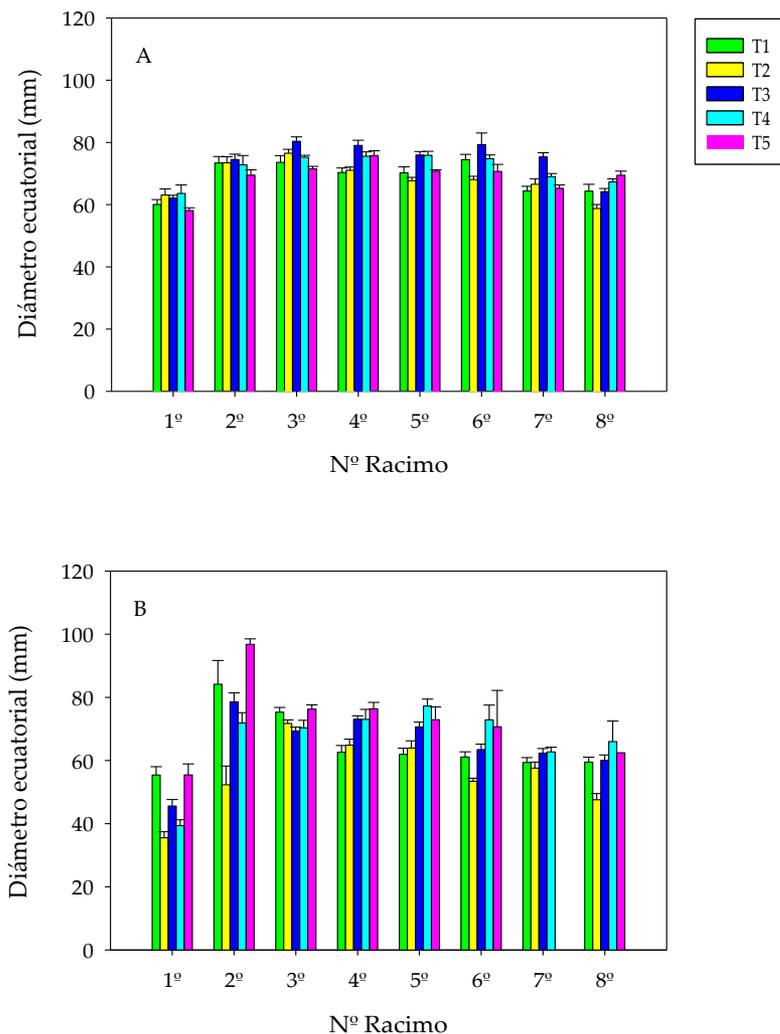
#### IV.4.2.2.3. Diámetro ecuatorial (anchura) y longitudinal (altura) del fruto

De las dos magnitudes con la que se pondera el tamaño del fruto, la altura, alcanzada por estos durante la primera campaña fue más relevante en los que se encontraban en el sexto racimo del tratamiento T4, siendo entre los racimos cuarto y sexto donde también se localizaron los de mayor dimensión en el resto de tratamientos (**Figura IV.38A**). Por el contrario, los más achatados, prácticamente, se ubicaron en el primer racimo en todos los tratamientos, siendo los del tratamiento T1 los que quedaron con menor altura (**Figura IV.38A**).



**Figura IV.38.** Diámetro longitudinal del fruto de tomate durante la primera (A) y segunda campaña (B).

En la segunda campaña, aunque en general se repitió la misma tendencia que en la primera, es decir que los frutos más voluminosos se encontraron en los racimos del cuarto al sexto (Dorais *et al.*, 2001; De León, 2009), no se produjo de forma global en todos los tratamientos, de tal manera que aquellos de mayor altura fueron los del segundo racimo en el tratamiento T5 (**Figura IV.38B**). Y sí coincidiendo exactamente en cuanto a los del racimo en que se alcanza la altura más reducida, siendo en el primero de todos los tratamientos, y en especial en los tratamientos T2, T3 y T4, con valores excesivamente bajos (**Figura IV.38B**).



**Figura IV.39.** *Diámetro ecuatorial del fruto de tomate durante la primera (A) y segunda campaña (B).*

En cuanto a la otra dimensión definitoria del tamaño del fruto, la anchura o diámetro ecuatorial (Heuvelink *et al.*, 2005), en la primera campaña, se situó en una posición bastante aparejada con la presentada en los frutos con la altura. Es decir, que los valores más importantes se alcanzaron en los frutos de los racimos del tercero al sexto (Bertin, 2001), en todos los tratamientos, siendo en el tercer racimo del tratamiento T3 donde se lograron los valores máximos (**Figura IV.39A**). Repitiéndose con la misma inclinación que se daba en la altura, el que los frutos de

menor diámetro se localizaron en el primer racimo (Bacci *et al.*, 1999), del conjunto de tratamientos, pero siendo en T5 donde se vió el más pequeño (**Figura IV.39A**).

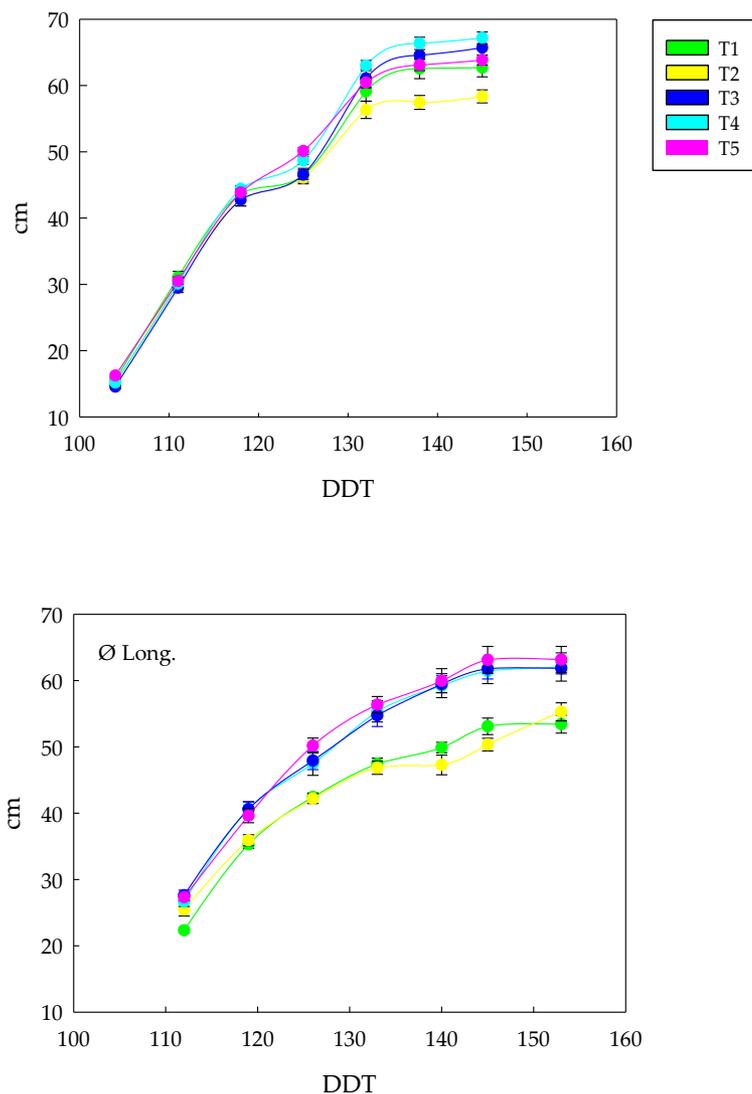
En la segunda campaña, la anchura de los frutos aparece con valores similares a los vistos en la primera, volviendo a encontrarse en los racimos centrales los de mayor tamaño, pero perteneciendo a los del segundo racimo del tratamiento T5 los de registro más notable (**Figura IV.39B**). Y volviendo a ser los que se desarrollaron en el primer racimo, sobre todo los del tratamiento T4, los que por el contrario se quedaron más reducidos, así como los correspondientes al resto del grupo de tratamientos (**Figura IV.39B**).

#### *IV.4.2.3. Por la evolución semanal del tamaño del fruto (diámetro ecuatorial y longitudinal)*

Para concretar más aún el conocimiento sobre la evolución del tamaño del fruto bajo los distintos tratamientos de cubierta, se marcaron 10 frutos/tratamiento y se les hizo un seguimiento semanal, a través del cual precisar con mayor exactitud la tendencia de alguno de los tratamientos de cubierta (Heuvelink, 2005). Esto se llevo a cabo a partir de haber transcurrido algo más de tres meses tras el trasplante, a los 104 DDT en la primera campaña y 112 en la segunda, y cuando se encontraban sobradamente definidos y en todos los casos (López *et al.*, 2005d), ofreciendo, en general, dimensiones similares entre ellos en el momento del inicio del seguimiento (**Figuras IV.40A y B**).

A diferencia del dato tomado de la misma variable en el apartado anterior, referido al conjunto de la planta, la información aportada en este caso es más intensa en sus controles sucesivos, y debería explicar con más precisión el desarrollo del fruto en altura (diámetro longitudinal), y anchura (diámetro ecuatorial).

Como observaciones globales deducidas de los datos registrados, se puede decir que en la primera campaña los frutos alcanzaron un tamaño final superior en todos los tratamientos, tanto de anchura como de altura, a los observados en la segunda (**Figuras IV.40A y B**), aunque esas progresiones en todos los casos, para ambas dimensiones, no superaron 1 cm.



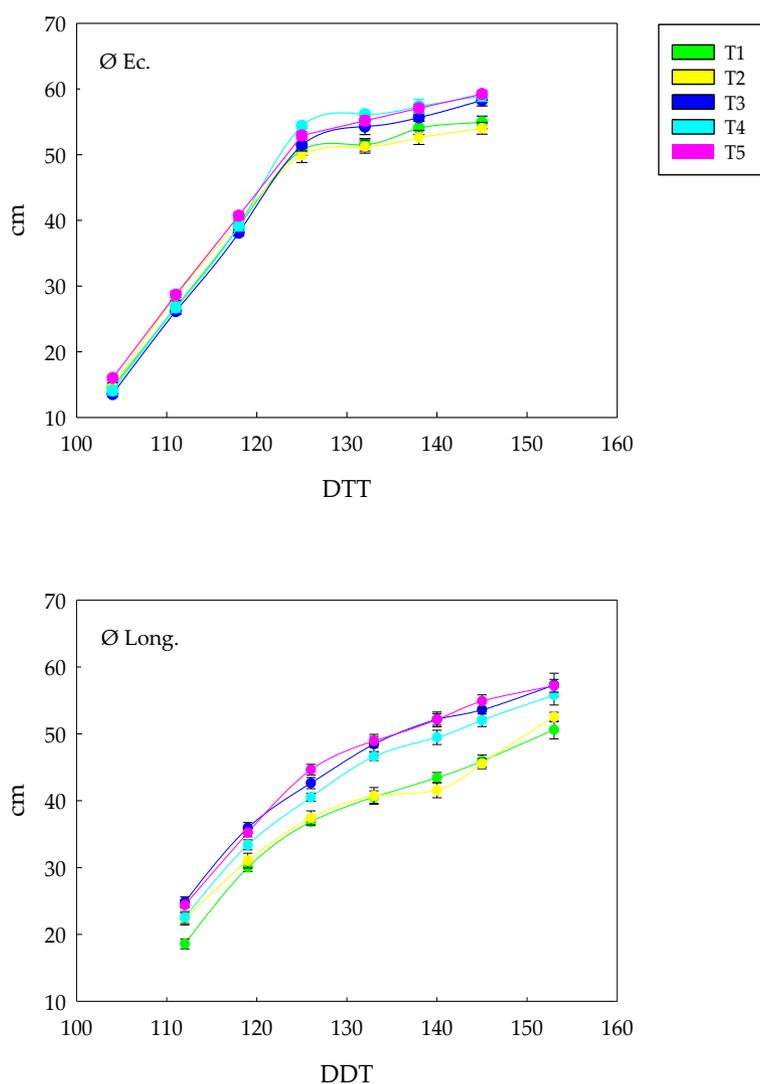
**Figura IV.40.** Evolución del diámetro ecuatorial ( $\text{Ø Ec.}$ ) y longitudinal ( $\text{Ø Long.}$ ) del fruto de tomate durante la primera campaña.

También, en la primera campaña se observaron importantes crecimientos intersemanales de las dos dimensiones hasta los 132 DDT, momento en el cual, aunque siguieron evolucionando lo hicieron de forma menos acusada, aspecto propio a seguir por los frutos en el período inmediato al inicio de la maduración (Adams *et al.*, 2001; Bertin, 2001). Mientras que en la segunda campaña, estas progresiones dimensionales entre semanas, se acortaron a los 119 DDT, a partir de

los cuales el desarrollo bidireccional fue más pausado (**Figuras IV.40 y 41**). No encontrando suficientemente la explicación en el decalage del inicio de la toma de datos de las dos campañas, de 8 días, y pudiéndose atribuirse con mayor probabilidad a las diferencias entre las integrales térmicas anuales, potenciadas a su vez por otras propiedades de cada uno de los materiales de cubierta ensayados, en especial aquellos formulados con aditivos UV (Fiscus y Booker, 1995; Caldwell *et al.*, 2007).

En cuanto al análisis puntual por campaña, en la primera se apreció, en general, una tendencia dominante en el tratamiento T4, acompañado con menor presencia por el T5, en que los frutos presentan mayor tamaño en altura y anchura. Por el contrario los frutos de menor calibre estuvieron localizados entre los tratamientos T2, fundamentalmente, y en T3, en menor proporción (**Figura IV.40**).

Con relación a la segunda campaña, fue también en los frutos del tratamiento T5 donde se determinaron los de mayor tamaño, con mayor presencia aunque en la primera campaña, agrupándose los pertenecientes a T3, sobre todo con referencia a la altura, como los siguientes en importancia de tamaño alcanzado. Y en esta campaña los frutos del tratamiento T2 continuaron ofreciendo el menor tamaño, sobre todo en anchura, al igual que en la primera, pero en este caso acompañados muy de cerca y de manera proporcionada por los de T1, especialmente en altura (**Figura IV.41**).



**Figura IV.41.** Evolución del diámetro ecuatorial ( $\text{Ø Ec.}$ ) y longitudinal ( $\text{Ø Long.}$ ) del fruto de tomate durante la segunda campaña.

#### IV.4.3. Consideraciones sobre los resultados aportados por los diferentes métodos de seguimiento de los frutos recolectados

Con independencia de la repercusión de la duración del período de formación de los frutos, que tampoco ha arrojado diferencias importantes entre tratamientos, de las distintas formas de realizar el seguimiento de la evolución de los frutos hasta su momento de recolección no se han extraído conclusiones

específicas para ningún tratamiento determinado, en cuanto a su posible mayor influencia.

Del análisis respectivo de las tres variantes estudiadas se extraen, básicamente, generalidades aplicables a los frutos de todos los tratamientos, siendo las diferencias observadas entre ellos de poca importancia práctica y agronómica, aunque no haya sido óbice para que sí se manifiesten diferencias estadísticas entre los valores obtenidos.

Las consideraciones finales, además de las puntualizaciones ya detalladas, solo confirman características propias de la especie y tipo de cultivo, como, calibre y forma acorde con las de la variedad usada, mayor plazo de tiempo para la formación de los frutos de los primeros racimos y menor para los últimos, mas elevado peso medio de los frutos en los racimos centrales, menos precocidad para iniciar su formación en las cubiertas sin aditivación para el infrarrojo de onda larga, y comportamiento similar con tendencias parecidas en ambas campañas.

Todo ello viene a corroborar que los diferentes materiales de cubierta, aplicados en las infraestructuras de cultivo propuestas y bajo las condiciones ambientales exteriores e interiores de los recintos de cultivo, en ambas campañas, no han inducido aparentemente diferencias importantes en las características físicas de los frutos producidos.

#### IV.5. PRODUCCIONES

Al despuntar la planta de su guía vegetativa, tras el noveno racimo, ya cuajado y con frutos formados y perfectamente viables, ante la evidencia de que ésta ya contactaba con el filme de cubierta, y no considerando oportuno invertir el tropismo dominante, dándole la vuelta y darle continuidad al crecimiento de la planta, se practicaron solo nueve recolecciones. Éstas se iniciaron en la primera campaña el 5 de Mayo de 2010 a los 106 DDT y se prolongaron hasta los 166 DDT. Y en la segunda se recolectaron el 4 de Mayo de 2011 a los 119 DDT finalizando a los 174 DDT la última recolección.

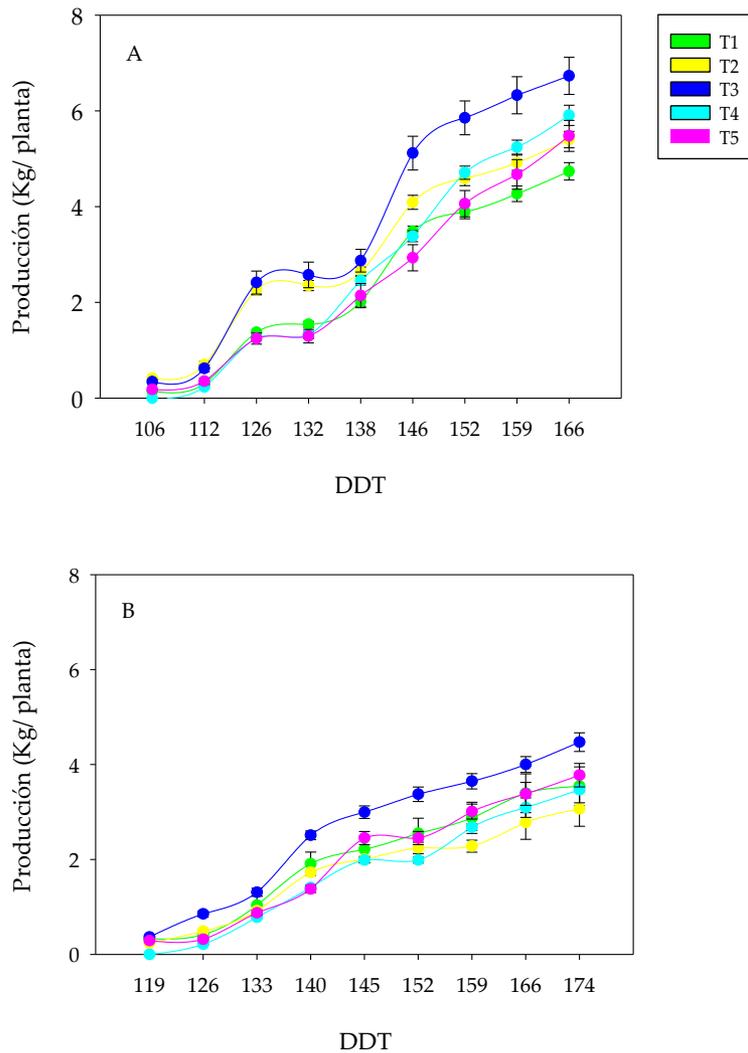
#### IV.5.1. Producción Total Acumulada (Fases Precoz y Tardía)

Para estudiar mejor los rendimientos alcanzados, las producciones, Total y Comercial, se desglosaron en dos períodos, en las dos campañas, uno Precoz y otro Tardío (Reche, 2010). En la primera campaña, la fase Precoz comprendió desde el inicio hasta 138 DDT, coincidiendo con la quinta recolección, y el Tardío, abarcó desde ésta hasta la novena, que se realizó a los 166 DDT (**Figura IV.42A**). En la segunda campaña, la producción Precoz se consideró igualmente hasta la quinta recolección, que en este caso se practicó a los 145 DDT, y la Tardía, hasta también la novena, a los 174 DDT (**Figura IV.42B**).

##### IV.5.1.1. Producción Total Precoz: peso de frutos por planta

Si se observa la producción Total Precoz acumulada, en la primera campaña, y recordando que la densidad de plantación empleada en ambas campañas fue de 2,5 plantas/m<sup>2</sup>, se aprecia que el montante final alcanzado en el tratamiento más productivo, en este caso T3, UVA100%, es de 2,87 kg/planta lo que equivaldría a unos 7 Kg/m<sup>2</sup>, valor que se puede tomar como bueno en cultivo de tomate (Castilla,1995; Heuvelink, 2005), encontrándose la del resto de tratamientos dentro de lo normal (López *et al.*, 2005), incluso la de T1 que fue la menor, y habida cuenta que solo se recolectaron nueve racimos (**Figura IV.42**).

En la segunda campaña los guarismos alcanzados en la producción Total Precoz fueron muy similares a los de la primera, manteniéndose el tratamiento T3, igualmente como el más productivo, con un rendimiento un poco mayor (**Figura IV.42B**). Lo que podría hacer pensar que este material de cubierta lleva incluido en su formulado algún aditivo que potencie su inercia térmica, ya que hay que recordar que fue el que presentó los valores superiores de todas las temperaturas mínimas del grupo de tratamientos, permitiendo que el ambiente se enfriase menos y de esta manera no interrumpiendo la cadencia de los procesos de crecimiento de la planta. Y que así como hay estudios sobre la influencia negativa de los excesos de la radiación UVB sobre, el crecimiento de las semillas en frutos de tomate (Adamse *et al.*, 1997), la presunción de reducir la precocidad y el calibre de los frutos (Bacci *et al.*, 1999), el envejecimiento prematuro de la planta (Rozema *et al.*, 1997) y como consecuencia, reducción de la capacidad fotosintética de la planta (Teramura *et al.*, 1991), etc., no consta en la literatura científico-técnica consultada, aspectos de esta índole relacionados con la UVA, lo que avalaría su respuesta.



**Figura IV.42.** Producción total acumulada en peso por planta en los 5 tratamientos durante el primer (A) y segundo (B) período productivo.

Así mismo, el tratamiento de menor peso recolectado pasa a ser el T4 (LDC), que en este caso queda un poco por debajo del mínimo alcanzado en la primera campaña (**Figura IV.42A**). Hecho que podría estar justificado por haber presentado niveles térmicos reducidos durante el cultivo (Castilla, 1995).

*IV.5.1.2. Producción Total Tardía: peso de frutos por planta*

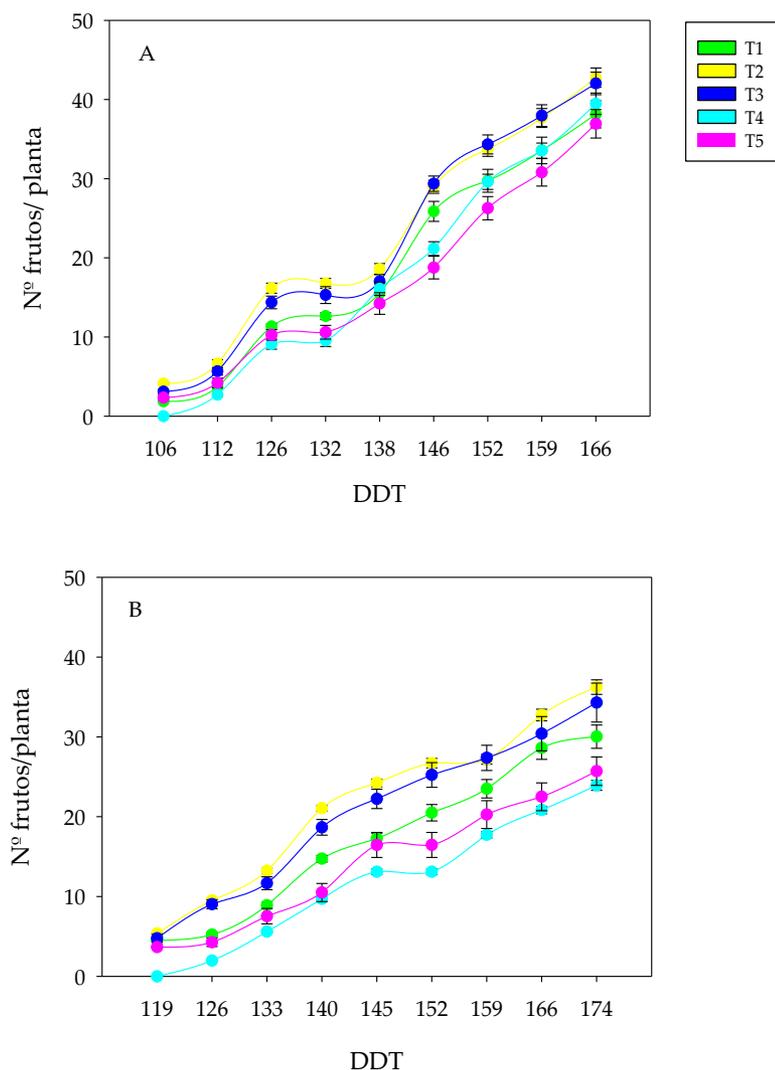
La progresión de las recolecciones hasta constituir la producción Total Tardía en la primera campaña, arroja una continuidad total de la tendencia vista en la producción precoz, de tal manera que los tratamientos T3, como más productivo, y T1, como menor, continuaron siéndolo al final de este período de cosecha (**Figura IV.42A**).

Esta misma conducta se repitió en la segunda campaña, con relación a los pesos máximos conseguidos, siendo el tratamiento T3 el más favorecido, variando en cambio en cuanto al tratamiento de menor cosecha, que pasó a ser el tratamiento T2 (**Figura IV.42B**), hecho que llama la atención por ser un material de cubierta de garantía contrastada (Frohnmeier y Staiger, 2003).

*IV.5.1.3. Producción Total: número total de frutos por planta*

El número total de frutos recolectados para conseguir esas producciones totales, en su fase Precoz en la primera campaña, no se correspondió con el tratamiento más productivo habido, ya que fue en T2 donde se produjo, aunque hay que tener en cuenta que T3 fue el que le siguió en importancia (**Figura IV.43A**). Existiendo idéntica divergencia con los tratamientos que presentaron menor número de frutos, que igualmente, si bien no coincidieron con el de menor peso recolectado, se encuentran a continuación en esa valoración (**Figura IV.43A**). Lo que vuelve a fortalecer el comentario ya expuesto sobre la respuesta agronómica bastante difusa a los materiales de cubierta de los cultivos que han protegido, que se ha traducido en diferencias de conducta poco representativas.

En la segunda campaña, en esta primera parte de las recolecciones, ocurrió lo mismo que en la primera, y fue también en T2 donde se concentraron más frutos, difiriendo en cambio con el tratamiento de menor número, ya que este sí coincidió con el tratamiento de menor peso logrado, el T4 (**Figura IV.43B**).



**Figura IV.43.** Comparación del número de frutos totales por planta en los 5 tratamientos durante el primer (A) y segundo (B) período productivo.

Cuando estas observaciones se realizaron en las producciones Totales Tardías, se aprecia como se conservó una similitud con los pesos totales, y el tratamiento con mayor número de frutos recolectados continuó siendo el T2, para ambas campañas (**Figura IV.43**). Mientras que existió una falta total de coincidencia en cuanto al menor número total de frutos recolectados en las dos campañas, correspondiendo a T1 y T4, a la primera y segunda, respectivamente, y aquellos tratamientos en los que se consiguió menor peso (**Figura IV.43**).

Decir que los tratamientos que, dentro de las pequeñas diferencias existentes entre ellos, mostraron mejor comportamiento, fueron aquellos que no están catalogados como Larga Duración, tanto en material experimental, T1, como comercial, T4, y que si esto si es sabido frente a la acción de los Polietilenos Térmicos, T2, no hubieron referencias con relación a otros fotoselectivos de la radiación UVA, experimentales, T3, o UV en general, T5.

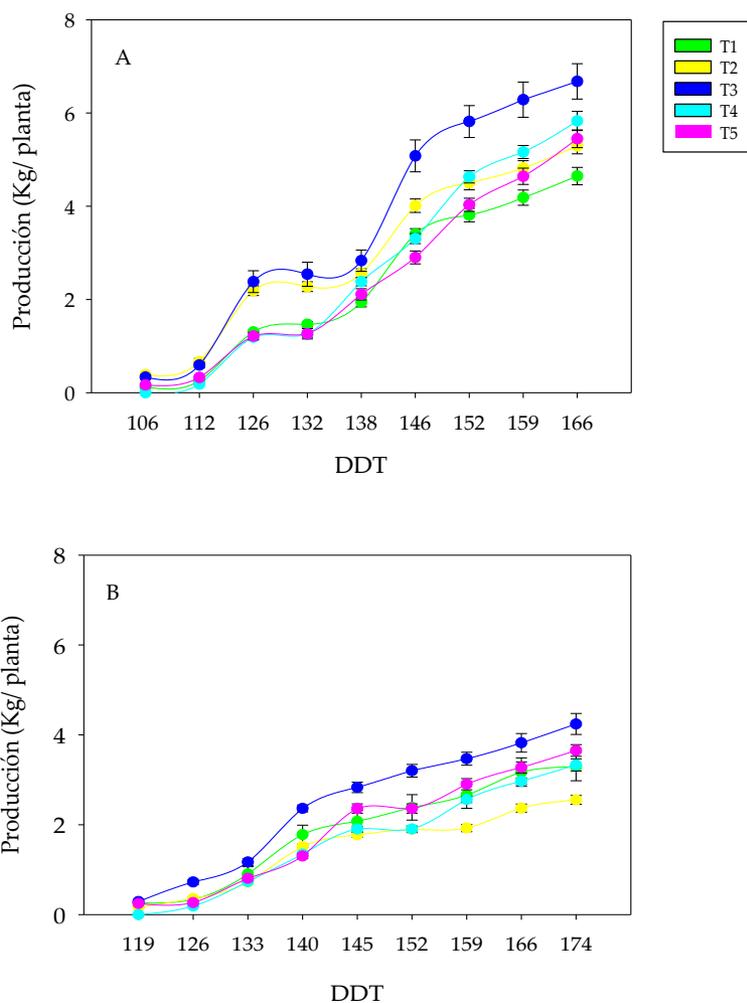
#### **IV.5.2. Producción Comercial Acumulada (Fases Precoz y Tardía)**

La producción Comercial ha sufrido solo pequeñas variaciones con respecto a los dígitos de la total, ante la poca entidad que ha tenido el Destrío.

##### *IV.5.2.1. Producción Comercial Precoz: peso y número total de frutos por planta*

En la fase precoz de la primera campaña, el tratamiento más importante fue T3, al igual que lo fue en la Total, y que a su vez se equipara con el mayor número total de frutos conseguidos, también en T3 (**Figura IV.44A**). Hecho que tuvo una continuidad parcial en la segunda campaña, que si bien coinciden en cuanto al mayor peso alcanzado, en T3, difieren en cuanto al número total de frutos logrados, que no lo hicieron en el mismo tratamiento pero si en el que estaba más próximo en los pesos, el T2 (**Figuras IV.44B y IV.45B**).

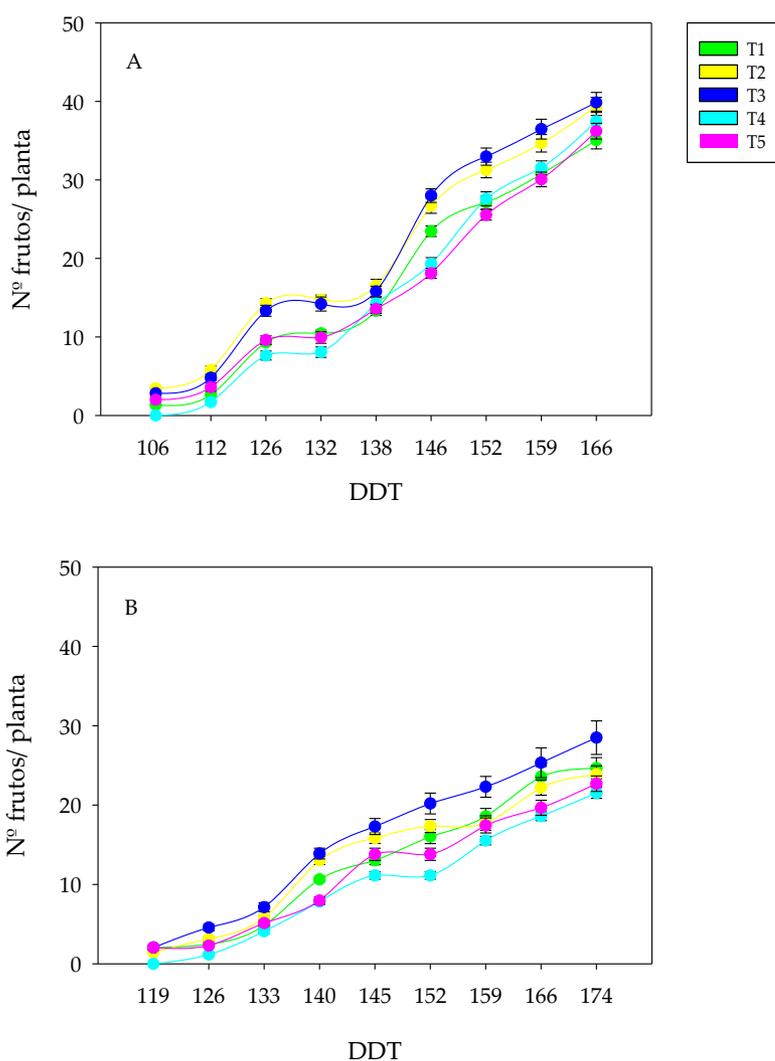
En cuanto a los tratamientos menos relevantes en este aspecto, en la fase precoz en la primera campaña, el peso mínimo de producción comercial se identificó con el de menor número total de frutos, ambos en T1, y, prácticamente, coincidió con las cifras de la producción Total (**Figuras IV.44A y IV.45A**). Pero en la segunda campaña, no coincidieron en el peso, ya que estos se dieron en T2, pero sí en el número total de frutos, que lo hicieron en T4 (**Figura IV.44B y IV.45B**).



**Figura IV.44.** Comparación de la producción comercial acumulada en peso por planta en los 5 tratamientos durante el primer (A) y segundo (B) ciclo de cultivo.

#### IV.5.2.2. Producción Comercial Tardía: peso y número total de frutos por planta

En cuanto a la producción Comercial Tardía, en la primera campaña, el tratamiento T3 continuó mostrándose como el óptimo en peso recolectado, coincidiendo con la valoración de la producción total, disintiendo en el número total de frutos, que volvió a recaer en el tratamiento T3, y por lo tanto no coincidió con su situación en el tratamiento de la producción Total (**Figuras IV.42A y IV.43A**).



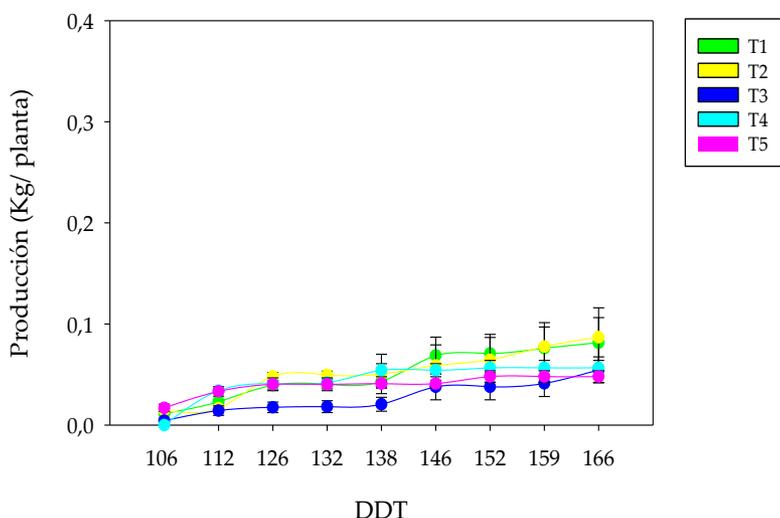
**Figura IV.45.** Comparación de la producción comercial en número de frutos en los 5 tratamientos durante el primer (A) y segundo (B) ciclo de cultivo.

En la segunda campaña ocurrió exactamente lo mismo con la producción Comercial que en la primera, que el tratamiento más relevante en peso, el T3, fue el mismo que en la producción Total, mientras que el número total de frutos también lo fue en T3, cuando en la producción Total fue en T2 (**Figuras IV.42B y IV.43B**). Y que cuando se trata de ver el tratamiento más desfavorecido en cuanto a peso, se presenta el mismo que el que se encontró en la producción Total, el T2, identidad

que también se dio con el número total de frutos, que vuelve a reflejarse en el tratamiento T4 (Figura IV.43).

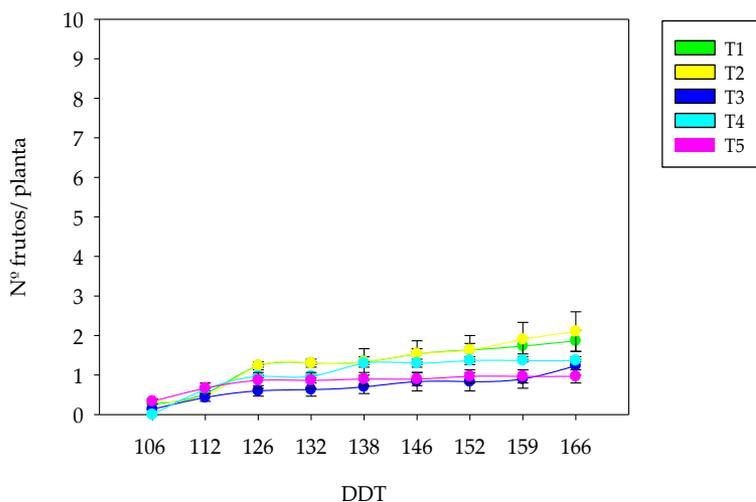
### IV.5.3. Destrío acumulado

El buen comportamiento del cultivo se evidencia en la mínima incidencia habida tanto en peso como en número frutos en el capítulo correspondiente al Destrío, siendo éste menos importante en la primera que en la segunda campaña (Figuras IV.46 y IV.47).



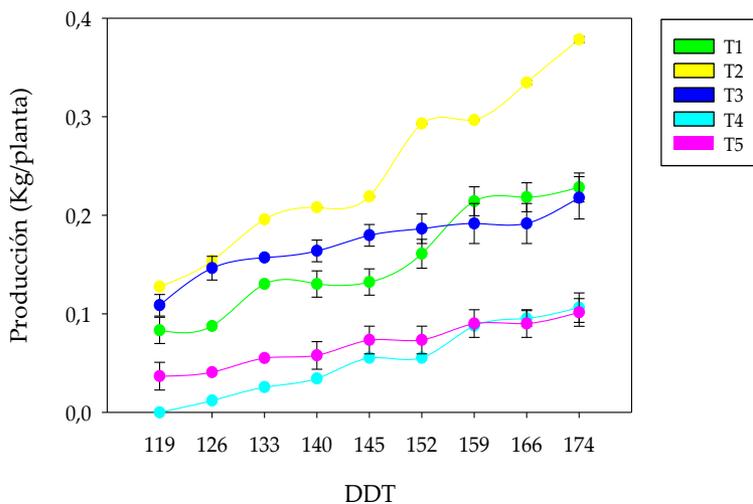
**Figura IV.46.** Producción acumulada en el destrío del peso de los frutos de tomate por planta durante el primer año de cultivo.

En la primera campaña, los valores alcanzados indican que los frutos desechados como no comerciales, pertenecieron a aquellos de calibre muy pequeño, considerados como MMM, y que se encontraban en los primeros racimos, siendo el resultado de una mala fecundación influida por las condiciones más dificultosas del inicio del cultivo tras el trasplante y en presencia de variables ambientales menos favorables. Debiendo considerar sus magnitudes como irrelevantes y que no han tenido ninguna consecuencia sobre el conjunto de la producción (Figura 47).



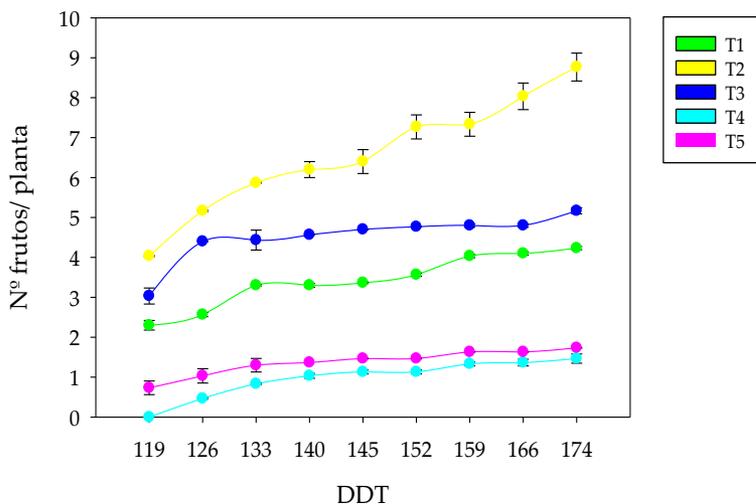
**Figura IV.47.** Número de frutos acumulado por planta en el destrío durante el primer año de cultivo.

En la segunda campaña, aunque los pesos de Destrío aportados se incrementaron ligeramente, continuaron siendo insignificantes y con una pequeñísima repercusión en el rendimiento del cultivo (**Figura IV.48**).



**Figura IV.48.** Producción acumulada en el destrío del peso de frutos por planta durante el segundo año de cultivo.

En la segunda campaña, lo que sí aumentó fue el número de frutos no aprovechables, los cuales al relacionarlos con su peso, mostraron que, al igual que en la primera campaña, correspondieron a frutos muy pequeños, del calibre MMM citado, y cuyo origen obedeció a las causas ya explicadas, en este caso afectaron un poco más a la conducta de la planta (**Figuras IV.48 y IV.49**).



**Figura IV.49.** Número de frutos acumulado por planta en el destriado durante el segundo año de cultivo.

## IV.6. VARIABLES RELACIONADAS CON LOS ATRIBUTOS DE CALIDAD DEL FRUTO

El invernadero atenúa las variaciones estacionales ambientales, las cuales van a repercutir en las alteraciones de la calidad gustativa y nutricional del fruto de tomate.

A continuación, se muestran las variables relacionadas con la calidad del fruto durante el período de recolección, siendo analizadas en plantas crecidas en invernadero bajo cinco tratamientos de condiciones ambientales experimentales centrandó el estudio en el segundo, cuarto y octavo racimo de las plantas en las que se analiza si existen diferencias debidas a los distintos tipos de radiación filtrados a través de los materiales de cobertura con distinto porcentaje de transmisión en los invernaderos. El ensayo se repitió durante dos años consecutivos, lo que nos permite analizar el efecto del envejecimiento de los materiales de cobertura, en relación con las alteraciones que se manifiestan en los porcentajes de las diferentes radiaciones y su influencia sobre las variables analizadas.

Dentro de las condiciones ambientales en el interior del invernadero, temperatura, humedad y radiación, se analiza fundamentalmente la influencia que la temperatura y radiación pueden ejercer sobre el desarrollo de los atributos de calidad en el fruto, evaluando el efecto de la posición del fruto en la planta, sobre el desarrollo de estos atributos.

Como primer parámetro de calidad a evaluar en el fruto de tomate, se trabaja el flavor, resultado de la interacción compleja del aroma y el sabor.

Los azúcares, son en mayor medida los responsables del sabor, junto con otros compuestos como ácidos, compuestos fenólicos y minerales (Kader, 2008).

Por otro lado, el flavor del tomate viene definido por los compuestos volátiles (Baldwin *et al.*, 2008, Kader, 2008). Aún así, los consumidores valoran el dulzor en el tomate y la acumulación del azúcar como determinantes de la intensidad de su aroma (Causse *et al.*, 2002).

Por tanto, el sabor deseado de los tomates es el resultado de una interacción compleja entre varios compuestos volátiles y gustativos presentes en el fruto (Petro-Turza, 1986). Los azúcares reductores y los ácidos orgánicos son los componentes más significativos en la determinación del sabor dulce y ácido respectivamente, por

lo que sus niveles de concentración pueden afectar significativamente a la aceptabilidad de su sabor (Salles *et al.*, 2003).

#### IV.6.1. Sólidos solubles totales: °Brix y SST/AT

##### IV.6.1.1. °Brix

En relación con el sabor dulce, en la muestra de estudio se analiza el contenido en azúcares a través de los °Brix. Los grados Brix, reflejan un alto porcentaje de la calidad de sólidos totales que contienen los frutos. A mayor valor es más deseable organolépticamente el fruto; un valor mayor o igual a 4,0 es considerado bueno, apreciándose en los resultados que todas las muestras presentaban valores óptimos en cuanto a la calidad para los frutos de tomate (**Tabla IV.67**).

En nuestro estudio se realizó un análisis de la varianza tomando como variable dependiente °Brix y como factores el número de racimo y el tipo de tratamiento.

Según el análisis de la covariancia (ANCOVA) se observó que la variable campaña no afectó significativamente al modelo ( $F_{1,178}=1,083$ ;  $p=0,30$ ). Por tanto, a partir de este momento los análisis no se segmentarán por campaña con lo que aumentará la potencia de los mismos.

Con ello podemos afirmar que el contenido de °Brix, fue similar en ambas campañas en los diferentes tratamientos, con valores medios normales propios del fruto de tomate (**Tabla IV.67**), que coinciden con los obtenidos por Sánchez-Moreno *et al.* (2005) en zumo de tomate procedente de tomates variedad Daniella, de larga vida, como el de este trabajo.

**Tabla IV.67.** Características descriptivas del contenido de °Brix de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=6)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	5,38 (0,76)	4,58 a 6,18	5,55 (0,23)	5,30 a 5,80
	4º	5,93 (0,34)	5,58 a 6,29	6,12 (0,23)	5,87 a 6,36
	8º	6,48 (0,35)	6,11 a 6,86	5,67 (0,35)	5,30 a 6,03
T2	2º	5,10 (0,19)	4,90 a 5,30	6,33 (0,52)	5,79 a 6,88
	4º	6,12 (0,18)	5,92 a 6,31	6,78 (0,44)	6,32 a 7,25
	8º	7,10 (0,25)	6,83 a 7,37	5,55 (0,30)	5,23 a 5,87
T3	2º	4,92 (0,29)	4,61 a 5,22	4,97 (0,05)	4,91 a 5,02
	4º	5,15 (0,21)	4,92 a 5,38	5,22 (0,17)	5,04 a 5,40
	8º	5,10 (0,26)	4,83 a 5,37	5,45 (0,14)	5,31 a 5,59
T4	2º	4,30 (0,28)	4,00 a 4,60	4,67 (0,27)	4,38 a 4,95
	4º	5,02 (0,23)	4,77 a 5,26	5,23 (0,25)	4,97 a 5,50
	8º	5,92 (0,21)	5,69 a 6,14	4,88 (0,12)	4,76 a 5,01
T5	2º	4,85 (0,24)	4,60 a 5,10	4,45 (0,12)	4,32 a 4,58
	4º	5,28 (0,27)	5,01 a 5,56	5,32 (0,25)	5,06 a 5,58
	8º	5,90 (0,32)	5,57 a 6,23	5,30 (0,32)	4,96 a 5,64

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=90 por campaña.

En cuanto al tipo de tratamiento si se observó que influía de forma significativa ( $F_{4,175}=44,70$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,49$ ) sobre los niveles de °Brix. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación muy fuerte entre el tratamiento y los valores de °Brix hallados.

En la **Tabla IV.68** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

A la vista de los resultados se observa que T1 y T2 mostraron valores significativamente mayores en el contenido de °Brix que los observados en los otros tres invernaderos. Los valores en T2 fueron superiores a los de T1. Por otro lado, T3, T4 y T5 no parecen mostrar diferencias entre ellos respecto a la variable °Brix. En este sentido podríamos diferenciar tres grupos en cuanto a homogeneidad: el primero de ellos formado por los T3, T4 y T5, el segundo formado por el T1 y el tercero por el T2. Todo ello independientemente del racimo analizado.

**Tabla IV.68.** Diferencias medias en los valores de °Brix según el tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-0,31	0,04	-0,61	-0,01
	T3	0,72	<0,001	0,42	1,02
	T4	0,85	<0,001	0,55	1,15
	T5	0,67	<0,001	0,37	0,97
T2	T3	1,03	<0,001	0,73	1,33
	T4	1,16	<0,001	0,86	1,46
	T5	0,98	<0,001	0,68	1,28
T3	T4	0,13	0,747	-0,17	0,43
	T5	-0,05	0,991	-0,35	0,25
T4	T5	-0,18	0,455	-0,48	0,12

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En el análisis de correlación lineal (r-Pearson) entre los tres tipos de radiación (PAR, UVA y UVB) y °Brix, se observa una relación inversa entre esta variable y la radiación PAR ( $r=-0,3$  y  $r^2=10,4\%$ ), pero no con el resto de radiaciones. Efectivamente T1 y T2 mostraron los menores valores PAR (en el material virgen y a final de la 2ª campaña, Tabla IV.17) y los mayores valores °Brix, respecto al resto de tratamientos. Este hallazgo no coincide con los resultados obtenidos por otros autores que afirman que la radiación PAR no tiene influencia sobre aspectos de la calidad del fruto, como el contenido de sólidos solubles y la cantidad de peso seco (Baxter *et al.*, 2005; Riga *et al.*, 2008).

Nuestros resultados no coinciden con Rosales (2008), quién observó un dulzor similar en frutos de tomate cherry crecidos bajo dos invernaderos experimentales con diferentes condiciones ambientales. En nuestros valores, se observan diferencias claras entre los distintos tratamientos siendo T1 y T2 donde se obtuvieron los tomates más dulces, comparados con el resto.

Ello podría explicarse desde el punto de vista de las temperaturas máximas registradas en el interior del invernadero ya que los valores más elevados de estas temperaturas fueron superiores en la primera campaña principalmente en T1 y T2 (**Figura IV.31A**). Así, en la primera parte del desarrollo productivo de la planta,

desde el trasplante en enero hasta finales del mes de abril, se observaron mayores temperaturas en T2, que además es un filme térmico, lo cual permite que el invernadero no tenga pérdidas de calor por radiación, manteniendo un nivel térmico más alto en su interior. Por otro lado, en T1, dicho incremento térmico tuvo lugar en las últimas recolecciones, y en este caso, la causa pudo ser debida al hecho de filtrar un porcentaje de radiación UVA al final de la segunda campaña superior al del resto de tratamientos, lo que podría provocar un calentamiento del fruto y por eso aumentar su dulzor.

En conclusión, nuestros resultados sugieren que esta elevación térmica durante los meses más fríos de cultivo es la responsable de un mayor dulzor en los frutos de ambos tratamientos con respecto a los otros tres que mantuvieron temperaturas menores y homogéneas entre ellos.

También se observó que el número de racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,177}=38,07$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,29$ ) sobre el contenido de °Brix. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación igualmente muy fuerte (aunque menor que con el tipo de tratamiento) entre el número de racimo y los valores de °Brix.

En la **Tabla IV.69**, se muestran las comparaciones dos a dos para el factor nivel del racimo.

En base a estos resultados puede decirse que los valores de °Brix fueron significativamente menores en el 2º racimo que en los racimos 4º y 8º. A su vez entre ellos, no se encontraron diferencias significativas. Todo ello independiente del tratamiento analizado.

**Tabla IV.69.** Diferencias medias en los valores de °Brix según el nº de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	<0,001	-0,76	-0,37
	8º	<0,001	-0,88	-0,49
4º	8º	0,340	-0,32	0,08

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Tsormpatsidis *et al.* (2011), obtuvieron valores de °Brix en fresa diferentes cuando estudiaron los frutos en distintas posiciones dentro del mismo racimo con

dos tratamientos (filme transparente UV y filme opaco UV). Los valores de °Brix fueron superiores en los frutos desarrollados en las posiciones más altas en ambos cultivos coincidiendo con nuestros resultados (mayores niveles de °Brix en racimos superiores).

Sin embargo, los valores de nuestro estudio difieren de los observados por Bertin *et al.* (2001), quienes afirman que este parámetro de calidad no se ve afectado por la posición en el racimo, tras analizar los frutos en su estado maduro y bajo condiciones de invernadero, considerando dos períodos de desarrollo del fruto.

#### IV.6.1.2. Relación SST/AT

El índice de madurez está relacionado directamente con el dulzor y el sabor de los frutos.

**Tabla IV.70.** Características descriptivas de la variable SST/AT de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=6)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	10,63 (0,79)	9,80 a 11,46	12,14 (1,67)	10,38 a 13,89
	4º	12,75 (0,69)	12,03 a 13,48	14,33 (0,35)	13,96 a 14,69
	8º	12,21 (1,39)	10,75 a 13,67	12,90 (1,97)	10,83 a 14,96
T2	2º	11,47 (1,40)	9,99 a 12,94	12,99 (0,44)	12,53 a 13,45
	4º	14,80 (1,20)	13,54 a 16,06	14,85 (2,40)	12,33 a 17,37
	8º	16,55 (2,07)	14,37 a 18,72	15,11 (0,90)	14,17 a 16,05
T3	2º	13,45 (1,80)	11,56 a 15,34	11,23 (0,55)	10,66 a 11,81
	4º	14,09 (0,89)	13,15 a 15,02	14,58 (0,69)	13,86 a 15,31
	8º	16,93 (1,54)	15,32 a 18,54	13,19 (2,01)	11,08 a 15,30
T4	2º	11,23 (1,72)	9,43 a 13,04	13,04 (1,44)	11,53 a 14,56
	4º	14,27 (0,75)	13,48 a 15,06	12,44 (1,06)	11,32 a 13,55
	8º	15,82 (1,50)	14,25 a 17,39	14,22 (2,23)	11,87 a 16,56
T5	2º	14,11 (3,16)	10,79 a 17,42	12,35 (0,83)	11,47 a 13,22
	4º	14,96 (1,73)	13,15 a 16,78	13,23 (1,30)	11,86 a 14,60
	8º	16,21 (1,32)	14,83 a 17,59	14,56 (1,03)	13,49 a 15,64

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=90 por campaña.

Para el índice de madurez de los frutos recolectados, cuantificado mediante el cociente entre los sólidos solubles totales y la acidez titulable (SST/TA), se muestran los estadísticos descriptivos en la **Tabla IV.70**, segmentados por el tipo de tratamiento, número de racimo y la campaña.

Para la variable SST/TA se observó que la campaña afectó significativamente al modelo ( $F_{1,178}=4,89$ ;  $p=0,028$ ;  $\omega^2=0,021$ ), no obstante el pequeño tamaño del efecto indica que la variabilidad introducida es pequeña. Aún así, los sucesivos análisis se realizarán ajustados para el factor campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,175}=6,93$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,12$ ) sobre los niveles de SST/TA. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación fuerte entre el tipo de tratamiento y los valores SST/TA encontrados. El efecto del tratamiento sobre los valores SST/TA fue menor que en el caso del contenido de °Brix (**Tabla IV.71**).

**Tabla IV.71.** *Diferencias medias en los valores SST/TA según el tratamiento.*

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
T1	T2	<0,001	-2,93	-0,67
	T3	0,005	-2,55	-0,29
	T4	0,117	-2,14	0,12
	T5	<0,001	-2,87	-0,62
T2	T3	1,00	-0,75	1,51
	T4	0,480	-0,34	1,92
	T5	1,00	-1,07	1,19
T3	T4	1,00	-0,72	1,54
	T5	1,00	-1,45	0,80
T4	T5	0,662	-1,86	0,40

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Según la literatura, nuestros resultados son superiores a los obtenidos por Rosales (2008), quien observa en su trabajo con invernaderos en dos condiciones ambientales diferentes, que los tomates cherry crecidos bajo condiciones de elevada

temperatura y radiación solar muestran valores elevados en relación al cociente SST/AT sin apreciar diferencias significativas en los frutos de ambos invernaderos.

Sin embargo, los frutos de nuestro estudio dieron valores significativamente inferiores a los obtenidos por Gautier *et al.* (2008), quienes exponen que un incremento en la temperatura (32°C) podría mejorar la calidad gustativa del fruto de tomate en invernadero, ya que aumenta el cociente azúcares/ácidos del fruto. Este mismo razonamiento muestra el trabajo de Casierra-Posada *et al.* (2010), quienes demuestran que los frutos colectados con influencia de la cobertura plástica presentaron 12,31% mayor relación de madurez que frutos colectados sin cobertura, lo cual les confiere mejores propiedades organolépticas para el consumidor. Nuestros resultados en índice de madurez fueron superiores a los obtenidos por estos autores con tomates *Solanum lycopersicum* L. cv. Rocío.

Aunque las temperaturas en los 5 invernaderos experimentales sobrepasaron la temperatura de 32°C del estudio de Gautier *et al.* (2008) durante el proceso de desarrollo del fruto, no incrementaron el cociente azúcares/ácidos del fruto.

El resultado más evidente en cuanto al tipo de tratamiento es que el contenido de SST/TA de T1 fue significativamente menor que en los demás. Este resultado sugiere que el menor índice de madurez apreciado en T1 podría relacionarse con el hecho de que en este invernadero se observan los porcentajes mas bajos de transmisión de radiación GLOBAL y PAR entre los cinco tratamientos contemplados en el proyecto (**Tabla III.9**). A su vez, en el resto de tratamientos, los valores medios de SST/TA fueron similares, coincidiendo también con porcentajes de transmisión de radiaciones GLOBAL y PAR muy semejantes entre ellos.

Baldwin *et al.* (1998) consideran que la relación entre los azúcares y la acidez es un buen indicador para el sabor y el aroma de los tomates, por lo tanto, los altos valores de °Brix y del cociente azúcares/ácidos en los frutos analizados de los cinco tratamientos de nuestro estudio durante dos años consecutivos, sugieren que bajo estas condiciones de estrés ambiental los frutos de tomate desarrollaron un sabor dulce y suave, lo cual conlleva a una mejor calidad y aceptación organoléptica por parte del consumidor.

De igual forma, y según la literatura científica podríamos establecer la hipótesis de que las temperaturas superiores que se registraron en T1 y T2 dieron lugar a un mayor dulzor en los frutos respecto al resto de tratamientos. Pero, como

se verá mas adelante, los valores más altos de acidez total que muestra T1, permiten explicar que en este tratamiento aparezca el menor índice de madurez, entre todos los analizados.

También se encontró que el número de racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,177}=35,2$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,27$ ) sobre los niveles de SST/TA. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación muy fuerte (aunque menor que con el tipo de tratamiento) entre número de racimo y los valores SST/TA. En este caso, el efecto del número de racimo sobre el contenido de SST/TA fue similar a lo encontrado para la variable °Brix (**Tabla IV.72**).

En la **Tabla IV.72**, se muestran las comparaciones dos a dos para el factor número de racimo.

**Tabla IV.72.** Diferencias medias en los valores SST/TA según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	<0,01	-2,51	-1,02
	8º	<0,01	-3,25	-1,76
4º racimo	8º	0,051	-1,48	0,00

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Aquí puede observarse que los niveles de SST/TA en el 2º racimo fueron significativamente inferiores respecto a los niveles 4º y 8º. Puede decirse que en general el cociente de SST/TA se incrementa a medida que aumenta el número de racimo.

#### IV.6.2. Acidez del tomate: pH y acidez titulable (AT)

Otros dos parámetros relacionados con la calidad del fruto de tomate son el pH y AT, responsables de su acidez que, junto con el contenido de azúcares determinan el sabor de fruto.

#### IV.6.2.1. pH

El pH de un vegetal constituye una medida de los protones cedidos al agua por parte de las especies con actividad ácida en la muestra. Viene determinado por la fuerza de los ácidos presentes y su valor depende más del tipo de ácido que de la concentración. En el caso de los productos vegetales, la mayoría de los ácidos que presentan son ácidos débiles, los cuales se disocian parcialmente en solución (Hernández-Yépez, 2013). De esta forma, los ácidos débiles afectan la acidez pero no tienen un efecto considerable sobre el pH (Barreiro y Sandoval, 2006).

Arana *et al.*, (2007) consideran que los tomates que presentan características óptimas en cuanto a sabor, textura y aroma, poseen un pH entre 4 y 5.

En el caso de tomate Brenda, tal y como se muestra en la **Tabla IV.73** podemos observar los estadísticos descriptivos para la variable pH (3,54-4,30), que sitúa a los frutos dentro de la categoría de alimentos ácidos, en el rango de 3,7 y 4,5, de acuerdo con la clasificación realizada por Corzo (1993).

Se confirmaron las apreciaciones realizadas anteriormente ya que la campaña afectó significativamente a los valores encontrados en el pH ( $F_{1,178}=313,8$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,63$ ), con un tamaño del efecto muy importante. Parece claro que los valores de pH se reducen de forma significativa en la segunda campaña respecto de la primera.

Además, se encontró que el tipo de tratamiento también influyó de forma de significativa ( $F_{4,175}=4,57$ ;  $p=0,002$ ;  $\omega^2=0,073$ ) sobre los niveles de pH. El tamaño del efecto encontrado mostró una asociación moderada entre el tipo de tratamiento y los valores pH encontrados.

**Tabla IV.73.** Características descriptivas de la variable pH de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=6)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	4,18 (0,09)	4,09 a 4,27	3,84 (0,05)	3,79 a 3,89
	4º	4,20 (0,04)	4,16 a 4,24	4,07 (0,04)	4,03 a 4,11
	8º	4,05 (0,18)	3,86 a 4,24	3,51 (0,10)	3,41 a 3,61
T2	2º	4,11 (0,03)	4,08 a 4,13	3,85 (0,01)	3,84 a 3,86
	4º	4,21 (0,04)	4,16 a 4,25	4,14 (0,07)	4,07 a 4,21
	8º	3,93 (0,11)	3,82 a 4,05	3,63 (0,07)	3,56 a 3,70
T3	2º	4,25 (0,04)	4,20 a 4,29	3,89 (0,01)	3,88 a 3,90
	4º	4,19 (0,07)	4,12 a 4,27	4,06 (0,05)	4,00 a 4,12
	8º	4,06 (0,03)	4,02 a 4,10	3,98 (0,10)	3,87 a 4,08
T4	2º	4,08 (0,04)	4,03 a 4,12	3,94 (0,04)	3,89 a 3,98
	4º	4,27 (0,04)	4,22 a 4,31	4,03 (0,08)	3,94 a 4,11
	8º	4,13 (0,04)	4,08 a 4,17	3,57 (0,05)	3,51 a 3,63
T5	2º	4,24 (0,05)	4,18 a 4,29	3,92 (0,02)	3,89 a 3,94
	4º	4,30 (0,06)	4,24 a 4,36	3,97 (0,04)	3,92 a 4,01
	8º	4,25 (0,06)	4,18 a 4,31	3,54 (0,04)	3,49 a 3,58

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=90 por campaña.

Según Malundo *et al.* (1995) al comparar tomates cultivados en invernadero y al aire libre no observaron diferencias significativas de pH entre ellos, y deducen que la aceptación del consumidor tiende a disminuir cuando se eleva la acidez respecto a una concentración fija de azúcar en el tomate.

Además, Gautier *et al.* (2008) en un estudio de tomate bajo condiciones de invernadero, evaluando la influencia de los factores ambientales radiación y temperatura sobre los frutos, no observaron diferencias significativas entre ellos y obtuvieron valores de pH similares a los de nuestro estudio.

En la **Tabla IV.74** se exponen las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Atendiendo solamente al efecto del tratamiento, se observaron valores de pH significativamente menores en T1 y T2 respecto a T3. El resto de comparaciones dos a dos no fueron significativas, mostrando muy poca variación en el pH.

**Tabla IV.74.** Diferencias medias en los valores pH según el tipo tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,00	1,00	-0,08	0,07
	T3	-0,10	<0,001	-0,17	-0,02
	T4	-0,02	1,00	-0,10	0,05
	T5	-0,06	0,31	-0,13	0,02
T2	T3	-0,09	0,01	-0,17	-0,02
	T4	-0,02	1,00	-0,10	0,05
	T5	-0,06	0,40	-0,13	0,02
T3	T4	0,07	0,09	-0,01	0,15
	T5	0,04	1,00	-0,04	0,11
T4	T5	-0,03	1,00	-0,11	0,04

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Los valores de pH observados se correlacionan inversamente con las radiaciones UVA ( $r=-0,3$ ,  $r^2=12,0\%$ ) y UVB ( $r=-0,4$ ,  $r^2=15,7\%$ ), lo que permite justificar que los tomates cultivados bajo los tratamientos T1 y T2 (con incrementos del porcentaje de transmisión superiores al 10%) muestren los valores más bajos de pH. Además considerando el efecto campaña se observa que al final del 2º periodo productivo, el porcentaje de transmisión de radiación UVA aumentó aun más en los tratamientos T1 y T2, en los que disminuye el pH respecto a la primera campaña. Respecto a UVB se aprecia un gran incremento al final de la segunda campaña en T2. Estos aumentos en los porcentajes de transmisión de radiaciones UVA y UVB en T1 y T2 y en la 2ª campaña vs la 1ª se correlacionaron con los menores valores de pH en los dos invernaderos y más aun durante el 2º periodo productivo. Es llamativo el hecho de encontrar en T5 altos porcentajes de transmisión para UVA y UVB sin que ello se corresponda con bajos valores de pH en los tomates cultivados bajo este material de cobertura (T5).

De acuerdo con Berbesí *et al.*, (2006) el incremento en el pH de T3 puede deberse al hecho de que existen según estos autores otros factores que ocasionan una disminución de la acidez del medio y con ello un aumento del pH, independientemente de las condiciones ambientales que afectan a cada tratamiento,

como por ejemplo el que los ácidos orgánicos de reserva presentes en las vacuolas de las células, sean transformados por la propia célula a azúcares que son utilizados para la respiración.

También se encontró que el número de racimo influía de forma significativa ( $F_{2,177}=91,41$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,50$ ) sobre los niveles de pH. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación igualmente muy fuerte entre el número de racimo y los valores pH.

Finalmente en la **Tabla IV.75**, se muestran las comparaciones dos a dos para el factor número de racimo. Están claras las diferencias en cuanto al pH encontrado en los racimos de diferentes niveles y se confirma lo apuntado anteriormente.

Los mayores pH se registraron en los racimos intermedios (4º racimo) y los pH menores en los racimos superiores (8º racimo).

**Tabla IV.75.** Diferencias medias en los valores pH según el nº de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	-0,12	<0,001	-0,17	-0,07
	8º	0,16	<0,001	0,11	0,21
4º	8º	0,28	<0,001	0,23	0,33

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Según Tsormpatsidis *et al.* (2011), en su estudio sobre el efecto de la radiación UV en frutos de fresa bajo diferentes condiciones de invernadero (UV transparente y UV opaco), de acuerdo con la posición en el racimo, no se observaron efectos de este tipo de radiación en el pH medido durante dos años de cultivo consecutivos.

Esto nos puede llevar a plantear la hipótesis de que la posición de los frutos de tomate en el racimo podría estar más influenciada por otros factores ambientales, como la temperatura, que por el tipo de radiación debido a la estrecha correlación que existe entre ambos parámetros.

## IV.6.2.2. Acidez titulable (AT)

La acidez es uno de los principales parámetros de calidad físico-química más comúnmente determinado en los productos vegetales y viene definida por la presencia de diversos ácidos orgánicos, principalmente: cítrico, málico, tartárico, oxálico, fórmico, entre otros, en proporciones variables.

La acidez en el tomate, según señala Cantwell (2004), como valor aceptable está comprendida entre 0,2 y 0,6% de ácido cítrico.

Los valores obtenidos de acidez titulable en las muestras analizadas se encuentran dentro del rango anterior y se muestran (estadísticos descriptivos) en la **Tabla IV.76**.

**Tabla IV.76.** Características descriptivas de la variable AT (% ácido cítrico  $g^{-1}$  PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=6)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,52 (0,09)	0,43 a 0,60	0,47 (0,07)	0,40 a 0,54
	4º	0,46 (0,05)	0,41 a 0,50	0,46 (0,02)	0,43 a 0,48
	8º	0,55 (0,06)	0,49 a 0,62	0,45 (0,06)	0,39 a 0,51
T2	2º	0,45 (0,04)	0,40 a 0,50	0,47 (0,03)	0,43 a 0,50
	4º	0,42 (0,03)	0,39 a 0,45	0,49 (0,10)	0,39 a 0,59
	8º	0,44 (0,06)	0,38 a 0,5	0,38 (0,03)	0,35 a 0,41
T3	2º	0,39 (0,04)	0,34 a 0,44	0,43 (0,01)	0,42 a 0,44
	4º	0,37 (0,03)	0,33 a 0,41	0,38 (0,01)	0,36 a 0,39
	8º	0,31 (0,03)	0,28 a 0,35	0,4 (0,03)	0,38 a 0,43
T4	2º	0,40 (0,03)	0,37 a 0,43	0,38 (0,03)	0,35 a 0,41
	4º	0,36 (0,03)	0,33 a 0,39	0,42 (0,06)	0,35 a 0,48
	8º	0,39 (0,03)	0,36 a 0,42	0,36 (0,06)	0,30 a 0,42
T5	2º	0,40 (0,04)	0,35 a 0,44	0,38 (0,02)	0,35 a 0,40
	4º	0,38 (0,02)	0,36 a 0,40	0,41 (0,03)	0,37 a 0,45
	8º	0,38 (0,04)	0,33 a 0,43	0,38 (0,02)	0,36 a 0,39

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=90 por campaña.

La campaña afectó de forma significativa a los valores encontrados en la acidez ( $F_{1,178}=5,90$ ;  $p=0,026$ ;  $\omega^2=0,027$ ). El tamaño del efecto es bajo y por tanto la AT es sólo moderadamente dependiente de la campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,175}=29,56$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,39$ ) sobre los niveles de AT. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación alta entre el tipo de tratamiento y los valores de AT encontrados.

En la **Tabla IV.77** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Para el efecto del tratamiento, se encontró que los valores obtenidos en T1 fueron significativamente mayores a los demás tratamientos. A su vez, los valores de acidez encontrados en T2 también fueron significativamente mayores respecto a T3, T4 y T5. Entre estos tres tratamientos no se observaron diferencias significativas. En este sentido podrían hacerse tres grupos: por un lado T1 con los valores más altos de acidez, por otro T2 con valores inferiores a T1 y por último un tercer grupo con T3, T4 y T5 que representarían a los valores más bajos de acidez (**Tabla IV.77**).

**Tabla IV.77.** Diferencias medias en los valores de AT según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,041	0,005	0,009	0,074
	T3	0,103	<0,001	0,070	0,135
	T4	0,098	<0,001	0,065	0,130
	T5	0,097	<0,001	0,064	0,129
T2	T3	0,061	<0,001	0,029	0,094
	T4	0,056	<0,001	0,024	0,089
	T5	0,055	<0,001	0,023	0,088
T3	T4	-0,005	0,993	-0,038	0,028
	T5	-0,006	0,988	-0,038	0,027
T4	T5	-0,001	1,000	-0,033	0,032

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

También se halló que el número del racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,177}=3,07$ ;  $p=0,049$ ;  $\omega^2=0,022$ ) sobre los niveles de AT, aunque está en el límite de la significación estadística, y el tamaño de efecto fue relativamente bajo.

En la **Tabla IV.78** se muestran las comparaciones dos a dos para el factor número del racimo. Como se vio anteriormente, este factor mostró ser significativo pero con un tamaño del efecto relativamente bajo, se confirma que sólo se encontraron diferencias significativas entre el 2º y el 8º racimo. Los valores de acidez, en general y sin atender al tipo de tratamiento, son mayores en los racimos inferiores que en los superiores (**Tabla IV.78**).

**Tabla IV.78.** Diferencias medias en los valores AT según el nº de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,013	0,313	-0,008	0,035
	8º	0,022	0,039	0,001	0,044
4º	8º	0,009	0,575	-0,012	0,031

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Existen evidencias científicas de que el contenido de AT no se ve afectado por la intensidad de radiación PAR directamente incidente en frutos de tomate (Gautier *et al.*, 2005).

Sin embargo nuestros resultados muestran una fuerte correlación inversa entre la radiación PAR transmitida y los valores de AT de los frutos ( $r=-0,5$  y  $r^2=25,6\%$ ). De este modo se aprecian los valores más altos de AT en T1 y T2 (y menores valores de PAR en estos invernaderos). Esta correlación se pone de manifiesto con más potencia en los 8º racimos ( $r=-0,7$  y  $r^2=47,2\%$ ).

En un estudio con tomate de invernadero, Riga *et al.* (2008) bajo condiciones experimentales de luz (radiación PAR) y temperatura, afirmaron que pH y AT fueron más dependientes de la temperatura diaria acumulada que de la radiación PAR recibida, sugiriendo que los frutos de tomate en invernadero eran de similar calidad bajo condiciones de radiación PAR (50-70%) que la proporcionada por la luz solar natural.

Por tanto, según nuestros resultados en AT y visto el comportamiento de las variables anteriores es lógico encontrarnos con que los frutos de T1 y T2 fueron más ácidos y por tanto, con un menor pH en relación a los otros tratamientos y más dulces, lo cual viene justificado por la influencia sobre las diferentes variables analizadas de las elevadas temperaturas registradas en ambos tratamientos y que los hacen diferentes a T3, T4 y T5 que comparten unas temperaturas inferiores y homogéneas entre ellos.

#### IV.6.3. Conductividad eléctrica (CE)

La CE o también conocida como salinidad mide la concentración total de nutrientes y se considera uno de los aspectos más importantes para determinar el rendimiento del tomate y la calidad del fruto. Se sabe que la salinidad incrementa las concentraciones de azúcares y ácidos, lo cual mejora la calidad organoléptica de los frutos (Auerswald *et al.*, 1999).

El hecho de que la respuesta a la salinidad dependa de la variedad, estado de maduración, factores climáticos, sistemas de irrigación del cultivo, entre otros (Magán *et al.*, 2008; Al-Yahyai *et al.*, 2010) nos permite obtener un rango de valores para la CE en los productos vegetales. En lo que concierne a los datos de CE, en la **Tabla IV.79** se muestran los estadísticos descriptivos para esta variable, siendo algo superiores al rango óptimo que consideran ciertos autores (Iglesias *et al.*, 2015).

Se ha demostrado que la campaña afectó significativamente a los valores encontrados en la conductividad eléctrica ( $F_{1,178}=332,99$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,65$ ), y de forma importante con un tamaño del efecto muy grande. Por tanto, en los siguientes análisis se incluirá como co-variable.

**Tabla IV.79.** Características descriptivas de la variable conductividad eléctrica (mS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=6)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	7,40 (0,67)	6,69 a 8,10	8,02 (0,54)	7,45 a 8,59
	4º	7,06 (0,30)	6,75 a 7,38	8,38 (0,30)	8,06 a 8,70
	8º	7,17 (0,28)	6,87 a 7,47	7,80 (0,31)	7,47 a 8,13
T2	2º	6,63 (0,25)	6,36 a 6,90	7,57 (0,24)	7,32 a 7,83
	4º	6,97 (0,26)	6,69 a 7,25	8,38 (0,69)	7,65 a 9,10
	8º	7,29 (0,33)	6,94 a 7,64	7,31 (0,34)	6,96 a 7,66
T3	2º	6,49 (0,27)	6,20 a 6,77	7,65 (0,07)	7,58 a 7,72
	4º	6,14 (0,28)	5,84 a 6,44	7,28 (0,25)	7,01 a 7,55
	8º	5,98 (0,33)	5,63 a 6,33	7,61 (0,33)	7,26 a 7,95
T4	2º	5,96 (0,40)	5,54 a 6,38	7,61 (0,50)	7,08 a 8,13
	4º	6,13 (0,34)	5,72 a 6,53	8,56 (0,43)	8,10 a 9,01
	8º	5,72 (0,19)	5,52 a 5,93	7,00 (0,48)	6,50 a 7,50
T5	2º	5,94 (0,35)	5,56 a 6,31	7,65 (0,35)	7,29 a 8,00
	4º	6,08 (0,24)	5,83 a 6,33	7,88 (0,31)	7,55 a 8,20
	8º	5,65 (0,33)	5,30 a 5,99	6,66 (0,38)	6,26 a 7,07

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=90 por campaña.

También se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,175}=29,51$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,39$ ) sobre los niveles de conductividad eléctrica. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación alta entre el tipo de tratamiento y los valores conductividad eléctrica encontrados.

En la **Tabla IV.80** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de invernadero con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Para el efecto del tratamiento, se halló que los valores obtenidos en T1 y T2 fueron significativamente mayores respecto a T3, T4 y T5. Entre estos tres tratamientos no se observaron diferencias significativas. En este sentido podrían

hacerse dos grupos: por un lado T1 y T2 con los valores más altos de CE y por otro, los tratamientos 3, 4 y 5 con los valores más bajos (**Tabla IV.80**).

**Tabla IV.80.** *Diferencias medias en los valores conductividad eléctrica según el tipo de tratamiento.*

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,278	0,110	-0,030	0,586
	T3	0,779	<0,001	0,471	1,087
	T4	0,808	<0,001	0,500	1,116
	T5	0,995	<0,001	0,687	1,303
T2	T3	0,501	<0,001	0,193	0,809
	T4	0,530	<0,001	0,222	0,838
	T5	0,717	<0,001	0,409	1,025
T3	T4	0,029	1,000	-0,279	0,337
	T5	0,216	0,475	-0,092	0,524
T4	T5	0,187	0,860	-0,121	0,495

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

También se encontró que el número de racimo influía de forma significativa ( $F_{2,177}=15,58$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,14$ ) sobre los niveles de CE. El tamaño del efecto también es importante en este caso.

En la **Tabla IV.81**, se muestran las comparaciones dos a dos para el factor nivel del racimo. Como se vio anteriormente, este factor mostró ser significativo y se encontraron diferencias en la conductividad entre los tres niveles. Sin embargo, dado que la interacción entre el tipo de tratamiento y los niveles del racimo es importante, no puede establecerse una única tendencia.

A modo de resumen, para la conductividad eléctrica parecen estar tres cuestiones claras: la primera es que se observa un descenso en la conductividad desde T1 a T5, la segunda, que las diferencias entre niveles son desiguales en función del tipo de tratamiento y la última, que durante el segundo ciclo de cultivo se observa un claro aumento de la CE respecto de la observada en el primero.

**Tabla IV.81.** Diferencias medias en los valores conductividad eléctrica según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	-0,195	0,063	-0,398	0,008
	8º	0,271	0,004	0,068	0,474
4º	8º	0,466	<0,001	0,263	0,669

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Según el análisis de correlación lineal (r-Pearson) entre los tres tipos de radiación (PAR, UVA y UVB) y la CE, se observó una relación directa entre esta variable y las radiaciones UVA ( $r=0,4$  y  $r^2=19,3\%$ ) y UVB ( $r=0,5$  y  $r^2=27,7\%$ ). Esta correlación se pone especialmente de manifiesto en muestras de tomates recolectadas del 4º racimo, que es donde se aprecian los valores mas elevados de CE en la mayoría de tratamientos.

Consecuentemente T1 y T2 mostraron los mayores valores de CE y de radiación UVA a final de la 2ª campaña (**Tabla IV.19**), respecto al resto de tratamientos (en T5 no existe correspondencia de altos valores de UVA con elevada CE). Además, esta correlación se pone de manifiesto con más fuerza en los 4º racimos, que es donde T2 muestra los valores superiores.

Por otro lado, hay estudios que han demostrado que la calidad del fruto mejora significativamente con el incremento de la salinidad; Magán *et al.* (2008) observaron que el contenido de SST y la AT aumentó de forma lineal a mayor CE en tomates crecidos en invernadero. Este hecho coincide con lo observado en nuestros resultados ya que fueron T1 y T2 donde se obtuvieron los frutos con mayor contenido en ambos atributos sensoriales (SST y AT) respecto al resto de tratamientos.

En conclusión, podríamos seguir manteniendo la hipótesis de que tanto la radiación UVA como la temperatura son dos factores influyentes de forma positiva que permiten obtener frutos de una elevada calidad organoléptica de cara al consumidor.

#### IV.6.4. Jugosidad

La jugosidad es otra propiedad organoléptica del tomate, que se ha correlacionado con el contenido de azúcares reductores, en particular la glucosa (Bucheli *et al.* 1999) y es otro parámetro de los que más inciden en considerar que un tomate está en su calidad comercial.

En la **Tabla IV.82** se muestran los estadísticos descriptivos para la variable jugosidad, donde podemos apreciar unos valores óptimos de acuerdo con su estado de madurez.

La campaña afectó de forma significativa a los valores encontrados en la jugosidad ( $F_{1,238}=64,99$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,26$ ). El tamaño del efecto es elevado y por tanto la jugosidad es altamente dependiente de la campaña.

**Tabla IV.82.** Características descriptivas de la variable jugosidad (%) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=6)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	61,7 (1,9)	59,7 a 63,6	65,4 (1,5)	63,8 a 67,0
	4º	47,6 (2,4)	45,1 a 50,2	62,8 (1,3)	61,4 a 64,2
	8º	65,6 (2,0)	63,6 a 67,7	67,2 (2,2)	64,8 a 69,5
T2	2º	65,0 (5,7)	59,0 a 71,0	64,2 (0,8)	63,3 a 65,0
	4º	48,2 (3,2)	44,8 a 51,6	61,3 (2,9)	58,2 a 64,4
	8º	64,2 (1,2)	62,9 a 65,4	65,0 (1,8)	63,1 a 66,9
T3	2º	60,0 (4,8)	55,0 a 65,0	64,8 (2,0)	62,8 a 66,9
	4º	48,4 (4,9)	43,2 a 53,5	64,2 (1,0)	63,1 a 65,3
	8º	66,8 (2,0)	64,6 a 68,9	63,6 (2,0)	61,4 a 65,7
T4	2º	68,0 (5,2)	62,5 a 73,5	67,3 (1,6)	65,5 a 69,0
	4º	50,1 (1,8)	48,3 a 52,0	70,0 (1,2)	68,8 a 71,2
	8º	63,3 (7,0)	56,0 a 70,6	67,1 (1,7)	65,3 a 68,9
T5	2º	68,9 (4,2)	64,5 a 73,3	68,0 (1,0)	66,9 a 69,1
	4º	48,9 (2,0)	46,8 a 51,0	69,3 (1,4)	67,8 a 70,7
	8º	66,4 (2,7)	63,6 a 69,3	64,6 (2,1)	62,4 a 66,8

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=120 por campaña.

El tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,235}=3,55$ ;  $p=0,008$ ;  $\omega^2=0,054$ ) sobre los niveles de jugosidad. Sin embargo, aunque las diferencias son significativas, el tamaño del efecto es moderado.

En la **Tabla IV.83** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Cuando se compararon los tratamientos entre sí, ninguno de ellos difería en cuanto a los valores de jugosidad. Esta aparente contracción (el factor tratamiento mostró significación) ocurre porque en estas comparaciones sólo se analizan las medias según el tratamiento, independientemente de los otros factores. Puesto que el tamaño del efecto del factor tratamiento fue relativamente pequeño y la potencia del análisis estadístico grande (86%) podemos concluir que los niveles de jugosidad no se ven afectados de forma clara por el tipo de tratamiento.

**Tabla IV.83.** Diferencias medias en los valores jugosidad según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,416	1,000	-2,988	3,821
	T3	0,440	1,000	-2,965	3,844
	T4	-2,581	0,324	-5,986	0,823
	T5	-2,632	0,292	-6,036	0,773
T2	T3	0,024	1,000	-3,381	3,428
	T4	-2,997	0,132	-6,402	0,407
	T5	-3,048	0,118	-6,452	0,357
T3	T4	-3,021	0,125	-6,425	0,384
	T5	-3,071	0,111	-6,476	0,333
T4	T5	-0,051	1,000	-3,455	3,354

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

También se encontró que el nivel del racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,237}=53,04$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,37$ ) sobre los niveles de jugosidad. En este caso la asociación entre la jugosidad y el nivel del racimo es muy alta.

En la **Tabla IV.84**, se muestran las comparaciones dos a dos para el factor número de racimo sin tener en cuenta el tipo de tratamiento, podemos observar como se confirma lo apuntado más arriba. Existe una clara diferencia entre los niveles de jugosidad entre el 2º y 8º racimo, respecto al 4º, en especial en la primera campaña.

**Tabla IV.84.** Diferencias medias en los valores jugosidad según el nº de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	<0,001	6,000	10,484
	8º	1,000	-2,290	2,193
4º	8º	<0,001	-10,532	-6,049

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Como se ha comentado, los racimos inferiores y superiores mostraron una jugosidad similar, más estable en cuanto al tratamiento para el 8º racimo y más fluctuante para el 2º racimo. Los valores de jugosidad para los racimos intermedios fueron claramente inferiores a los otros niveles.

En la literatura científica hay estudios similares relacionados con estos dos parámetros de calidad (CE y jugosidad). Anza *et al.* (2006) con tomates bajo cultivo hidropónico llegaron a la conclusión de que ni la radiación PAR ni la temperatura influyen en la jugosidad del fruto. Riga *et al.* (2008) analizan, en tomates de invernadero, si la calidad del tomate está más influenciada por la temperatura o por la radiación PAR y encontraron una correlación positiva entre la temperatura y la CE del tomate. Esto sugiere que la acumulación de iones en el tomate podría ser dependiente no sólo de la transpiración sino también de procesos fisiológicos que se ven afectados por la temperatura.

Con ello, nuestros resultados podrían ser explicados planteando la idea de que la variable CE sigue la misma tendencia que las anteriores variables citadas pudiendo ser la elevada temperatura (**Figura IV.31A**), la responsable de una mayor salinidad de los frutos de T1 y T2, pero no existen evidencias científicas suficientes (al no existir diferencias significativas en la jugosidad de los tomates cultivados en

estos dos invernaderos versus el resto de tratamientos) para poder establecer un efecto positivo de la temperatura con una mayor jugosidad de los frutos.

#### IV.6.5. Firmeza

La firmeza es un parámetro indicativo de la calidad externa de los tomates frescos y procesados y está relacionada con la estructura de la pared celular y con el estado de madurez, su determinación es fundamental para aceptabilidad por parte del consumidor. Depende de la turgencia, cohesión, forma y tamaño de las células que conforman la pared celular, la presencia de tejidos de sostén o soporte y de la composición del fruto.

Los componentes de las paredes celulares que contribuyen a la firmeza son la hemicelulosa, la celulosa y la pectina (Hernández-Yépez, 2013).

A continuación, en la **Tabla IV.85** se muestran las características descriptivas para firmeza dentro de un rango de valores normales (2,09-4,38 Kg cm<sup>-2</sup>) según su punto de madurez (Riga *et al.*, 2008).

La campaña afectó de forma significativa a los valores encontrados en el firmeza ( $F_{1,238}=392,52$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,62$ ). El tamaño del efecto es muy grande y por tanto la firmeza es altamente dependiente de la campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento también influyó de forma de significativa ( $F_{4,235}=3,67$ ;  $p<0,006$ ;  $\omega^2=0,043$ ) sobre los niveles de firmeza. Sin embargo, aunque las diferencias son significativas, el tamaño del efecto es moderado.

**Tabla IV.85.** Características descriptivas de la variable firmeza ( $\text{Kg cm}^{-2}$ ) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=8)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	4,38 (0,68)	3,81 a 4,94	2,64 (0,28)	2,40 a 2,87
	4º	3,76 (0,34)	3,47 a 4,04	2,58 (0,60)	2,08 a 3,08
	8º	3,21 (0,81)	2,53 a 3,89	2,75 (0,70)	2,16 a 3,33
T2	2º	4,05 (0,54)	3,59 a 4,51	2,70 (0,46)	2,31 a 3,09
	4º	3,79 (0,39)	3,46 a 4,11	2,41 (0,23)	2,22 a 2,60
	8º	3,78 (0,47)	3,39 a 4,18	2,69 (0,31)	2,43 a 2,95
T3	2º	3,63 (0,40)	3,29 a 3,96	2,37 (0,24)	2,17 a 2,56
	4º	3,52 (0,41)	3,17 a 3,87	2,68 (0,29)	2,44 a 2,93
	8º	3,27 (0,70)	2,68 a 3,86	2,35 (0,37)	2,04 a 2,65
T4	2º	3,58 (0,36)	3,28 a 3,87	2,28 (0,22)	2,10 a 2,46
	4º	3,34 (0,32)	3,08 a 3,61	2,34 (0,51)	1,92 a 2,77
	8º	4,21 (0,42)	3,86 a 4,57	2,59 (0,42)	2,24 a 2,94
T5	2º	3,59 (0,24)	3,39 a 3,78	2,53 (0,14)	2,42 a 2,64
	4º	3,11 (0,44)	2,74 a 3,47	2,09 (0,30)	1,84 a 2,34
	8º	4,05 (0,55)	3,59 a 4,51	2,52 (0,37)	2,21 a 2,83

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=120 por campaña.

En la **Tabla IV.86** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Sólo se encontró una diferencia estadísticamente significativa entre la firmeza de T2 y T3. Entre el resto de tratamientos no se encontraron diferencias significativas (**Tabla IV.86**).

Existe una relación inversa (r-Pearson) entre las radiaciones PAR, UVA y UVB y la firmeza ( $r=-0,3$  y  $r^2=12\%$ ;  $r=-0,4$  y  $r^2=16\%$ ;  $r=-0,5$  y  $r^2=22\%$ ), lo que sugiere que los frutos más firmes se obtuvieron en los tomates cultivados durante la primera campaña, al recibir en ella un menor porcentaje de transmisión de las citadas radiaciones, respecto al segundo periodo de cultivo. Esta diferencia se

aprecia en todos los tratamientos, mostrando diferente firmeza solo los tomates cultivados en T2 (que tiene uno de los menores porcentajes de transmisión de radiación PAR) respecto al resto de tratamientos. Todo ello sugiere que el efecto de las radiaciones sobre la firmeza es escaso, como muestra la ausencia de diferencias significativas entre la mayor parte de los tratamientos.

**Tabla IV.86.** Diferencias medias en los valores firmeza según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-0,019	1,000	-0,287	0,248
	T3	0,249	0,088	-0,018	0,517
	T4	0,159	0,926	-0,108	0,427
	T5	0,236	0,130	-0,031	0,504
T2	T3	0,269	0,048	0,001	0,536
	T4	0,179	0,598	-0,089	0,446
	T5	0,255	0,073	-0,012	0,523
T3	T4	-0,090	1,000	-0,358	0,178
	T5	-0,013	1,000	-0,281	0,254
T4	T5	0,077	1,000	-0,191	0,344

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

La pérdida de firmeza y el daño del fruto de tomate como consecuencia de unos niveles intensos de luz PAR pueden ser debidos probablemente al aumento de la temperatura del fruto ya que esta variable tiene una influencia directa sobre el metabolismo (Riga *et al.*, 2008), e indirectamente afecta a la estructura celular y a otros componentes que determinan la textura del fruto (Adegoroye *et al.*, 1987; Sams, 1999).

Respecto a lo aportado por otros autores, Casierra-Posada *et al.* (2010) observaron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en la firmeza de frutos cultivados bajo la influencia de una pantalla térmica plástica; y encontraron que los frutos

cosechados bajo este tipo de cobertura fueron más firmes en un 5% con respecto a su testigo.

Callejón-Ferre *et al.* (2009) y Kenig *et al.* (2002) utilizaron cubiertas aluminizadas con diferente porcentaje de sombreo (40, 50 y 60%) en las horas de la noche durante el invierno y el otoño (evitando las pérdidas de radiación infrarroja de onda larga), y en el verano durante el día (reduciendo la radiación). Los resultados indicaron que los frutos cosechados en plantas expuestas a un sombreo del 60% presentaron diferencias altamente significativas en cuanto a firmeza. Los tomates más firmes, fueron aquellos expuestos a mayor porcentaje de sombra.

En base a esta contribución científica, se podría sugerir que la radiación no influye en la firmeza del fruto, pero sí la temperatura ya que según nuestros resultados fue T2, el tratamiento definido como térmico el que reunió dichas condiciones para favorecer el desarrollo de unos frutos más firmes, como muestran los resultados.

También se encontró que el número de racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,237}=4,85$ ;  $p<0,009$ ;  $\omega^2=0,031$ ) sobre los niveles de firmeza. Al igual que ocurría con el tipo de tratamiento el tamaño del efecto es moderado.

En la **Tabla IV.87**, se muestran las comparaciones dos a dos para el factor nivel del racimo sin tener en cuenta el tipo de tratamiento, podemos observar que la firmeza parece mayor en el 2º racimo, seguido del 8º racimo y una menor firmeza en los racimos intermedios.

**Tabla IV.87.** Diferencias medias en los valores firmeza según el nº de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,211	0,013	0,034	0,387
	8º	0,031	1,000	-0,145	0,207
4º	8º	-0,180	0,044	-0,356	-0,004

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Resulta complicado establecer un patrón claro con este parámetro pero puede decirse que el efecto del tratamiento en la firmeza, aunque significativo no está demasiado definido. Que en general y salvo las particularidades apuntadas, la firmeza parece ser mayor en los 2º y 8º racimos respecto a los intermedios. Finalmente, la campaña afecta claramente a los valores de firmeza: los tomates de la segunda campaña perdieron firmeza respecto a los de la primera, independientemente del número del racimo y del tratamiento.

Dussi *et al.* (2005), evaluaron el efecto de sombreado en manzana utilizando dos tipos de malla: 15 y 55% de reducción de luz, y no hubo diferencias significativas en cuanto a la firmeza, sin embargo, los frutos recolectados en las partes inferiores de las plantas, donde la luz fue menos directa, fueron más firmes.

Esto corrobora lo analizado en nuestros resultados donde se vio que los 2º racimos fueron los que obtuvieron los frutos mas firmes y nos permite seguir manteniendo la hipótesis de que este parámetro no se ve afectado apenas por la radiación, pro sí por la temperatura.

#### IV.6.6. Color

Junto con el sabor y la textura, el color es otro aspecto principal para la aceptación de un alimento. Se trata de una propiedad óptica que nos permite evaluar de forma rigurosa y científica para definir y clasificar el color de frutas y hortalizas.

El cambio de color es el signo externo más evidente de la maduración y se debe, en primera instancia, a la degradación de la clorofila (desaparición del color verde) y a la síntesis de los pigmentos específicos de la especie. Cuanto más avanzada es la madurez más se intensifica el color rojo del tomate, reduciéndose la vida comercial poscosecha (FAO, 2011).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos de América (USDA) realiza una clasificación de los grados de madurez del tomate según el color que éste presenta, en 6 categorías que son: 1) verde: superficie del tomate completamente verde, con una tonalidad de claro a oscuro; 2) rompiente: hay una ruptura del color verde hasta un color amarillo-marrón, rosado o rojo, en no más del 10% de la superficie; 3) transición: del 10 al 30% de la superficie no es verde,

mostrando una coloración amarillo-marrón, rosado o rojo, o una combinación de éstas; 4) rosado: del 30 al 60% de la coloración ya no es verde, mostrando un color rosado o rojo; 5) rojo ligero: del 60 al 90% de la superficie no es verde y muestra una coloración rojo-rosado o roja; y 6) rojo: más del 90% de la superficie no es verde, mostrando un color rojo (USDA, 1991).

Según esto, los frutos de nuestro estudio podrían clasificarse en un grado de madurez entre rosado y rojo ligero.

#### *IV.6.6.1. Coordenada $a^*$*

El parámetro  $a^*$  indica el componente rojo-verde en la muestra analizada, bajo las condiciones establecidas por el sistema CIELAB, donde el rojo representa los valores positivos como consecuencia de la presencia de pigmentos rojos (principalmente licopeno), y el verde los valores negativos.

En la **Tabla IV.88** se muestran los estadísticos descriptivos para esta variable, los cuales sitúan al fruto de tomate respecto a la coordenada  $a^*$  en un estado de madurez óptimo para el consumidor.

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en el coordenada  $a^*$  ( $F_{1,238}=16,46$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,061$ ), con un tamaño del efecto moderado. Los valores de coordenada  $a^*$  aumentan de forma significativa en la segunda campaña respecto de la primera.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,235}=6,87$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,089$ ) sobre los niveles de coordenada  $a^*$ . El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderado-alto.

**Tabla IV.88.** Características descriptivas para la variable coordinada  $a^*$  de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=8)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	14,3 (1,9)	12,8 a 15,9	20,0 (1,2)	19,0 a 21,0
	4º	18,3 (1,9)	16,7 a 19,9	21,8 (2,3)	19,9 a 23,8
	8º	22,8 (3,4)	19,9 a 25,7	19,4 (1,3)	18,3 a 20,5
T2	2º	15,2 (1,5)	14,0 a 16,5	20,3 (1,4)	19,2 a 21,5
	4º	16,5 (2,1)	14,7 a 18,3	24,5 (2,0)	22,8 a 26,2
	8º	21,0 (1,7)	19,6 a 22,4	21,2 (1,3)	20,1 a 22,3
T3	2º	16,1 (1,1)	15,2 a 17,1	20,1 (1,0)	19,3 a 20,9
	4º	14,6 (2,1)	12,8 a 16,4	18,2 (1,8)	16,7 a 19,7
	8º	17,6 (3,6)	14,5 a 20,6	16,3 (1,4)	15,1 a 17,4
T4	2º	23,5 (1,4)	22,4 a 24,7	18,8 (0,7)	18,1 a 19,4
	4º	13,8 (1,3)	12,7 a 14,9	20,5 (1,0)	19,6 a 21,4
	8º	24,5 (1,2)	23,4 a 25,5	18,3 (1,2)	17,3 a 19,3
T5	2º	16,5 (1,2)	15,5 a 17,6	18,9 (1,4)	17,7 a 20,1
	4º	13,4 (0,5)	13,0 a 13,8	20,7 (1,5)	19,4 a 22,0
	8º	24,7 (2,1)	22,9 a 26,4	17,7 (0,6)	17,2 a 18,2

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=120 por campaña.

En la **Tabla IV.89** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Atendiendo solamente al efecto del tratamiento, sin tener en cuenta el número de racimo, se encontró que T1, T2 y T4 mostraron unos valores superiores a los de T3. Sin embargo, entre el resto de posibles comparaciones no se encontró diferencia alguna.

Se encontró una correlación directa ( $r=0,4$  y  $r^2=19,7\%$ ) entre la radiación UVA y la coordenada  $a^*$  de forma que T1, T2 desarrollaron frutos mas rojos debido a la producción de carotenoides al recibir un porcentaje más elevado de este tipo de radiación respecto a los otros dos tratamientos estudiados. Sin embargo en T5, pese a mostrar un alto porcentaje de transmisión de radiación UVA, no se aprecian valores de  $a^*$  elevados.

**Tabla IV.89.** Diferencias medias en los valores coordenada  $a^*$  según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-0,35	1,000	-2,09	1,40
	T3	2,31	0,002	0,56	4,05
	T4	-0,44	1,000	-2,19	1,30
	T5	0,80	1,000	-0,95	2,54
T2	T3	2,66	0,000	0,91	4,40
	T4	-0,10	1,000	-1,84	1,65
	T5	1,14	0,646	-0,60	2,89
T3	T4	-2,75	<0,001	-4,50	-1,01
	T5	-1,51	0,148	-3,26	0,23
T4	T5	1,24	0,451	-0,50	2,99

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En cuanto a T4, los valores elevados de  $a^*$  se podrían explicar en base a la correlación existente entre este parámetro y la radiación UVB ( $r=0,5$  y  $r^2=21\%$ ) ya que los frutos de este tratamiento también fueron los más coloreados (junto con los de T1, T2) y recibieron el mayor incremento en el porcentaje transmitido de UVB al final de la segunda campaña.

Centrando la atención el efecto de la radiación, Tsormpatsidis *et al.* (2011) reportaron un incremento en  $a^*$  medido en fresas crecidas bajo filmes transparentes a la radiación UV en comparación a aquellas desarrolladas bajo cubiertas opacas a dicha radiación. Esto coincide con lo expuesto en nuestros resultados ya que el parámetro  $a^*$  fue superior en T1, que es el tratamiento más permeable a la radiación UVA, y en T2, cuya pérdida de opacidad aumentó hasta un 15% al final de campaña, lo cual permitió en ambos casos una mayor transmisión de este tipo de radiación al interior del invernadero de forma muy acusada respecto a otros tipos de radiaciones filtradas, debido a la pérdida de sus propiedades ópticas propias del envejecimiento de los materiales de cubierta.

También se encontró que el número de racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,237}=12,26$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,086$ ) sobre los niveles de coordenada  $a^*$ . El tamaño del

efecto encontrado muestra una asociación igualmente moderada-alta entre nivel del racimo y los valores coordenada a\* (**Tabla IV.90**).

**Tabla IV.90.** *Diferencias medias en los valores coordenada a\* según el n° de racimo.*

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	1,000	-1,00	1,30
	8º	<0,001	-3,11	-0,81
4º	8º	<0,001	-3,27	-0,97

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Para el efecto del racimo, se encontró que en el 8º racimo la coordenada a\* fue superior a los otros dos niveles.

A la vista de nuestros resultados, podemos concluir diciendo que durante la segunda campaña, los frutos del 8º racimo de los cinco tratamientos resultaron tener una mayor coloración, siendo los valores de este parámetro más homogéneos entre los diferentes racimos, durante el primer año de cultivo.

Sin embargo, Tsormpatsidis *et al.*, 2011 observaron que frutos con el mismo orden en el racimo y con la misma edad cronológica en el tiempo de recolección, bajo filmes opacos a la radiación UV, lograron un valor de a\*, de un 13-20% más comparado con los frutos crecidos bajo filmes opacos a dicha radiación.

En tomate Brenda, se vieron estas diferencias en cuanto al número de racimo en los distintos tratamientos dándose la coincidencia de que aquellos tratamientos menos opacos a la radiación UVA (T1 y T2) junto con T4 en menor medida, lograron frutos con mayor coloración roja en los racimos superiores en comparación con T3 el cual se caracteriza por su capacidad antiUVA y por tanto su opacidad a este tipo de radiación evitándose así su paso al interior del invernadero. De ello podemos deducir que la radiación UVA podría tener un efecto positivo sobre la coloración roja de los frutos de tomate en los racimos superiores.

IV.6.6.2. *Coordenada b\**

El parámetro  $b^*$  define el componente amarillo-azul presente en una muestra, donde el azul representa los valores negativos y el amarillo los valores positivos, consecuencia de la presencia de pigmentos amarillos (xantofilas) según las condiciones establecidas por la carta de color.

En la **Tabla IV.91** podemos observar los datos descriptivos obtenidos para esta variable, lo cual confirma el desarrollo de dichos pigmentos (xantofilas) en los frutos de tomate de nuestro estudio.

**Tabla IV.91.** Características descriptivas para la variable coordenada  $b^*$  de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=8)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	12,5 (0,9)	11,7 a 13,2	16,9 (1,5)	15,6 a 18,2
	4º	13,2 (0,6)	12,7 a 13,8	17,8 (1,8)	16,3 a 19,3
	8º	18,3 (3,2)	15,6 a 20,9	14,5 (1,0)	13,7 a 15,3
T2	2º	12,5 (0,8)	11,8 a 13,2	17,5 (1,3)	16,4 a 18,6
	4º	12,4 (1,2)	11,4 a 13,3	17,7 (1,4)	16,5 a 18,9
	8º	13,8 (1,9)	12,2 a 15,4	16,3 (1,3)	15,2 a 17,4
T3	2º	13,3 (1,3)	12,2 a 14,3	17,2 (2,1)	15,4 a 18,9
	4º	12,3 (2,0)	10,6 a 13,9	14,5 (0,6)	14,0 a 15,0
	8º	12,9 (2,1)	11,2 a 14,7	14,1 (1,5)	12,9 a 15,4
T4	2º	20,4 (2,9)	18,0 a 22,9	16,6 (1,4)	15,4 a 17,8
	4º	12,4 (1,1)	11,5 a 13,3	15,6 (0,9)	14,9 a 16,3
	8º	18,3 (2,2)	16,5 a 20,2	14,4 (1,0)	13,5 a 15,3
T5	2º	14,2 (1,2)	13,2 a 15,2	16,1 (0,9)	15,4 a 16,8
	4º	12,6 (0,8)	11,9 a 13,3	16,0 (0,7)	15,5 a 16,6
	8º	19,9 (2,5)	17,8 a 21,9	13,5 (1,7)	12,1 a 15,0

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=120 por campaña.

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en la coordenada  $b^*$  ( $F_{1,238}=17,45$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,064$ ), con un tamaño del efecto moderado.

Parece que los valores de coordenada  $b^*$  aumentan de forma significativa en la segunda campaña respecto de la primera

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,235}=5,25$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,066$ ) sobre los niveles de coordenada  $b^*$ . El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderada.

En la **Tabla IV.92** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación. Atendiendo al efecto del tratamiento, solamente se encontró un valor superior en T1 respecto a T3 y entre T4 respecto a T3 (**Tabla IV.92**).

**Tabla IV.92.** Diferencias medias en los valores coordenada  $b^*$  según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,50	1,000	-0,92	1,93
	T3	1,48	0,036	0,05	2,91
	T4	-0,75	1,000	-2,18	0,67
	T5	0,15	1,000	-1,28	1,57
T2	T3	0,97	0,539	-0,45	2,40
	T4	-1,26	0,130	-2,69	0,17
	T5	-0,36	1,000	-1,78	1,07
T3	T4	-2,23	<0,001	-3,66	-0,81
	T5	-1,33	0,086	-2,76	0,09
T4	T5	0,90	0,746	-0,52	2,33

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Los valores de la coordenada  $b^*$  se correlacionan de forma directa con la radiación UVA ( $r=0,5$ ,  $r^2=26,1\%$ ) y UVB ( $r=0,5$ ,  $r^2=24\%$ ), lo que permite explicar que los altos valores observados en T1 (vs resto de tratamientos), se corresponden con un elevado porcentaje de transmisión de UVA al final de la 2ª campaña en T1 (superior a T4 y a T3). Los altos valores observados en T4 (ya que los frutos de este tratamiento también fueron los más coloreados como consecuencia del desarrollo de los pigmentos amarillos, xantofilas, al final de la segunda campaña) se podrían deber al hecho de que en este tratamiento se produce uno de los mayores

incrementos en el porcentaje de radiación UVA y el mayor incremento en el porcentaje de radiación UVB durante la 2ª campaña.

El comportamiento de esta coordenada fue similar al encontrado en el parámetro  $a^*$ , lo cual mantiene el hecho de que la radiación tuvo un efecto positivo para T1 y T4 que consiguieron los frutos con mayor valor de  $b^*$ .

También se encontró que el nivel del racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,237}=6,41$ ;  $p=0,002$ ;  $\omega^2=0,043$ ) sobre los niveles de coordenada  $b^*$ . El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación igualmente moderada entre nivel del racimo y los valores coordenada  $b^*$ . El 2º y 8º racimo diferían significativamente del 4º racimo en esta variable (**Tabla IV.93**).

**Tabla IV.93.** Diferencias medias en los valores coordenada  $b^*$  según el nº de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	0,004	0,32	2,20
	8º	1,000	-0,84	1,04
4º	8º	0,010	-2,10	-0,22

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Tsormpatsidis *et al.* (2011) determinaron un descenso del parámetro  $b^*$  de forma más rápida durante el desarrollo del fruto bajo filme transparente a la radiación UV que bajo filme opaco a dicha radiación, al igual que las fresas en la misma posición e igual edad cronológica tuvieron un 22-52% mayor el parámetro  $b^*$  comparado con aquellas bajo filme transparente UV.

En nuestros resultados, el número del racimo también afectó a la coordenada  $b^*$  siendo los 2º y 8º racimos de T4 y T5, respectivamente los que obtuvieron los valores más altos de esta variable. En este aspecto, el hecho de que ambos tratamiento filtren un porcentaje importante de PAR podría influir dependiendo de a que altura se encuentren los frutos en la planta.

IV.6.6.3. *Croma (C\*)*

El croma indica el grado de separación entre un tono determinado y un gris de la misma claridad. Tiene el valor 0 para estímulos acromáticos, y por lo general, no pasa de 150. Según nuestros valores mostrados en la **Tabla IV.94** la notación de color según la escala, es propia de frutos con una madurez comercial aceptable por el consumidor.

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en el croma ( $F_{1,238}=18,24$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,067$ ), con un tamaño del efecto moderado. Los valores de este factor aumentan de forma significativa en la segunda campaña respecto de la primera.

**Tabla IV.94.** Características descriptivas para la variable  $C^*$  de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=8)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	19,0 (2,0)	17,4 a 20,7	26,2 (1,7)	24,8 a 27,6
	4º	22,6 (1,6)	21,3 a 24,0	28,2 (2,4)	26,2 a 30,2
	8º	29,3 (4,6)	25,4 a 33,1	24,3 (1,4)	23,1 a 25,4
T2	2º	19,8 (1,3)	18,7 a 20,8	26,8 (1,8)	25,3 a 28,4
	4º	20,6 (2,3)	18,7 a 22,5	30,2 (2,4)	28,2 a 32,3
	8º	25,2 (2,4)	23,1 a 27,2	26,8 (1,4)	25,6 a 28,0
T3	2º	20,9 (1,5)	19,6 a 22,2	26,5 (1,7)	25,1 a 27,9
	4º	19,1 (2,9)	16,7 a 21,5	23,3 (1,7)	21,9 a 24,7
	8º	21,9 (4,1)	18,4 a 25,3	21,6 (1,7)	20,2 a 23,0
T4	2º	31,3 (2,5)	29,2 a 33,3	25,0 (1,3)	24,0 a 26,1
	4º	18,5 (1,6)	17,2 a 19,9	25,8 (1,2)	24,8 a 26,8
	8º	30,6 (2,2)	28,8 a 32,4	23,3 (1,3)	22,3 a 24,4
T5	2º	21,8 (0,9)	21,1 a 22,6	24,8 (1,6)	23,5 a 26,2
	4º	18,4 (0,8)	17,8 a 19,1	26,2 (1,5)	24,9 a 27,5
	8º	31,7 (2,7)	29,5 a 34,0	22,3 (1,2)	21,3 a 23,4

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=120 por campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,235}=6,33$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,082$ ) sobre los niveles de  $C^*$ . El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderada (**Tabla IV.95**).

En la **Tabla IV.95** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Atendiendo solamente al efecto del tratamiento, se encontró que los valores fueron significativamente mayores en T1, T2 y T4 respecto a T3, sin diferencias entre los primeros.

Teniendo en cuenta el efecto de la radiación sobre cada tratamiento, se observó una correlación directa entre la radiación UVA y este parámetro ( $r=0,5$  y  $r^2=23,1\%$ ). Los mayores valores de Croma en T1 y T2 se justifican con los mayores porcentajes de transmisión de la radiación UVA en los materiales vírgenes de T1 y T2 y con unos elevados incrementos en esta radiación al final de las dos campañas en estos tratamientos.

**Tabla IV.95.** Diferencias medias en los valores  $C^*$  según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,03	1,000	-2,11	2,18
	T3	2,73	0,004	0,59	4,88
	T4	-0,83	1,000	-2,98	1,32
	T5	0,71	1,000	-1,44	2,85
T2	T3	2,70	0,004	0,55	4,85
	T4	-0,86	1,000	-3,01	1,28
	T5	0,67	1,000	-1,47	2,82
T3	T4	-3,56	0,000	-5,71	-1,42
	T5	-2,03	0,080	-4,17	0,12
T4	T5	1,54	0,436	-0,61	3,68

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

El número de racimo también influyó de forma significativa ( $F_{2,237}=8,49$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,059$ ) sobre los niveles de  $C^*$ . El tamaño del efecto encontrado muestra

una asociación igualmente moderada entre número de racimo y los valores C\* (Tabla IV.96).

Para el efecto del racimo, el C\* del 8º racimo fue significativamente mayor que en el 2º y 4º racimo.

**Tabla IV.96.** Diferencias medias en los valores C\* según el nivel del racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,92	0,360	-0,50	2,33
	8º	-1,48	0,037	-2,89	-0,06
4º	8º	-2,40	0,000	-3,81	-0,98

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Las principales diferencias se encontraron entre los 2º y 8º racimos en T1 y T5. Además en T5 también se encontraron diferencias entre el 4º y el 8º racimo. Para T4 sólo se observaron estas diferencias entre el 2º y 4º racimo.

También puede verse que los valores ascienden en la segunda campaña con una tendencia a igualarse tanto en racimo como en tratamiento.

Según Tsormpatsidis *et al.* (2011) el parámetro C\* aumentó durante el desarrollo del fruto (verde a rojo) en las fresas y a partir de ese momento disminuyó constantemente bajo todos los tratamientos siendo mayor esta reducción en plantas crecidas bajo filme transparente UV que en aquellas crecidas bajo filme opaco UV.

En nuestro caso, puesto que la variable Cromo siguió el mismo comportamiento que las coordenadas a\* y b\*, podemos mantener la hipótesis de que la radiación UVA podría ser la responsable de que T1 y T2 hayan obtenido los frutos con el valor mas elevado de C\* debido a un envejecimiento del material de cubierta y por tanto una mayor transmisión de esta radiación al final de la segunda campaña.

*IV.6.6.4. Luminosidad ( $L^*$ )*

El parámetro  $L^*$  indica el grado de luminosidad, o el componente blanco-negro que presenta un alimento. El valor de  $L^* = 100$  constituye el máximo para este parámetro, y se traduce en 100 % luminoso, mientras que un valor  $L^* = 0$  significa que el alimento es totalmente oscuro.

Está influenciado por el estado de maduración en el que son cosechados los frutos, ya que se produce una reducción en la luminosidad de la piel del fruto durante el desarrollo de los mismos. La evolución de la claridad va desde el verde, donde los tomates presentan mayores claridades, el pintón valor medio y las claridades más bajas corresponden al rojo. Por lo tanto, dicha reducción puede ser relacionada con el aumento del contenido en carotenoides que se produce a lo largo de la maduración (Huff, 1984).

Cantwell (2004) hace referencia a ciertas características del tomate en diferentes estadios de maduración, señalando, por ejemplo, que la luminosidad del mismo va desde 60 en el tomate verde-maduro hasta 39 en el tomate rojo oscuro. De acuerdo con esto, nuestros frutos se sitúan en una posición intermedia (**Tabla IV.97**) en cuanto a “claridad” y “oscuridad” y que se corresponde con la de un tomate rojo claro (25-44).

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en la luminosidad ( $F_{1,238}=103,48$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,63$ ), con un tamaño del efecto muy importante. Parece claro que los valores de luminosidad aumentan de forma significativa en la segunda campaña respecto de la primera.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,235}=3,36$ ;  $p=0,011$ ;  $\omega^2=0,038$ ) sobre los niveles de luminosidad. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación baja-moderada entre el tipo de tratamiento y los valores luminosidad encontrados.

**Tabla IV.97.** Características descriptivas para la variable  $L^*$  de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=8)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	24,3 (0,5)	23,9 a 24,7	41,7 (0,5)	41,3 a 42,2
	4º	43,5 (0,4)	43,2 a 43,9	42,7 (1,0)	41,8 a 43,6
	8º	43,7 (1,4)	42,5 a 44,9	43,4 (0,6)	42,9 a 43,9
T2	2º	23,9 (0,8)	23,3 a 24,6	43,4 (1,1)	42,5 a 44,3
	4º	44,2 (0,7)	43,6 a 44,7	41,7 (1,0)	40,9 a 42,5
	8º	44,1 (0,9)	43,3 a 44,9	43,5 (1,0)	42,7 a 44,4
T3	2º	24,3 (0,7)	23,6 a 24,9	43,0 (1,4)	41,8 a 44,1
	4º	43,5 (1,1)	42,5 a 44,4	43,9 (1,5)	42,7 a 45,2
	8º	43,5 (1,6)	42,2 a 44,9	48,6 (0,8)	48,0 a 49,3
T4	2º	40,9 (1,6)	39,5 a 42,3	42,6 (0,9)	41,9 a 43,3
	4º	43,5 (0,7)	42,9 a 44,1	42,1 (0,7)	41,6 a 42,7
	8º	40,2 (1,2)	39,2 a 41,2	45,4 (0,5)	45,0 a 45,9
T5	2º	25,2 (0,9)	24,4 a 25,9	42,5 (0,4)	42,1 a 42,8
	4º	43,7 (0,5)	43,3 a 44,1	42,2 (0,4)	41,8 a 42,5
	8º	40,0 (1,1)	39,1 a 40,8	45,4 (1,1)	44,5 a 46,3

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=120 por campaña.

En la **Tabla IV.98** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Atendiendo solamente al efecto tratamiento, tal y como podemos observar en la **Tabla IV.98**, aunque existían diferencias significativas, el tamaño del efecto era pequeño y esto se confirma porque tan sólo se encontraron diferencias significativas entre T1 y T4 y entre T4 y T5, siendo T4 el tratamiento que obtuvo valores superiores en luminosidad del fruto de tomate, mientras que T1 y T5 mostraron valores inferiores de luminosidad.

Se comprobó que los mayores valores de luminosidad se correlacionaron con el aumento en el porcentaje de radiación PAR ( $r=0,3$  y  $r^2=13,1\%$ ) y con el de UVB ( $r=0,5$  y  $r^2=26,0\%$ ) al final de la segunda campaña, hecho que justifica el desarrollo de una mayor luminosidad en los frutos, y por tanto, un menor grado de madurez en los frutos de T4.

**Tabla IV.98.** Diferencias medias en los valores luminosidad según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-0,25	1,000	-2,72	2,21
	T3	-1,25	1,000	-3,71	1,22
	T4	-2,58	0,033	-5,04	-0,12
	T5	0,07	1,000	-2,39	2,53
T2	T3	-0,99	1,000	-3,46	1,47
	T4	-2,33	0,079	-4,79	0,13
	T5	0,32	1,000	-2,14	2,78
T3	T4	-1,34	1,000	-3,80	1,13
	T5	1,32	1,000	-1,15	3,78
T4	T5	2,65	0,025	0,19	5,11

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Así mismo, se observó una relación inversa ( $r=-0,4$  y  $r^2=15,3\%$ ) entre la luminosidad y la radiación UVA, lo que permite explicar que en T1 se obtengan los valores más bajos para el parámetro  $L^*$  que se corresponden con un mayor grado de maduración en los frutos cultivados bajo este tratamiento. El comportamiento de esta variable fue similar al que mostraron las coordenadas de color analizadas anteriormente ya que para  $L^*$  fueron los frutos de T1 los que lograron una menor luminosidad, lo cual es positivo desde el punto de vista de la maduración de fruto, ya que las claridades más bajas corresponden al rojo (CIE, 2004).

Por ello, podemos deducir que, según el comportamiento de esta variable, tanto la radiación PAR como UVB influyen de forma negativa en la maduración del fruto.

El T4 se caracteriza por ser un material de cobertura de larga duración comercial (LDc) con una tonalidad amarillenta producida por la adición de aluminio y benzofenona, que se diferencia del resto de tratamientos por tener un menor espesor y porque al final de la segunda campaña es el tratamiento que muestra los mayores incrementos en los porcentajes de transmisión de radiaciones (PAR y UVB). Los resultados de mayor luminosidad en tomates cultivados bajo T4 sugieren que se puedan relacionar con las características diferenciadoras anteriores.

Finalmente en la **Tabla IV.99** se observa que los 2º racimos muestran valores estadísticamente menores que los 4º y 8º en ambas campañas. Resulta lógico deducir que si son los grandes incrementos en la transmisión de radiaciones PAR y UVB al final de la campaña una causa del aumento de luminosidad, serían los racimos medios y superiores en los que se alcancen los mayores valores de  $L^*$ , por ser los que más intensamente reciben esas radiaciones.

**Tabla IV.99.** Diferencias medias en los valores luminosidad según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	<0,001	-9,56	-6,31
	8º	<0,001	-10,24	-7,00
4º	8º	0,930	-2,31	0,94

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En resumen puede decirse que las diferencias de luminosidad entre los 4º y 8º racimos y el nivel inferior del racimo son significativas en todos los tratamientos menos en T4. En este caso, la luminosidad es similar en los tres racimos.

#### IV.6.6.5. Índice Hue

El índice Hue determina el tono del fruto de tomate. Según nuestros datos, el valor obtenido fue entre 33-43, que se corresponde con un color intermedio entre el rojo (0) y el amarillo (90), de acuerdo con la carta de colores CIELAB (CIE, 2004) (**Tabla IV.100**).

Se comprobó que la campaña no afectó significativamente a los valores encontrados en el índice Hue ( $F_{1,238}=0,016$ ;  $p=0,899$ ). Parece que los valores de Hue no se ven afectados por la campaña.

El tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,235}=5,85$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,075$ ) sobre los niveles de Hue. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderada.

**Tabla IV.100.** Características descriptivas para la variable índice Hue de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=8)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	41,2 (2,1)	39,4 a 43,0	40,1 (1,8)	38,7 a 41,6
	4º	36,0 (2,9)	33,6 a 38,5	39,3 (3,5)	36,4 a 42,2
	8º	38,5 (1,9)	36,9 a 40,1	36,8 (2,0)	35,1 a 38,4
T2	2º	39,5 (3,2)	36,8 a 42,2	40,7 (1,3)	39,6 a 41,7
	4º	37,0 (2,1)	35,3 a 38,8	35,8 (0,9)	35,1 a 36,6
	8º	33,1 (1,9)	31,5 a 34,6	37,5 (2,7)	35,2 a 39,7
T3	2º	39,4 (2,1)	37,6 a 41,2	40,5 (3,4)	37,6 a 43,3
	4º	40,0 (1,5)	38,7 a 41,2	38,8 (2,4)	36,8 a 40,7
	8º	36,7 (2,4)	34,6 a 38,7	41,0 (3,1)	38,4 a 43,5
T4	2º	40,7 (3,9)	37,5 a 44,0	41,4 (2,2)	39,5 a 43,3
	4º	41,9 (1,6)	40,6 a 43,3	37,3 (1,5)	36,0 a 38,5
	8º	36,7 (2,3)	34,8 a 38,7	38,2 (2,3)	36,2 a 40,2
T5	2º	40,6 (3,8)	37,40 a 43,8	40,4 (1,0)	39,6 a 41,3
	4º	43,3 (1,7)	41,8 a 44,7	37,8 (1,4)	36,6 a 39,0
	8º	38,7 (3,2)	36,0 a 41,4	37,2 (3,4)	34,4 a 40,1

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=120 por campaña.

En la **Tabla IV.101** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Atendiendo solamente al efecto del tratamiento, únicamente se encontró un índice Hue significativamente mayor en T3, T4 y T5 respecto de T2.

**Tabla IV.101.** *Diferencias medias en los valores del índice Hue según el tipo de tratamiento.*

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	1,40	0,100	-0,16	2,96
	T3	-0,69	0,738	-2,25	0,86
	T4	-0,70	0,730	-2,26	0,86
	T5	-1,01	0,387	-2,56	0,55
T2	T3	-2,09	0,003	-3,65	-0,54
	T4	-2,10	0,002	-3,66	-0,54
	T5	-2,41	<0,001	-3,96	-0,85
T3	T4	-0,01	1,000	-1,56	1,55
	T5	-0,32	0,981	-1,87	1,24
T4	T5	-0,31	0,982	-1,86	1,25

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Según la **Tabla IV.102**, también se encontró que el número de racimo influía de forma significativa ( $F_{2,237}=23,93$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,16$ ) sobre los niveles de Hue. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación fue grande.

Para el efecto del racimo se observaron valores significativamente decrecientes desde el 2º al 8º racimo.

**Tabla IV.102.** *Diferencias medias en los valores del índice Hue según el n° de racimo.*

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	1,74	<0,001	0,70	2,77
	8º	3,02	<0,001	1,99	4,06
4º	8º	1,29	0,010	0,25	2,32

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Como ya hemos comentado con anterioridad, el índice Hue es el parámetro más comúnmente usado para indicar el desarrollo del color durante la maduración del fruto. Según nuestros datos, el comportamiento de este parámetro es similar al

que experimentó la variable L, es decir, que ambos disminuyen con la maduración del fruto, lo cual es lógico ya que este índice es máximo en el estado verde.

Sin embargo, a diferencia del resto de parámetros relacionados con el color, no existe ningún tipo de correlación entre los diferentes tipos de radiaciones o el efecto de la temperatura con el valor de este índice en los diferentes tratamientos. Tampoco existen otros estudios relacionados al respecto que nos permitan establecer diferencias en el índice de madurez del fruto según las condiciones ambientales.

#### IV.7. VARIABLES RELACIONADAS CON LA COMPOSICIÓN NUTRICIONAL DEL FRUTO

##### IV.7.1. Proteína

El contenido proteico del fruto de tomate representa una fuente de nitrógeno y de aminoácidos esenciales. El nitrógeno es aportado continuamente desde el suelo y transformado de su forma mineral a forma orgánica (las principales fuentes inorgánicas que participan en esta conversión son  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_2$  y  $\text{NH}_4^+$ ). Cabe destacar que interactúan rápidamente con el paladar, lo que afecta en gran medida al sabor.

Según Suk *et al.* (2014) el rango de valores de proteína en tomate cherry oscila entre el 8-14% sobre MS. En torno a este intervalo, aunque algo superiores (13-18%) fueron los valores obtenidos para tomate Brenda, tal y como podemos observar en la **Tabla IV.103**.

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en proteína ( $F_{1,118}=6,93$ ;  $p=0,010$ ;  $\omega^2=0,047$ ). El tamaño del efecto fue bajo-moderado y por tanto la campaña parece afectar a los niveles de proteína pero en un grado relativamente pequeño.

**Tabla IV.103.** Características descriptivas para la variable proteína (% sobre MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	16,7 (2,1)	13,3 a 20,0	18,4 (2,0)	15,3 a 21,6
	4º	15,4 (2,1)	12,1 a 18,7	16,2 (2,4)	12,5 a 20,0
	8º	16,1 (1,6)	13,5 a 18,6	14,2 (0,7)	13,1 a 15,2
T2	2º	14,0 (1,1)	12,3 a 15,8	16,1 (1,8)	13,2 a 19,0
	4º	14,0 (2,5)	10,0 a 18,1	15,2 (2,5)	11,2 a 19,2
	8º	15,0 (0,9)	13,5 a 16,5	14,1 (1,0)	12,6 a 15,7
T3	2º	16,3 (2,5)	12,3 a 20,2	17,4 (3,3)	12,1 a 22,7
	4º	15,5 (2,0)	12,3 a 18,7	16,8 (0,9)	15,4 a 18,2
	8º	13,8 (1,1)	12,2 a 15,5	15,4 (1,8)	12,5 a 18,2
T4	2º	15,4 (1,8)	12,6 a 18,2	18,0 (2,8)	13,5 a 22,5
	4º	16,3 (2,8)	11,8 a 20,8	16,5 (2,2)	12,9 a 20,0
	8º	16,4 (1,0)	14,8 a 18,0	17,8 (1,6)	15,2 a 20,3
T5	2º	14,1 (2,4)	10,2 a 18,0	16,5 (2,9)	12,1 a 21,1
	4º	13,4 (1,1)	11,6 a 15,3	15,8 (2,8)	11,5 a 20,2
	8º	15,6 (1,0)	14,1 a 17,2	14,2 (1,1)	12,5 a 15,9

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

Por otro lado, el tipo de tratamiento también influyó de forma de significativa ( $F_{4,115}=4,07$ ;  $p=0,004$ ;  $\omega^2=0,093$ ) sobre los niveles de proteína. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación fue moderada-alta.

En la **Tabla IV.104** se muestran las comparaciones dos a dos el tipo de tratamiento. Se encontró que T4 presentó los mayores niveles medios de proteína aunque las diferencias solamente fueron significativas respecto a T2 y T5. Los tratamientos 1 y 3 se situaron entre ambos grupos.

La concentración de proteína apenas muestra diferencias entre tratamientos y la campaña aunque mostró influir de forma significativa, no tuvo un gran efecto. Los cinco tratamientos y las dos campañas recibieron idénticos tratamientos de fertilización y de riego, siendo idéntica la cantidad de complejos nitrogenados utilizados en todas las circunstancias del estudio, lo que justifica que el contenido proteico en todas las muestras analizadas sea similar.

**Tabla IV.104.** Diferencias medias en los valores de proteína según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T2	1,41	0,160	-0,24	3,06	
T1	T3	0,30	1,000	-1,35	1,95
	T4	-0,55	1,000	-2,20	1,10
	T5	1,20	0,402	-0,46	2,85
T2	T3	-1,11	0,566	-2,76	0,54
	T4	-1,96	0,010	-3,61	-0,31
	T5	-0,21	1,000	-1,86	1,44
T3	T4	-0,85	1,000	-2,50	0,80
	T5	0,90	1,000	-0,75	2,55
T4	T5	1,74	0,031	0,09	3,40

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En cuanto a los niveles de proteína según el racimo parece que este factor no afecta significativamente ( $F_{2,117}=2,95$ ;  $p=0,057$ ;  $\omega^2=0,031$ ) sobre los niveles de proteína. El tamaño del efecto fue más bien bajo por lo que desde el punto de vista práctico los cambios son poco evidentes.

Rosales (2008) describió en su estudio una disminución del contenido en proteínas solubles en tomates cherry de invernadero, bajo condiciones de estrés lumínico y por calor. En nuestros resultados también se aprecia una disminución en el contenido proteico de tomates cultivados en T2, que es una cubierta térmica que mantiene el calor dentro del invernadero (estrés térmico) y en T5, que es el material de cubierta mas transparente a los tres tipos de radiaciones (estrés lumínico).

En nuestro estudio, no existen evidencias estadísticas que nos permitan relacionar el tipo de radiación con el contenido proteico de los frutos en los distintos tratamientos, ya que no se observa ninguna correlación entre el tipo de radiación y el contenido proteico de los diferentes tratamientos estudiados.

#### IV.7.2. Materia seca (MS)

El rendimiento de un cultivo viene dado por la capacidad de acumular biomasa (materia fresca y seca) en los órganos que se destinan a la cosecha y un incremento proporcional de la biomasa destinada a estos órganos garantiza un incremento del rendimiento.

Así, la distribución de materia seca entre los diferentes órganos de la planta tiene un papel fundamental en la producción de un cultivo. Suele producirse durante un ciclo de cultivo, lo cual conlleva una reducción en la producción, variabilidad en la calidad de los frutos y fluctuación en la demanda de mano de obra (Peil *et al.*, 2005).

Además, una desfavorable relación fuente/sumidero, frecuentemente, ocasiona abortos o alteraciones en el desarrollo de primordios florales, flores o frutos. Esta desfavorable relación fuente/sumidero puede ser debido a una gran demanda de asimilados de los frutos (por el exceso de frutos en crecimiento) y/o a condiciones limitantes de radiación (por la reducción de la fotosíntesis y, consecuentemente, de la producción de asimilados) (Challa *et al.*, 1995).

En la **Tabla IV.105** se muestran los valores para la variable materia seca que oscilan entre 5,29-7,18% en los frutos de tomate de los diferentes tratamientos estudiados.

La campaña no afectó de forma significativa a los valores encontrados en la MS ( $F_{1,238}=0,761$ ;  $p=0,384$ ), pero el tipo de tratamiento si influyó ( $F_{4,235}=47,25$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,44$ ), con un tamaño del efecto muy grande.

**Tabla IV.105.** Características descriptivas de la variable MS (%) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=8)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	6,29 (0,33)	6,01 a 6,56	6,43 (0,40)	6,10 a 6,77
	4º	6,72 (0,34)	6,43 a 7,00	6,74 (0,39)	6,41 a 7,06
	8º	6,87 (0,31)	6,61 a 7,13	7,18 (0,79)	6,52 a 7,85
T2	2º	6,06 (0,16)	5,92 a 6,20	6,15 (0,69)	5,57 a 6,72
	4º	6,50 (0,25)	6,29 a 6,71	6,41 (0,68)	5,84 a 6,98
	8º	6,74 (0,31)	6,48 a 7,00	6,49 (0,58)	6,01 a 6,98
T3	2º	5,72 (0,26)	5,50 a 5,93	5,29 (0,22)	5,10 a 5,47
	4º	5,77 (0,19)	5,61 a 5,93	5,73 (0,22)	5,55 a 5,92
	8º	5,49 (0,41)	5,15 a 5,83	6,18 (0,38)	5,86 a 6,50
T4	2º	5,59 (0,29)	5,34 a 5,83	4,98 (0,27)	4,75 a 5,20
	4º	5,90 (0,20)	5,73 a 6,07	5,95 (0,73)	5,34 a 6,56
	8º	6,29 (0,44)	5,92 a 6,66	6,04 (0,48)	5,64 a 6,44
T5	2º	5,95 (0,30)	5,70 a 6,20	5,34 (0,39)	5,02 a 5,67
	4º	5,74 (0,18)	5,59 a 5,89	5,94 (0,27)	5,71 a 6,16
	8º	6,26 (0,47)	5,87 a 6,65	6,31 (0,36)	6,01 a 6,61

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=120 por campaña.

En la **Tabla IV.106** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

A continuación, en la **Tabla IV.106**, se aprecia que para el efecto del tratamiento, se confirma que la materia seca de T1 fue significativamente mayor al resto de tratamientos. A su vez, el T2 muestra una MS significativamente mayor que T3, T4 y T5 que son similares entre sí. Los materiales de cubierta T1 y T2 tienen en común (y los diferencia del resto de tratamientos) que transmiten bajos porcentajes de radiación PAR en el material virgen y además en ambos se observa una mínima variación de los porcentajes de transmisión (de la radiación PAR) al finalizar las dos campañas del estudio. Los resultados sugieren que una baja transmisión de radiación PAR podría ser causa de los elevados valores de MS en los frutos de T1 y T2, lo que confirman los análisis de correlación (r-Pearson) entre MS y radiación PAR ( $r = -0,6$  y  $r^2 = 39\%$ ).

**Tabla IV.106.** Diferencias medias en los valores MS según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,312	0,005	0,069	0,556
	T3	1,009	<0,001	0,766	1,253
	T4	0,915	<0,001	0,671	1,158
	T5	0,780	<0,001	0,537	1,024
T2	T3	0,697	<0,001	0,453	0,941
	T4	0,602	<0,001	0,359	0,846
	T5	0,468	<0,001	0,224	0,712
T3	T4	-0,094	0,824	-0,338	0,149
	T5	-0,229	0,077	-0,472	0,015
T4	T5	-0,134	0,553	-0,378	0,109

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

También se encontró que el número de racimo influía de forma significativa ( $F_{2,237}=39,47$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,24$ ) sobre los niveles de MS. El tamaño del efecto también es importante en este caso.

En la **Tabla IV.107**, se muestran las comparaciones dos a dos para el factor nivel del racimo. También se confirma que la materia seca es menor en los niveles más bajos y aumentó progresivamente y de forma significativa con el número de racimo.

**Tabla IV.107.** Diferencias medias en los valores MS según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2°	4°	-0,360	<0,001	-0,521	-0,198
	8°	-0,606	<0,001	-0,768	-0,444
4°	8°	-0,247	0,001	-0,409	-0,085

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Parece claro que los frutos recolectados de T1 y T2 presentan mayor contenido de materia seca que en el resto y que esto ocurre independientemente del número de racimo. En general fue en T3 donde se registró menos MS, siendo este tratamiento (T3) el que mostró mayores incrementos en porcentajes de transmisión de radiación PAR al final de las dos campañas consideradas en el estudio. Todo ello apoya la hipótesis planteada anteriormente que muestra la relación inversa entre radiación PAR y MS en tomate.

Según la literatura científica el contenido de MS del fruto disminuye durante la maduración y en condiciones de sombra (Gautier *et al.*, 2009). Este hecho no coincide con lo expuesto en nuestro estudio, ya que los frutos del racimo superior de la planta de tomate al recibir más radiación PAR, lograron un menor porcentaje de MS durante su maduración.

Podría plantearse una posible hipótesis en nuestro estudio sobre la MS en cuanto a que se ve afectada por la temperatura de forma positiva ya que la tendencia es igual a la que siguen casi todas las variables analizadas anteriormente en T1 y T2 (filme térmico). Ambos tratamientos registraron las máximas temperaturas (**Figura IV.31A**) con respecto a los otros tres tratamientos analizados y el contenido de materia seca de sus frutos fue superior, siendo también un factor ambiental condicionante según la posición del fruto en el racimo, ya que a mayor altura de la planta, T1 y T2 acumularon mayor temperatura en el fruto.

### IV.7.3. Macroelementos

En cuanto al contenido en macronutrientes, el fruto de tomate contiene Na, K, Ca, Mg y P. En la dieta humana, tanto las frutas como las verduras contribuyen a la absorción de K, Mg y P (35, 24 y 11%, respectivamente) y constituyen una fuente importante de Ca, Na y otros elementos esenciales (Levander *et al.*, 1990).

#### IV.7.3.1. Sodio (Na)

El contenido de sodio para tomates cultivados en invernadero según nuestras condiciones de estudio se situó entre 2,4-9,8 mg Na 100g<sup>-1</sup> PF (**Tabla IV.108**), valores inferiores a los observados (11,78-12,47 mg Na 100g<sup>-1</sup> PF) por Ordoñez-Santos *et al.*

(2011). Sin embargo, nuestros valores coinciden con los mostrados por Hernández-Suárez *et al.* (2007), que se sitúan en el rango de 6,1-6,9 mg Na 100 g<sup>-1</sup> PF.

**Tabla IV. 108.** Características descriptivas para la variable Na (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,045 (0,003)	0,039 a 0,050	0,142 (0,148)	-0,093 a 0,377
	4º	0,162 (0,027)	0,119 a 0,204	0,028 (0,005)	0,020 a 0,036
	8º	0,079 (0,041)	0,012 a 0,145	0,088 (0,059)	-0,006 a 0,182
T2	2º	0,056 (0,009)	0,041 a 0,070	0,055 (0,013)	0,035 a 0,075
	4º	0,098 (0,045)	0,027 a 0,170	0,074 (0,050)	-0,005 a 0,153
	8º	0,063 (0,015)	0,040 a 0,087	0,093 (0,062)	-0,005 a 0,192
T3	2º	0,064 (0,047)	-0,011 a 0,140	0,052 (0,006)	0,042 a 0,061
	4º	0,070 (0,017)	0,043 a 0,096	0,080 (0,067)	-0,026 a 0,186
	8º	0,038 (0,006)	0,028 a 0,047	0,057 (0,007)	0,045 a 0,068
T4	2º	0,153 (0,098)	-0,003 a 0,310	0,094 (0,067)	-0,013 a 0,200
	4º	0,136 (0,045)	0,064 a 0,207	0,092 (0,029)	0,047 a 0,138
	8º	0,072 (0,005)	0,064 a 0,080	0,066 (0,008)	0,053 a 0,078
T5	2º	0,086 (0,037)	0,026 a 0,145	0,033 (0,004)	0,027 a 0,040
	4º	0,070 (0,009)	0,056 a 0,083	0,092 (0,038)	0,031 a 0,154
	8º	0,095 (0,022)	0,060 a 0,130	0,053 (0,020)	0,022 a 0,085

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

En cuanto a la campaña, se observó que no afectó significativamente a los valores encontrados en el sodio ( $F_{1,118}=1,764$ ;  $p=0,187$ ).

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=2,57$ ;  $p=0,042$   $\omega^2=0,050$ ) sobre los niveles de sodio. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderada por lo que se puede concluir que el tipo de tratamiento afecta al nivel de sodio pero no en gran medida.

En cuanto a los niveles de sodio según el racimo, este factor no afectó significativamente ( $F_{2,117}=50,01$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,009$ ) sobre los niveles de sodio. El bajo tamaño del efecto permite concluir que estos dos factores no están relacionados.

En la **Tabla IV.109** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Puede comprobarse que estas diferencias sólo aparecieron entre los niveles de Na de T3 respecto de T4, siendo en T3 donde se mostraron los niveles más bajos de sodio y los más altos en T4.

**Tabla IV.109.** *Diferencias medias en los valores de Na según el tipo de tratamiento.*

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,017	0,767	-0,024	0,058
	T3	0,031	0,237	-0,010	0,072
	T4	-0,011	0,937	-0,052	0,029
	T5	0,019	0,697	-0,022	0,060
T2	T3	0,013	0,895	-0,028	0,054
	T4	-0,029	0,297	-0,070	0,012
	T5	0,002	1,000	-0,039	0,043
T3	T4	-0,042	0,041	-0,083	-0,001
	T5	-0,012	0,934	-0,052	0,029
T4	T5	0,031	0,241	-0,010	0,071

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En conclusión, los niveles de sodio no se ven afectados por la campaña, ni por el número de racimo ni por el tipo de tratamiento (la única significación encontrada hay que tomarla con precaución, ya que el tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderada por lo que se puede concluir que el tipo de tratamiento afecta al nivel de sodio pero no en gran medida).

Por lo tanto, en base a los análisis estadísticos no se puede demostrar que los factores ambientales tengan un efecto sobre el contenido de sodio en los frutos de tomate en los cinco tratamientos estudiados. Tampoco se ha encontrado literatura científica que evidencie estos hechos.

#### IV.7.3.2. Potasio (K)

El catión potasio no posee funciones estructurales, sin embargo, es el catión más común en los procesos metabólicos de las plantas. Roles esenciales del potasio han sido encontrados en la síntesis de proteínas, en el proceso fotosintético y en el transporte de azúcares desde las hojas a los frutos y en la producción y acumulación de aceites. Un adecuado suministro de potasio permitirá mantener la función de las hojas a lo largo del desarrollo de los frutos y contribuirá al aumento del rendimiento y acumulación de sólidos solubles en frutos (principalmente azúcares) en el período de cosecha. Por ejemplo, en tomates, aproximadamente 60-66% del potasio absorbido por las plantas, se localiza en los frutos. Adicionalmente el potasio está involucrado en el proceso de maduración de frutos, así como en la síntesis de pigmentos como el licopeno. Además, promueve altos contenidos de ácidos, lo que es esencial para el buen sabor de los frutos (SQM, 2006).

Los valores sobre el contenido de potasio en tomate se encuentran entre 191,42-236,54 mg K 100 g<sup>-1</sup> PF según Ordoñez-Santos *et al.* (2011), que fueron similares a los reportados por Hernández-Suárez *et al.* (2007), en el rango de 2.329-2.606 mg K Kg<sup>-1</sup> PF. Éstos, a su vez, coinciden con los valores mostrados en los frutos de tomate de nuestro estudio (134,23-286,76 mg K 100 g<sup>-1</sup> PF), tal y como se muestra en la **Tabla IV.110**.

Una deficiencia de este mineral en el fruto trae consigo la aparición de varias fisiopatías que se caracterizan por producir una maduración irregular a lo largo de la superficie del fruto, por la aparición de una mancha amarillenta en forma de estrella en el ápice del fruto, etc. Las más conocidas son el abanderado o tomato irregular rippening y el blotchy rippening.

Con la carencia de potasio se resiente la floración, a la vez que disminuye la calidad del fruto, ya que este elemento tiene influencia directa sobre la calidad del fruto.

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en el potasio ( $F_{1,118}=95,94$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,44$ ). El tamaño del efecto es muy alto y por tanto la campaña parece afectar a los niveles de potasio.

**Tabla IV.110.** Características descriptivas para la variable K (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	3,83 (0,30)	3,36 a 4,30	4,51 (0,62)	3,53 a 5,50
	4º	3,12 (0,31)	2,62 a 3,62	3,49 (0,24)	3,10 a 3,87
	8º	3,26 (0,23)	2,89 a 3,63	3,30 (0,28)	2,85 a 3,74
T2	2º	2,94 (0,26)	2,53 a 3,36	4,20 (0,46)	3,47 a 4,92
	4º	2,21 (0,76)	0,99 a 3,42	3,24 (0,40)	2,61 a 3,87
	8º	2,98 (0,10)	2,82 a 3,14	3,80 (0,33)	3,27 a 4,33
T3	2º	3,01 (0,89)	1,60 a 4,42	4,65 (0,58)	3,72 a 5,58
	4º	2,76 (0,76)	1,55 a 3,98	3,54 (0,24)	3,15 a 3,93
	8º	3,29 (0,12)	3,10 a 3,49	4,23 (0,15)	4,00 a 4,46
T4	2º	3,73 (0,49)	2,94 a 4,51	4,49 (0,33)	3,96 a 5,03
	4º	3,74 (0,16)	3,48 a 4,00	5,10 (0,56)	4,21 a 5,99
	8º	2,88 (0,14)	2,66 a 3,10	3,50 (0,47)	2,75 a 4,25
T5	2º	3,46 (0,12)	3,27 a 3,65	3,66 (0,29)	3,20 a 4,11
	4º	3,21 (0,24)	2,83 a 3,60	4,32 (0,20)	4,01 a 4,64
	8º	2,77 (0,14)	2,54 a 2,99	3,07 (0,32)	2,56 a 3,58

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

El tipo de tratamiento también influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=7,66$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,182$ ) sobre los niveles de potasio. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación fue elevada (**Tabla IV.111**).

Los tomates con una elevada salinidad, según reportaron Grattan y Grieve (1999), mostraron un bajo contenido de K. En nuestro estudio, este hecho puede justificar que los frutos presenten un bajo contenido de este mineral en T2 (material de cubierta térmico), que fue quien logró un mayor valor de CE respecto al resto de tratamientos.

**Tabla IV.111.** *Diferencias medias en los valores de K según el tipo de tratamiento.*

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,36	0,063	-0,01	0,73
	T3	0,00	1,000	-0,37	0,37
	T4	-0,32	0,134	-0,69	0,05
	T5	0,17	1,000	-0,20	0,54
T2	T3	-0,36	0,067	-0,72	0,01
	T4	-0,68	<0,001	-1,05	-0,31
	T5	-0,19	1,000	-0,56	0,18
T3	T4	-0,33	0,127	-0,69	0,04
	T5	0,17	1,000	-0,20	0,53
T4	T5	0,49	0,002	0,12	0,86

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En cuanto a los niveles de potasio según el racimo, este factor afectó significativamente ( $F_{2,117}=15,6$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,196$ ) sobre K, y el tamaño del efecto fue muy grande (**Tabla IV.112**).

Fueron evidentes las diferencias entre el 2º y los racimos intermedio y superior. Las diferencias entre éstos fueron no significativas.

**Tabla IV.112.** *Diferencias medias en los valores de K según el nº de racimo.*

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,37	0,001	0,13	0,62
	8º	0,54	<0,001	0,30	0,78
4º	8º	0,17	0,289	-0,08	0,41

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Puede decirse a modo de resumen que los niveles de potasio se afectaron de manera importante tanto por la campaña (tienden a aumentar) como por el tipo de

tratamiento (T4 presentó los valores más altos) y el nivel del racimo (los niveles inferiores fueron más ricos en potasio que los superiores).

Según las correlaciones analizadas entre las distintas radiaciones y la variable potasio, se observa una relación directa entre la radiación UVB con los valores de K ( $r=0,6$  y  $r^2= 34,3\%$ ), lo que permite justificar los mayores niveles de K en tomates cultivados bajo una cobertura (T4) que permite la transmisión de un elevado porcentaje de radiación UVB.

Considerando el efecto campaña, también se evidenció que al final de la 2ª campaña, el porcentaje de transmisión de radiación UVB aumentó de manera considerable en T4 respecto al resto de tratamientos. Esto podría poner de manifiesto el hecho de que la radiación UVB afecta al contenido de potasio del fruto, sin que dispongamos en la actualidad de trabajos publicados que relacionen ambas variables.

#### IV.7.3.3. Calcio (Ca)

El calcio es el elemento que con más frecuencia se ha relacionado con la calidad de los productos hortofrutícolas y en especial con la textura, debido a que participa en numerosos procesos del desarrollo y en el mantenimiento de la estructura de la pared celular, por su capacidad para establecer enlaces iónicos con los grupos carboxilatos de las pectinas (Poovaiah *et al.*, 1988).

Este catión es responsable de un elevado número de alteraciones fisiológicas o fisiopatías, que se pueden manifestar durante el crecimiento del fruto en la planta o posteriormente en la posrecolección; como más representativo se puede citar la vitrescencia en tomate, "bitter pit" o la pudrición apical de frutos, cuando su contenido está disminuido. Esto provoca pérdidas drásticas tanto en la producción como en la calidad del fruto, principalmente en los meses de verano. Además, estos efectos pueden acentuarse si en el fruto los niveles de potasio o nitrógeno son altos o bajos los de fósforo (Beverly *et al.*, 1993).

En la **Tabla IV.113** se muestran los estadísticos descriptivos para la variable calcio, con unos valores entre 5,49-12,20 mg Ca 100 g<sup>-1</sup> PF. Estas cifras fueron inferiores a las obtenidas por Gil-Guerrero *et al.* (2009) en una variedad similar (tomate Daniela Larga Vida) con valores de 13,1 mg de Ca 100 g<sup>-1</sup> PF en cultivo de invernadero. Sin embargo, Hernández-Suárez *et al.* (2007), obtuvieron valores

similares a los de nuestro estudio, en el rango de 61,2-69,4 mg K Kg<sup>-1</sup> PF en diferentes cultivares de tomate.

La campaña no afectó significativamente a los valores medios encontrados en el calcio ( $F_{1,118}=0,241$ ;  $p=0,625$ ).

**Tabla IV.113.** Características descriptivas para la variable Ca (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,231 (0,058)	0,138 a 0,324	0,157 (0,027)	0,115 a 0,200
	4º	0,102 (0,013)	0,080 a 0,123	0,102 (0,043)	0,034 a 0,170
	8º	0,098 (0,025)	0,057 a 0,138	0,111 (0,020)	0,080 a 0,142
T2	2º	0,173 (0,035)	0,116 a 0,229	0,157 (0,022)	0,122 a 0,192
	4º	0,088 (0,035)	0,032 a 0,144	0,102 (0,022)	0,067 a 0,136
	8º	0,085 (0,023)	0,048 a 0,122	0,139 (0,015)	0,115 a 0,163
T3	2º	0,204 (0,063)	0,104 a 0,304	0,194 (0,022)	0,159 a 0,229
	4º	0,116 (0,026)	0,074 a 0,158	0,116 (0,022)	0,080 a 0,151
	8º	0,147 (0,026)	0,105 a 0,188	0,137 (0,019)	0,107 a 0,167
T4	2º	0,210 (0,018)	0,182 a 0,239	0,168 (0,012)	0,149 a 0,187
	4º	0,167 (0,033)	0,114 a 0,22	0,189 (0,027)	0,145 a 0,232
	8º	0,090 (0,015)	0,066 a 0,114	0,126 (0,028)	0,081 a 0,17
T5	2º	0,187 (0,011)	0,170 a 0,204	0,136 (0,024)	0,098 a 0,173
	4º	0,137 (0,030)	0,089 a 0,184	0,189 (0,021)	0,156 a 0,222
	8º	0,092 (0,028)	0,048 a 0,137	0,149 (0,026)	0,108 a 0,190

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

El tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=4,31$ ;  $p=0,029$ ;  $\omega^2=0,099$ ) sobre los niveles de calcio. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderada-alta.

En las comparaciones por tratamiento sin tener en cuenta el efecto del racimo, se observó que las únicas diferencias significativas se encontraron entre T2 respecto a T3 y a T4, siendo éstos dos últimos los que obtuvieron los mayores valores de Ca (**Tabla IV.114**).

De igual forma que ocurre con el contenido de K, en el caso del contenido en Ca, se observó una relación directa con la radiación UVB ( $r=0,5$  y  $r^2=26,0\%$ ). Así se explica que el tratamiento T4, con el mayor porcentaje de transmisión UVB, muestre los valores más altos de Ca en sus frutos. Los resultados sugieren que la radiación UVB podría afectar al contenido de K y Ca en el tomate cultivado en invernadero.

**Tabla IV.114.** *Diferencias medias en los valores de Ca según el tipo de tratamiento.*

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,010	0,855	-0,017	0,036
	T3	-0,019	0,307	-0,045	0,008
	T4	-0,025	0,084	-0,051	0,002
	T5	-0,015	0,539	-0,042	0,012
T2	T3	-0,028	0,033	-0,055	-0,002
	T4	-0,034	0,005	-0,061	-0,008
	T5	-0,024	0,090	-0,051	0,002
T3	T4	-0,006	0,969	-0,033	0,021
	T5	0,004	0,995	-0,023	0,031
T4	T5	0,010	0,841	-0,017	0,037

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En T2 se aprecia un contenido de Ca más bajo en comparación con el resto (al igual que el contenido de K), que permite relacionar, coincidiendo con el estudio de Grattan y Grieve (1999), que en este tratamiento los frutos alcanzaron la mayor CE.

A medida que aumenta la concentración de sal en la zona de las raíces, también aumentan las necesidades Ca para la planta (Gerard, 1971; Bernstein, 1975). Al mismo tiempo, la absorción de Ca desde el sustrato puede estar deprimida debido a las interacciones de iones, la precipitación, y el aumento de la fuerza iónica. Estos factores reducen la actividad de Ca en solución disminuyendo de ese modo la disponibilidad de Ca de la planta (Suárez y Grieve, 1988). La gravedad del trastorno de calcio depende de los tipos de iones que contribuyen a la salinidad y las condiciones ambientales.

Según Rosales *et al.* (2010) la reducción en la concentración de Ca en los frutos de tomate cherry en dos invernaderos con diferentes condiciones de luz y temperatura podría confirmar la reducción en el transporte de agua y nutrientes a los frutos, coincidiendo con las condiciones de estrés producidos por la temperatura más alta. Esto permite establecer un efecto de la temperatura con los niveles de Ca en T2, puesto que se trata de un material de cubierta térmico y que por tanto, en ese tratamiento se registran las temperaturas más elevadas (**Figura IV.31**), que podrían ser las responsables de que en T2 se obtuviera el contenido más bajo de Ca.

En cuanto a los niveles de calcio según el racimo, se pone de manifiesto que este factor afecta significativamente ( $F_{2,117}=41,53$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,403$ ) a los niveles de Ca. El tamaño del efecto fue grande. Se encontró que el calcio en los 2º racimos fue significativamente mayor que en los 4º y 8º racimos (**Tabla IV.115**).

**Tabla IV.115.** Diferencias medias en los valores de Ca según el nº de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	<0,001	0,033	0,069
	8º	<0,001	0,047	0,082
4º	8º	0,177	-0,004	0,031

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

#### IV.7.3.4. Magnesio (Mg)

El magnesio es un mineral necesario para la fotosíntesis de la planta. Se mueve independientemente dentro de la planta. La deficiencia de magnesio es un desorden nutricional común en las plantas, que si no se controla a tiempo, puede causar pérdidas de rendimiento y tamaños en el fruto. Varios factores, como son la época, la carga de fruta y la estructura el suelo y drenaje insuficiente influyen en la deficiencia de Mg. Antes de la primera cosecha cuando el peso del fruto en la planta alcanza su punto máximo, la raíz deja de crecer y las raíces viejas comienzan a morir. Esto impide la absorción de magnesio. Algunas variedades son más sensibles que otras, especialmente cuando hay un peso de fruto bastante elevado en la planta.

En la **Tabla IV.116** se muestran los estadísticos descriptivos para la variable magnesio (7,81-13,06 mg Mg 100 g<sup>-1</sup> PF), con unos valores similares a los obtenidos por Ordóñez-Santos *et al.* (2011) en su estudio con dos cultivares de tomate (10,3-12,0 mg Mg 100 g<sup>-1</sup> PF), siendo inferiores a los obtenidos en tomate Daniela Larga Vida crecido en invernadero (14,1 mg Mg 100 g<sup>-1</sup> PF) según el estudio de Guil-Guerrero *et al.*, 2007.

La campaña no afectó significativamente a los valores medios encontrados en el magnesio ( $F_{1,118}=0,651$ ;  $p=0,422$ ).

**Tabla IV.116.** Características descriptivas para la variable Mg (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,172 (0,012)	0,153 a 0,191	0,174 (0,009)	0,159 a 0,188
	4º	0,154 (0,004)	0,148 a 0,160	0,155 (0,012)	0,137 a 0,174
	8º	0,167 (0,026)	0,124 a 0,209	0,133 (0,020)	0,101 a 0,165
T2	2º	0,154 (0,017)	0,127 a 0,180	0,174 (0,018)	0,146 a 0,202
	4º	0,128 (0,053)	0,043 a 0,212	0,150 (0,018)	0,121 a 0,178
	8º	0,169 (0,004)	0,163 a 0,175	0,152 (0,003)	0,147 a 0,157
T3	2º	0,165 (0,055)	0,078 a 0,253	0,190 (0,026)	0,149 a 0,230
	4º	0,137 (0,027)	0,094 a 0,179	0,168 (0,020)	0,136 a 0,200
	8º	0,189 (0,011)	0,171 a 0,207	0,161 (0,012)	0,141 a 0,180
T4	2º	0,199 (0,023)	0,162 a 0,236	0,180 (0,011)	0,162 a 0,197
	4º	0,197 (0,030)	0,147 a 0,246	0,214 (0,020)	0,182 a 0,246
	8º	0,174 (0,005)	0,165 a 0,182	0,150 (0,022)	0,114 a 0,185
T5	2º	0,172 (0,020)	0,139 a 0,204	0,155 (0,018)	0,127 a 0,183
	4º	0,171 (0,010)	0,156 a 0,185	0,192 (0,015)	0,168 a 0,217
	8º	0,185 (0,015)	0,161 a 0,210	0,131 (0,010)	0,118 a 0,144

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,115}=5,71$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,136$ ) sobre los niveles de Mg. El tamaño del efecto encontrado muestra una elevada asociación.

En las comparaciones por tratamiento (**Tabla IV.117**), sin tener en cuenta el efecto del racimo, se observó que las únicas diferencias significativas se encontraron entre T4 respecto a T1 y a T2. A T4 le corresponden los valores más altos y a T1 y T2 los más bajos.

De nuevo es en T4 donde existe una mejor fijación de minerales ya que también el contenido de Mg fue superior al resto de tratamientos.

**Tabla IV.117.** Diferencias medias en los valores de Mg según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,005	0,960	-0,015	0,024
	T3	-0,009	0,705	-0,028	0,011
	T4	-0,026	0,003	-0,046	-0,007
	T5	-0,008	0,744	-0,028	0,011
T2	T3	-0,014	0,292	-0,033	0,006
	T4	-0,031	<0,001	-0,051	-0,012
	T5	-0,013	0,326	-0,033	0,006
T3	T4	-0,017	0,106	-0,037	0,002
	T5	0,000	1,000	-0,019	0,020
T4	T5	0,018	0,091	-0,002	0,037

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Estos valores de Mg se relacionan con la radiación UVB ( $r=0,4$ ,  $r^2=19,7\%$ ), siendo T4 el tratamiento que se caracteriza por presentar (incluso en el material virgen) un elevado porcentaje de transmisión en la radiación UVB (sólo superado por T5). Además considerando el efecto campaña se observó que al final del 2º periodo productivo, el porcentaje de transmisión de radiación UVB aumentó en T4, respecto a la primera campaña. En los tratamientos T1 y T2 bajos porcentajes de transmisión en la radiación UVB se corresponden con bajos valores de Mg en los tomates cultivados bajo los materiales de cobertura T1 y T2.

En cuanto a los niveles de Mg según el racimo parece que este factor no afectó significativamente ( $F_{2,117}=2,64$ ;  $p=0,076$ ;  $\omega^2=0,027$ ) sobre esta variable. El tamaño del efecto fue relativamente pequeño

En estas condiciones con una potencia del contraste de tan sólo el 51,5% conviene considerar este parámetro en las comparaciones dos a dos (**Tabla IV.118**).

**Tabla IV.118.** *Diferencias medias en los valores de Mg según el n° de racimo.*

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,007	0,402	-0,006	0,020
	8º	0,012	0,061	0,000	0,025
4º	8º	0,005	0,579	-0,007	0,018

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Para el efecto del racimo excluyendo el efecto del tratamiento, como era de esperar, la significación dos a dos no mostró diferencias entre los racimos.

Según otros investigadores, que encontraron una reducción en el contenido de K, Ca y Mg con frutos de tomate cherry cultivados en dos invernaderos bajo diferentes condiciones de luz y temperatura, dicha disminución podría estar relacionada con la dificultad por parte del fruto, a la captación y el transporte de agua, posiblemente debido al estrés ambiental bajo estas condiciones (Rosales *et al.*, 2010).

Por este motivo, y según los resultados de nuestro estudio, el tomate Brenda mostró que los contenidos de K, Ca en T2 y de Mg en T1 y T2, son menores durante el primer periodo productivo, coincidiendo con unas condiciones de estrés térmico, ya que fue en ambos tratamientos donde se registraron las máximas temperaturas. Además se conoce que el aumento de la temperatura también interfiere con la absorción de nutrientes del suelo, debido a que la actividad de las enzimas implicadas en su asimilación se deprime considerablemente (Winsor *et al.*, 1975).

#### IV.7.3.5. Fósforo (P)

Los valores del contenido en fósforo hallados por Gil-Guerrero *et al.* (2009) en una variedad similar a tomate Brenda, están en torno a 10 mg P 100 g<sup>-1</sup> PF. En nuestro estudio, el contenido de P de los frutos fue superior en todos los tratamientos (12,81-29,47 mg P 100 g<sup>-1</sup> PF). Por otro lado, otros autores coinciden

con la bibliografía, obteniendo un contenido inferior de P respecto al de nuestro estudio (**Tabla IV.119**); según Hernández-Suárez *et al.* (2007), en su publicación con diferentes variedades de tomate obtuvieron 271 mg P Kg<sup>-1</sup> PF en tomate Thomas.

Con una deficiencia importante de este elemento, se observa en hojas viejas unas tonalidades púrpuras intervenales y también sobre el envés. La planta toma un aspecto raquíptico, crece lentamente y se produce un retraso en la fase de maduración.

Se observó que la campaña sí afectó claramente (tamaño del efecto elevado) a los valores medios encontrados en el fósforo ( $F_{1,118}=111,55$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,480$ ).

**Tabla IV.119.** Características descriptivas para la variable P (g 100 g<sup>-1</sup> MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,470 (0,045)	0,398 a 0,542	0,434 (0,019)	0,404 a 0,464
	4º	0,241 (0,029)	0,194 a 0,288	0,373 (0,025)	0,332 a 0,413
	8º	0,268 (0,041)	0,203 a 0,333	0,328 (0,075)	0,209 a 0,447
T2	2º	0,310 (0,033)	0,257 a 0,362	0,461 (0,038)	0,400 a 0,522
	4º	0,210 (0,078)	0,086 a 0,334	0,356 (0,025)	0,316 a 0,396
	8º	0,266 (0,012)	0,247 a 0,285	0,417 (0,022)	0,382 a 0,451
T3	2º	0,372 (0,115)	0,189 a 0,555	0,483 (0,052)	0,401 a 0,565
	4º	0,285 (0,050)	0,207 a 0,362	0,416 (0,019)	0,385 a 0,446
	8º	0,347 (0,024)	0,309 a 0,385	0,372 (0,044)	0,302 a 0,442
T4	2º	0,347 (0,056)	0,258 a 0,436	0,482 (0,073)	0,366 a 0,598
	4º	0,285 (0,051)	0,203 a 0,367	0,452 (0,030)	0,405 a 0,499
	8º	0,281 (0,023)	0,245 a 0,316	0,428 (0,094)	0,279 a 0,577
T5	2º	0,384 (0,045)	0,312 a 0,455	0,442 (0,050)	0,356 a 0,528
	4º	0,299 (0,033)	0,246 a 0,352	0,430 (0,026)	0,387 a 0,472
	8º	0,299 (0,029)	0,254 a 0,344	0,366 (0,030)	0,320 a 0,412

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

El tipo de tratamiento también influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=2,78$ ;  $p=0,031$ ;  $\omega^2=0,056$ ), con un tamaño del efecto moderado, sobre los niveles de fósforo.

Aunque se encontró que el efecto del tratamiento era significativo, cuando se realizan las comparaciones dos a dos entre tratamientos no se observan diferencias significativas. Esto unido a que la potencia del contraste estadístico es relativamente alta (75%) y el tamaño del efecto moderado, permite concluir que no hay evidencia del efecto del tratamiento sobre los niveles de P (**Tabla IV.120**).

**Tabla IV.120.** Diferencias medias en los valores de P según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,016	1,000	-0,029	0,061
	T3	-0,027	0,929	-0,072	0,018
	T4	-0,027	0,924	-0,072	0,018
	T5	-0,017	1,000	-0,063	0,028
T2	T3	-0,043	0,080	-0,088	0,003
	T4	-0,043	0,080	-0,088	0,003
	T5	-0,033	0,369	-0,078	0,012
T3	T4	0,000	1,000	-0,045	0,045
	T5	0,009	1,000	-0,036	0,054
T4	T5	0,009	1,000	-0,036	0,054

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En cuanto a los niveles de fósforo según el racimo (**Tabla IV.121**) parece que este factor afectó significativamente ( $F_{2,117}=30,70$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,331$ ) sobre el contenido de P. El tamaño del efecto fue grande y se mostró claramente lo apuntado anteriormente, que los niveles de P fueron significativamente mayores en los 2º racimos respecto a los 4 y los 8º. Este hecho coincide con lo observado en el resto de macroelementos, a excepción del Na.

En relación al contenido de fósforo, Rosales *et al.* (2010), en su estudio con tomate cherry no encontraron diferencias significativas entre invernaderos con diferentes condiciones de cultivo.

**Tabla IV.121.** Diferencias medias en los valores de P según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,084	<0,001	0,054	0,114
	8º	0,081	<0,001	0,052	0,111
4º	8º	-0,003	1,000	-0,032	0,027

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

De forma global, se concluye que fue T4 el que obtuvo los frutos con mayor contenido en minerales. Además, este tratamiento se vio influenciado por la radiación UVB de forma positiva, en la mayoría de los elementos analizados.

Por otro lado, fueron los racimos inferiores los que obtuvieron los valores superiores de todos los macroelementos, con respecto a los 8º racimos.

#### IV.7.4. Microelementos

Los microelementos o también llamados elementos traza se encuentran principalmente en la semilla del fruto de tomate (Toor y Savage, 2005) y aparecen en los vegetales en cantidades muy bajas. Su contenido en el fruto puede variar bastante dependiendo de las condiciones de crecimiento de la planta (Gil-Guerrero *et al.*, 2009), de la variedad y de la zona geográfica donde se hayan cultivado, la cual está influenciada, a su vez, por el contenido mineral del suelo de cultivo y el agua de irrigación (Casañas-Rivero *et al.*, 2003). Las deficiencias de algunos de ellos, como Fe y Zn están relacionadas con trastornos de la salud, que puede dañar el ADN y por tanto, causar lesiones oxidativas. Todos estos problemas de salud se pueden prevenir con un mayor consumo de frutas y verduras (Welch, 2002).

##### IV.7.4.1. Hierro (Fe)

El hierro es fundamental para la fotosíntesis, y participa en la acumulación de carbohidratos en las hojas, que son los órganos de reserva.

En la **Tabla IV.122** se exponen los para la variable hierro (0,15-0,52 mg Fe 100 g<sup>-1</sup> PF), los cuales fueron inferiores según la bibliografía de referencia; Guil-Guerrero *et al.* (2009), obtuvieron valores de 1445-3513 µg Fe 100 g<sup>-1</sup> PF en distintas

variedades de tomate analizadas. Por otro lado, Hernández-Suárez *et al.* (2007) determinaron un contenido de Fe de 2,07 mg Kg<sup>-1</sup> PF para una variedad de tomate similar a la de nuestro estudio (tomate Thomas), que coincide con lo reportado por Gundersen *et al.* (2001) en tomate de invernadero (2,7 mg Fe Kg<sup>-1</sup> PF).

**Tabla IV.122.** Características descriptivas para la variable Fe ( $\mu\text{g g}^{-1}$  MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	29,08 (4,20)	22,39 a 35,76	70,03 (55,52)	-18,32 a 158,37
	4º	48,55 (23,47)	11,20 a 85,90	19,65 (2,705)	15,35 a 23,95
	8º	57,30 (23,12)	20,51 a 94,09	26,95 (12,56)	6,96 a 46,94
T2	2º	32,25 (20,17)	0,15 a 64,35	26,30 (4,67)	18,86 a 33,74
	4º	29,38 (13,64)	7,67 a 51,08	26,98 (7,02)	15,80 a 38,15
	8º	38,43 (9,40)	23,46 a 53,39	29,73 (15,92)	4,39 a 55,06
T3	2º	46,73 (17,67)	18,61 a 74,84	26,55 (3,77)	20,54 a 32,56
	4º	35,28 (15,35)	10,84 a 59,71	31,33 (14,95)	7,53 a 55,12
	8º	43,48 (16,66)	16,97 a 69,98	22,85 (4,08)	16,36 a 29,34
T4	2º	85,28 (50,34)	5,17 a 165,38	40,73 (8,85)	26,65 a 54,80
	4º	30,63 (5,84)	21,33 a 39,92	30,65 (4,28)	23,84 a 37,46
	8º	37,53 (5,79)	28,31 a 46,74	25,48 (3,33)	20,18 a 30,77
T5	2º	66,13 (22,86)	29,74 a 102,51	24,35 (5,44)	15,70 a 33,00
	4º	25,93 (3,76)	19,95 a 31,90	33,10 (8,16)	20,11 a 46,09
	8º	53,10 (14,54)	29,96 a 76,24	25,18 (1,94)	22,08 a 28,27

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

La campaña no afectó significativamente a los valores encontrados de hierro ( $F_{1,118}=12,83$ ;  $p=0,001$ ;  $\omega^2=0,090$ ).

Se encontró que el tipo de tratamiento no influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=1,57$ ;  $p=0,240$   $\omega^2=0,013$ ) sobre los niveles de hierro. El tamaño del efecto encontrado fue muy pequeño por lo que puede concluir es que es poco probable que el tratamiento tenga ningún efecto sobre las concentraciones de hierro.

Por tanto, no se estableció ningún tipo de correlación lineal entre los tres tipos de radiaciones y el contenido de hierro analizado en los diferentes tratamientos.

Según el racimo (**Tabla IV.123**), parece que este factor afectó significativamente ( $F_{2,117}=4,60$ ;  $p=0,012$ ;  $\omega^2=0,057$ ) sobre los niveles de Fe. El tamaño del efecto, no obstante, fue moderado.

**Tabla IV.123.** Diferencias medias en los valores de Fe según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	13,60	0,010	2,54	24,65
	8º	8,74	0,171	-2,31	19,79
4º	8º	-4,85	0,863	-15,91	6,20

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Puede comprobarse que en general y sin tener en cuenta el factor tratamiento, los niveles de hierro son mayores en el nivel inferior respecto al nivel intermedio pero no respecto al nivel superior (**Tabla IV.123**).

#### IV.7.4.2. Cobre (Cu)

Respecto al contenido en Cu, en la **Tabla IV.124** se muestran los estadísticos descriptivos, segmentados por tipo de tratamiento, número de racimo y campaña (0,03-0,10 mg Cu 100 g<sup>-1</sup> PF).

Al comparar con la literatura científica, se observó que Ordoñez-Santos *et al.* (2011) en su estudio con tomates crecidos en invernadero lograron un contenido de Cu similar al alcanzado en nuestros frutos (0,05- 0,11 mg 100 g<sup>-1</sup> PF) que a su vez fue inferior al estudio de Fernández-Ruiz *et al.* (2011) con diferentes variedades de tomate (0,43-0,74 mg Cu 100g<sup>-1</sup> PF).

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en el cobre ( $F_{1,118}=4,71$ ;  $p=0,032$ ;  $\omega^2=0,030$ ). El tamaño del efecto fue bajo-moderado y por tanto la campaña parece afectar a los niveles de cobre pero en un grado relativamente pequeño.

**Tabla IV.124.** Características descriptivas para la variable Cu ( $\mu\text{g g}^{-1}$  MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	9,13 (1,85)	6,19 a 12,06	16,58 (13,00)	-4,11 a 37,26
	4º	13,50 (9,39)	-1,44 a 28,44	6,05 (0,75)	4,86 a 7,24
	8º	6,10 (2,65)	1,88 a 10,32	6,83 (1,41)	4,59 a 9,06
T2	2º	5,83 (0,91)	4,38 a 7,27	9,40 (0,96)	7,88 a 10,92
	4º	6,98 (2,47)	3,04 a 10,91	7,75 (2,37)	3,97 a 11,53
	8º	5,63 (0,33)	5,10 a 6,15	8,28 (1,54)	5,82 a 10,73
T3	2º	8,38 (3,05)	3,52 a 13,23	10,03 (1,06)	8,33 a 11,72
	4º	6,48 (1,85)	3,53 a 9,42	9,05 (4,34)	2,14 a 15,96
	8º	4,85 (0,64)	3,83 a 5,87	7,30 (1,08)	5,58 a 9,02
T4	2º	8,98 (1,68)	6,31 a 11,64	10,70 (2,70)	6,40 a 15,00
	4º	7,10 (0,51)	6,29 a 7,91	8,93 (0,90)	7,50 a 10,35
	8º	4,90 (0,34)	4,36 a 5,44	7,78 (1,37)	5,59 a 9,96
T5	2º	9,08 (1,92)	6,03 a 12,12	7,68 (1,25)	5,68 a 9,67
	4º	5,70 (0,83)	4,38 a 7,02	10,48 (1,38)	8,28 a 12,67
	8º	9,75 (1,98)	6,60 a 12,90	7,08 (0,89)	5,66 a 8,49

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

Sin embargo, el tipo de tratamiento no influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=1,52$ ;  $p=0,201$ ;  $\omega^2=0,017$ ) sobre los niveles de Cu. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación fue bajo por lo que puede concluirse que el tipo de tratamiento no está relacionado con los niveles de cobre.

Al igual que ocurre con el contenido de Fe, los valores de Cu tampoco se vieron afectados por el tipo de tratamiento, por lo que no pudo establecerse ninguna relación estadística entre el efecto de las diferentes radiaciones y el contenido de Cu en los frutos.

En cuanto a los niveles de Cu según el racimo parece que este factor afecta significativamente ( $F_{2,117}=5,61$ ;  $p=0,005$ ;  $\omega^2=0,072$ ) sobre la variable Cu. El tamaño del efecto fue más bien moderado por lo que aunque las diferencias son significativas, desde el punto de vista práctico los cambios son poco evidentes (**Tabla IV.125**).

**Tabla IV.125.** Diferencias medias en los valores de Cu según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	1,38	0,278	-0,60	3,35
	8º	2,73	0,003	0,76	4,70
4º	8º	1,35	0,294	-0,62	3,32

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Tanto sólo se encontraron diferencias entre el nivel inferior y el superior respecto a los niveles de Cu. Parece que se produce una gradación de la concentración según el nivel del racimo.

#### IV.7.4.3. Manganeso (Mn)

Junto con el hierro y el magnesio, el Mn es un elemento traza fundamental para la fotosíntesis.

El contenido de Mn de nuestro estudio se puede apreciar en la **Tabla IV.126** (0,04-0,11 mg g<sup>-1</sup> PF) donde se recogen los estadísticos descriptivos para la variable manganeso, segmentados por tipo de tratamiento, número de racimo y campaña.

Nuestros resultados fueron similares a los observados por otros autores en sus trabajos con tomate en diferentes tipos de cultivo (0,05-0,13 mg Kg<sup>-1</sup> PF), según Ordóñez-Santos *et al.* (2011), que coinciden con los alcanzados por Hernández-Suárez *et al.* (2007) con un contenido de Mn de 0,67 mg Kg<sup>-1</sup> PF en tomate Thomas.

La campaña afectó significativamente a los valores medios encontrados en el manganeso ( $F_{1,118}=10,58$ ;  $p=0,002$ ;  $\omega^2=0,074$ ). El tamaño del efecto fue moderado.

**Tabla IV.126.** Características descriptivas para la variable Mn ( $\mu\text{g g}^{-1}$  MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	12,9 (4,4)	6,0 a 19,9	9,4 (6,1)	-0,3 a 19,0
	4º	8,3 (4,0)	1,9 a 14,7	5,3 (1,0)	3,7 a 6,8
	8º	7,2 (1,7)	4,5 a 9,9	9,1 (4,3)	2,3 a 16,0
T2	2º	8,2 (2,7)	3,9 a 12,6	6,7 (0,9)	5,2 a 8,2
	4º	6,5 (3,2)	1,4 a 11,5	4,7 (1,1)	2,8 a 6,5
	8º	7,9 (0,9)	6,4 a 9,3	7,9 (0,1)	7,6 a 8,2
T3	2º	12,2 (3,0)	7,4 a 17,0	10,0 (4,1)	3,5 a 16,5
	4º	8,1 (2,6)	3,9 a 12,3	8,7 (4,5)	1,6 a 15,9
	8º	9,3 (1,3)	7,2 a 11,3	7,8 (1,1)	6,0 a 9,6
T4	2º	18,1 (1,8)	15,3 a 20,9	6,2 (1,3)	4,0 a 8,3
	4º	13,4 (2,9)	8,8 a 17,9	10,3 (1,9)	7,2 a 13,4
	8º	7,3 (0,9)	5,9 a 8,7	10,5 (2,4)	6,7 a 14,2
T5	2º	14,6 (1,9)	11,6 a 17,6	8,4 (2,3)	4,8 a 12,0
	4º	8,8 (1,1)	7,1 a 10,5	9,1 (1,5)	6,7 a 11,4
	8º	7,1 (0,7)	6,0 a 8,3	8,2 (1,1)	6,5 a 9,9

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% $\times$ º de confianza. N total=60 por campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=5,14$ ;  $p=0,001$ ;  $\omega^2=0,121$ ) sobre el contenido de Mn. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación fuerte.

En la **Tabla IV.127** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de tratamiento con la corrección de Bonferroni en el nivel de significación.

Sólo se encontraron diferencias significativas entre T2 y T4. El resto de tratamientos presentaron valores intermedios entre ambos.

De nuevo nos encontramos con la presencia en T4 de un mayor contenido en minerales y elementos traza en comparación con los tratamientos restantes.

**Tabla IV.127.** Diferencias medias en los valores Mn según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	1,73	0,558	-0,84	4,30
	T3	-0,65	1,000	-3,22	1,92
	T4	-2,25	0,138	-4,82	0,32
	T5	-0,67	1,000	-3,24	1,90
T2	T3	-2,39	0,089	-4,96	0,18
	T4	-3,98	<0,001	-6,55	-1,41
	T5	-2,40	0,085	-4,97	0,17
T3	T4	-1,59	0,787	-4,16	0,98
	T5	-0,02	1,000	-2,59	2,55
T4	T5	1,58	0,818	-1,00	4,15

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

El análisis de correlaciones (r-Pearson) muestra una relación inversa ( $r=-0,3$  y  $r^2=11\%$ ) entre el contenido en Mg y la transmisión de radiación UVA, lo que justifica que los tomates cultivados en T4 (con uno de los menores porcentajes de transmisión de la radiación en el material virgen y al finalizar la 1ª campaña) muestren los mayores contenidos en Mn, comparados con el resto de tratamientos.

En cuanto a los niveles de Mn según el racimo parece que este factor afectó significativamente ( $F_{2,117}=7,97$ ;  $p=0,001$ ;  $\omega^2=0,104$ ) sobre el contenido de Mn. El tamaño del efecto fue moderado-alto (**Tabla IV.128**).

**Tabla IV.128.** Diferencias medias en los valores de Mn según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	2,36	0,003	0,67	4,05
	8º	2,44	0,002	0,75	4,13
4º	8º	0,08	1,000	-1,61	1,77

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Los máximos niveles de Mn se localizan en los racimos inferiores y son significativamente superiores a los mostrados en racimos intermedios y altos.

#### IV.7.4.4. Cinc (Zn)

El contenido de Zn varió según los diferentes tratamientos y racimos de nuestros frutos, de 0,10 a 0,17 mg 100g<sup>-1</sup> PF, y fue inferior a los valores obtenidos para este vegetal según la literatura científica consultada.

Ordóñez-Santos *et al.* (2011) obtuvieron valores de Zn en tomates crecidos bajo diferentes condiciones de cultivo de 0,14-0,33 mg Zn 100 g<sup>-1</sup> PF que se situaron dentro del rango obtenido por Fernández-Ruiz *et al.* (2009) en sus diferentes variedades estudiadas (0,17-0,70 mg Zn 100 g<sup>-1</sup> PF).

En la **Tabla IV.129** se muestran los estadísticos descriptivos para la variable cinc segmentados por tipo de tratamiento, número de racimo y campaña.

**Tabla IV.129.** Características descriptivas para la variable Zn ( $\mu\text{g g}^{-1}$  MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	24,4 (2,6)	20,2 a 28,5	27,7 (4,8)	20,1 a 35,3
	4º	17,7 (1,8)	14,7 a 20,6	22,8 (2,4)	19,1 a 26,6
	8º	21,5 (4,3)	14,7 a 28,3	22,4 (4,9)	14,6 a 30,2
T2	2º	16,7 (3,8)	10,6 a 22,8	25,8 (1,0)	24,1 a 27,5
	4º	16,0 (6,3)	5,9 a 26,1	22,3 (1,9)	19,2 a 25,3
	8º	22,1 (1,0)	20,4 a 23,7	25,4 (2,4)	21,6 a 29,2
T3	2º	22,2 (6,3)	12,1 a 32,2	27,6 (4,0)	21,3 a 33,9
	4º	16,7 (4,8)	9,0 a 24,4	23,9 (3,0)	19,2 a 28,7
	8º	19,3 (2,5)	15,2 a 23,3	21,2 (2,2)	17,7 a 24,7
T4	2º	23,3 (4,2)	16,6 a 30,0	27,1 (3,4)	21,6 a 32,6
	4º	21,4 (3,6)	15,6 a 27,2	24,1 (0,9)	22,5 a 25,6
	8º	20,4 (2,5)	16,4 a 24,4	26,1 (6,5)	15,6 a 36,5
T5	2º	26,3 (4,2)	19,6 a 32,9	25,8 (3,0)	21,0 a 30,6
	4º	18,4 (1,5)	16 a 20,8	25,0 (2,6)	20,8 a 29,1
	8º	21,7 (1,4)	19,4 a 24,0	23,3 (1,9)	20,3 a 26,3

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

La campaña afectó significativamente a los valores medios encontrados en el cinc ( $F_{1,118}=40,61$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,248$ ) con un tamaño del efecto considerable.

Se encontró que el tipo de tratamiento no influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=1,90$ ;  $p=0,115$ ;  $\omega^2=0,029$ ) sobre los niveles de Zn. El tamaño del efecto fue bajo por lo que puede descartarse la influencia del tipo de tratamiento.

En cuanto a los niveles de cinc según el racimo parece que este factor sí afectó significativamente ( $F_{2,117}=11,82$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,153$ ) sobre el contenido de Zn. El tamaño del efecto además es alto.

En la **Tabla IV.130** se muestran las comparaciones múltiples y se observa que efectivamente los niveles de cinc fueron significativamente mayores en los tomates de los niveles más bajos que en los niveles medios y altos. Entre los niveles medios y altos no parecen existir diferencias.

**Tabla IV.130.** Diferencias medias en los valores de Zn según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	<0,001	1,91	5,81
	8º	0,012	0,40	4,30
4º	8º	0,185	-3,46	0,44

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

#### IV.7.4.5. Boro (B)

El boro juega un importante papel en la fertilización de las plantas, teniendo necesidades particularmente elevadas cuando el crecimiento en peso de las hojas es más alto y durante la floración y cuajado de frutos. El contenido en boro de los órganos reproductivos (anteras, estilos, estigmas, ovarios) es especialmente alto. Su déficit provoca la caída de flores durante el proceso de floración y falta de cuaje. En fruto pueden aparecer surcos, acorchados, y maduración irregular tal como ocurría con el calcio, ya que ambos forman parte de la pared de las células.

En la **Tabla IV.131** se muestran los estadísticos descriptivos para la variable boro (5,5-15,8  $\mu\text{g g}^{-1}$  MS), los cuales se vieron afectados por la campaña y por el tipo de tratamiento.

**Tabla IV.131.** Características descriptivas para la variable B ( $\mu\text{g g}^{-1}$  MS) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=4)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	11,7 (1,0)	10,0 a 13,4	7,2 (1,3)	5,2 a 9,2
	4º	9,1 (1,2)	7,1 a 11,0	6,8 (0,8)	5,4 a 8,1
	8º	13,0 (1,4)	10,8 a 15,2	9,8 (2,2)	6,3 a 13,3
T2	2º	9,5 (0,4)	8,8 a 10,1	9,4 (1,5)	7,1 a 11,7
	4º	6,5 (1,8)	3,5 a 9,4	5,5 (0,9)	4,1 a 6,9
	8º	14,6 (2,0)	11,4 a 17,7	11,6 (2,6)	7,4 a 15,8
T3	2º	8,1 (2,9)	3,5 a 12,7	9,0 (1,5)	6,6 a 11,5
	4º	8,8 (2,2)	5,4 a 12,3	6,3 (1,0)	4,7 a 7,8
	8º	15,8 (1,9)	12,7 a 18,8	12,6 (0,6)	11,7 a 13,5
T4	2º	13,6 (1,8)	10,8 a 16,4	7,3 (2,2)	3,8 a 10,8
	4º	14,4 (0,1)	14,1 a 14,6	12,8 (0,8)	11,5 a 14,1
	8º	12,8 (1,7)	10,1 a 15,6	10,3 (1,1)	8,5 a 12,1
T5	2º	12,0 (2,1)	8,6 a 15,3	6,4 (0,8)	5,2 a 7,6
	4º	13,7 (1,6)	11,1 a 16,2	10,7 (2,9)	6 a 15,3
	8º	9,3 (2,1)	5,9 a 12,7	8,9 (1,4)	6,7 a 11,1

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

La campaña afectó claramente (tamaño del efecto elevado) a los valores medios encontrados en el boro ( $F_{1,118}=55,7$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,313$ ). El tamaño del efecto fue, además, grande.

El tipo de tratamiento también influyó de forma de significativa ( $F_{4,115}=6,27$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,149$ ) sobre los niveles de B con un tamaño del efecto alto.

En la **Tabla IV.132** puede observarse que T4 expuso valores significativamente mayores a todos los demás tratamientos.

El contenido en B mostró una relación inversa con la radiación UVA ( $r=-0,7$  y  $r^2= 46\%$ ), lo que justifica que los tomates cultivados en T4 (con bajo porcentaje de transmisión de radiación UVA) muestren los valores mas altos de boro, sin que podamos comparar estos resultados con los obtenidos por otros autores ante la ausencia de trabajos que relacionen el contenido en boro con el tipo e intensidad de radiación transmitida a través de materiales de cobertura.

**Tabla IV.132.** Diferencias medias en los valores de B según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	0,10	1,000	-1,45	1,65
	T3	-0,50	1,000	-2,05	1,04
	T4	-2,28	0,001	-3,82	-0,73
	T5	-0,56	1,000	-2,11	0,99
T2	T3	-0,60	1,000	-2,15	0,94
	T4	-2,38	<0,001	-3,92	-0,83
	T5	-0,66	1,000	-2,21	0,89
T3	T4	-1,77	0,014	-3,32	-0,22
	T5	-0,05	1,000	-1,60	1,49
T4	T5	1,72	0,019	0,17	3,27

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Rosales *et al.* (2010), no observaron diferencias significativas en el contenido de microelementos entre los dos invernaderos de tomate cherry cultivados bajo condiciones diferentes de estrés ambiental.

En cuanto a los niveles de B según el racimo parece que este factor afecta significativamente ( $F_{2,117}=22,60$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,265$ ) sobre el contenido de B. El tamaño del efecto fue grande.

Según se observa en la **Tabla IV.133**, el racimo superior mostró unas concentraciones de B superiores a los otros dos niveles.

**Tabla IV.133.** Diferencias medias en los valores boro según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	-0,01	1,000	-1,03	1,01
	8º	-2,44	0,000	-3,46	-1,42
4º	8º	-2,43	0,000	-3,45	-1,41

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Hasta el momento, la literatura ha evaluado la influencia del cultivar, de la variedad, el período de muestreo, el estado de maduración como aspectos influyentes en el contenido de minerales y elementos traza en frutos. Sin embargo, existe escasa información disponible sobre cómo las condiciones ambientales, concretamente radiaciones y temperaturas, afectan al contenido de los elementos esenciales de frutos de tomate.

#### IV.8. VARIABLES RELACIONADAS CON LA CAPACIDAD ANTIOXIDANTE DEL FRUTO

Son muchos los autores que han investigado acerca de las propiedades antioxidantes del tomate. Se ha reportado que los compuestos bioactivos promueven la salud humana y que la actividad antioxidante de los extractos de tomate están fuertemente influenciados por prácticas culturales y aspectos agronómicos, particularmente la variedad del genotipo y el estado de madurez de la fruta (Cano *et al.*, 2003; Dumas *et al.*, 2003, García y Barrett, 2006).

##### IV.8.1. Actividad antioxidante hidrofílica

Ya que los productos alimenticios son matrices, es apropiado medir la capacidad antioxidante total del fruto y así poder conocer sus beneficios para la salud (Molyneux *et al.*, 2004). Existe un gran número de ensayos que pueden ser empleados para evaluar la capacidad antioxidante. Para las muestras de tomate de este estudio se usaron dos métodos diferentes: ensayo TEAC y ORAC.

Uno de los mayores problemas que se presenta es escoger el método de análisis químico más adecuado debido a la especificidad de cada método para una sola propiedad. Por esta razón, y con el fin de determinar de forma más precisa la capacidad antioxidante, se recomienda el uso de varios métodos, más que depender de los resultados de un solo método antioxidante (Schleiser *et al.*, 2002; Blasco *et al.*, 2008).

La actividad hidrofílica en tomate está conferida principalmente por la vitamina C y compuestos fenólicos solubles. Representó alrededor de 92% de la actividad antioxidante cuando fue determinado mediante ambos ensayos, por un lado el método que determina la capacidad de absorción de radicales oxígeno (ORAC) (Wu *et al.*, 2004) y por otro, el ensayo que analiza la capacidad en

equivalentes de Trolox (TEAC) (Toor y Savage, 2005), pero según la bibliografía, si hubiéramos utilizado el sistema xantina oxidasa/xantina el porcentaje de esta actividad antioxidante medida se ve reducida al 87% (Lavelli *et al.*, 2000).

#### IV.8.1.1. Ensayo de capacidad antioxidante: "Trolox Equivalent Antioxidant Capacity" (TEAC)

Este ensayo está basado en la reducción del radical catiónico coloreado ABTS<sup>•+</sup>. La capacidad antioxidante es cuantificada análogamente como la concentración de vitamina E soluble o Trolox (Becker *et al.*, 2004).

Los valores de actividad antioxidante para tomate Brenda, observados en la **Tabla IV.134** (0,41-1,51  $\mu\text{mol g}^{-1}$  PF), fueron inferiores a los reportados por Rosales (2008) que obtuvo frutos de tomate cherry de invernadero con una actividad antioxidante entre 1,11-2,23  $\mu\text{mol g}^{-1}$  PF.

El TEAC hidrofílico fue más elevado en los 4<sup>º</sup> y 8<sup>º</sup> racimos respecto al nivel inferior, en especial en la primera campaña, aunque no se aprecia en la tabla anterior grandes diferencias entre campañas.

Según el análisis de la varianza, se observó que la campaña no afectó significativamente a los valores encontrados en el TEAC hidrofílico ( $F_{1,238}=0,291$ ;  $p=0,591$ ).

Sin embargo, el tipo de tratamiento si influyó de forma de significativa ( $F_{4,175}=7,21$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,121$ ) sobre los niveles de TEAC hidrofílico. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación alta.

**Tabla IV.134.** Características descriptivas para la variable TEAC hidrofílico ( $\mu\text{mol}$  de equivalentes de Trolox  $\text{g}^{-1}$  PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=6)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,74 (0,11)	0,62 a 0,87	0,81 (0,13)	0,68 a 0,94
	4º	0,41 (0,05)	0,36 a 0,46	0,64 (0,05)	0,58 a 0,69
	8º	0,86 (0,04)	0,82 a 0,90	0,92 (0,09)	0,83 a 1,01
T2	2º	0,94 (0,06)	0,88 a 1,00	0,91 (0,15)	0,75 a 1,07
	4º	0,48 (0,09)	0,40 a 0,57	0,57 (0,22)	0,33 a 0,80
	8º	1,14 (0,14)	0,99 a 1,29	1,09 (0,07)	1,02 a 1,17
T3	2º	1,35 (0,14)	1,20 a 1,50	0,85 (0,20)	0,64 a 1,06
	4º	0,52 (0,04)	0,48 a 0,56	0,41 (0,10)	0,31 a 0,51
	8º	1,02 (0,05)	0,97 a 1,07	1,47 (0,21)	1,25 a 1,69
T4	2º	0,50 (0,05)	0,45 a 0,55	0,63 (0,09)	0,53 a 0,73
	4º	0,47 (0,07)	0,39 a 0,55	0,82 (0,09)	0,73 a 0,91
	8º	1,11 (0,06)	1,05 a 1,17	1,18 (0,08)	1,1 a 1,26
T5	2º	1,51 (0,11)	1,39 a 1,63	0,49 (0,06)	0,43 a 0,55
	4º	0,57 (0,06)	0,50 a 0,64	0,68 (0,07)	0,60 a 0,75
	8º	1,23 (0,12)	1,10 a 1,35	1,15 (0,06)	1,09 a 1,22

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=90 por campaña.

Atendiendo solamente al efecto del tratamiento, pueden establecerse dos grupos diferenciados: el primero de ellos formado por T1 y T4 con valores más bajos de TEAC hidrofílico y un segundo grupo con T3 y T5 con valores más elevados. El tratamiento 2 ha mostrado unos valores intermedios entre los dos grupos (**Tabla IV.135**).

Además, la actividad antioxidante mediante ensayo TEAC fue positivamente correlacionada con los tres tipos de radiación analizados; con la radiación UVB y PAR con un efecto alto según r-Pearson;  $r=0,6$  y  $r^2=40,2\%$  y  $r=0,6$  y  $r^2=39,2\%$ , respectivamente, y con UVA se observó una relación moderada-alta ( $r=0,4$  y  $r^2=15,7\%$ ). Así se explica que T5, cuya composición del material de cubierta presenta alta permeabilidad a los tres tipos de radiación, muestre los valores más altos de

actividad antioxidante hidrofílica en sus frutos, siendo T3 más transparente a la radiación PAR, lo cual también afectó al contenido antioxidante hidrofílico.

**Tabla IV.135.** Diferencias medias en los valores TEAC hidrofílico según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-0,12	0,079	-0,26	0,01
	T3	-0,21	<0,001	-0,34	-0,07
	T4	-0,05	0,791	-0,19	0,08
	T5	-0,21	<0,001	-0,34	-0,07
T2	T3	-0,08	0,457	-0,21	0,05
	T4	0,07	0,597	-0,06	0,20
	T5	-0,08	0,424	-0,22	0,05
T3	T4	0,15	0,018	0,02	0,28
	T5	0,00	1,000	-0,14	0,13
T4	T5	-0,15	0,015	-0,29	-0,02

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Estos resultados están de acuerdo con los propuestos Rosales *et al.* (2010) donde también se sugiere que durante un período de estrés producido por el aumento de las temperaturas y la radiación solar en el interior del invernadero, incrementa la capacidad antioxidante en los frutos de tomate cherry.

También se encontró que el número de racimo (**Tabla IV.136**) influyó de forma significativa ( $F_{2,177}=112,77$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,554$ ) sobre los niveles de TEAC hidrofílica. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación también elevada entre el número de racimo y los valores TEAC hidrofílica.

Por tanto, a la vista de nuestros resultados podemos observar que por lo general, para todos los tratamientos la mayor actividad antioxidante según el ensayo TEAC hidrofílico fue en los 2º y 8º respecto a los 4º racimos en ambas campañas, siendo T1 el que mostró los valores más bajos de de TEAC, ya que es el tratamiento que mostró menores porcentajes de transmisión de las radiaciones UVB y PAR en los distintos materiales vírgenes evaluados y menores incrementos en estos porcentajes de transmisión al final de ambas campañas.

**Tabla IV.136.** Diferencias medias en los valores TEAC hidrofílico según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,32	<0,001	0,23	0,41
	8º	-0,24	<0,001	-0,33	-0,15
4º	8º	-0,56	<0,001	-0,65	-0,47

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Para el efecto del racimo, según la **Tabla IV.136**, se detectaron valores significativamente mayores en el 8º racimo respecto a los racimos inferiores. Esto podría explicar el hecho de que la mayor incidencia de radiación solar en los frutos del 8º racimo conlleva a una mayor cantidad en la síntesis de metabolitos secundarios con carácter antioxidante para que el fruto contrarreste el estrés oxidativo que le genera dicha radiación.

Los antioxidantes secundarios que contribuyen a la actividad antioxidante dentro de la fase hidrofílica, operan a través de cierto número de mecanismos, incluyendo su unión a metales pesados, captación del oxígeno, conversión de hidroperóxidos a especies no radicales, así como la absorción de radiación UV entre otras (Gordon, 2001). Se puede observar en resultados posteriores dentro de este trabajo, que los niveles de vitamina C, como antioxidante secundario, no mostraron diferencias en función de los tratamientos, pero sí con el nivel de racimo. En los antioxidantes polifenólicos también se observan valores superiores en los frutos de los racimos más altos respecto a los que crecen en los 2º racimos (**Tabla IV.145**), lo que justificaría la mayor actividad antioxidante mostrada en los racimos superiores.

Los resultados sugieren por tanto, que la radiación UV podría afectar a la actividad antioxidante hidrofílica en el fruto de tomate, analizada según el método TEAC.

#### IV.8.1.2. Ensayo de capacidad antioxidante: "Oxygen Radical Absorbance Capacity" (ORAC)

El otro método utilizado de análisis de actividad antioxidante en fase hidrofílica fue el ensayo ORAC, que como ya se ha descrito en el capítulo de Material y Métodos, se trata de un ensayo *in vitro*, usado para evaluar la actividad

antioxidante de los fitoquímicos solubles en agua frente a la oxidación inducida del radical peroxilo iniciada por la descomposición térmica de AAPH.

En la **Tabla IV.137** se muestran los estadísticos descriptivos para esta variable, en un rango de valores de 1,00-3,58  $\mu\text{mol g}^{-1}$  PF.

Se observó un contenido más elevado de ORAC en los 4º y 8º racimos respecto a los 2º, en especial en la primera campaña, aunque no se aprecian en la tabla siguiente grandes diferencias entre campañas. Respecto a la influencia del racimo, parecen existir diferencias claras, en especial en algunos tratamientos.

**Tabla IV.137.** Características descriptivas para la variable ORAC hidrofílico ( $\mu\text{mol}$  de equivalentes de Trolox  $\text{g}^{-1}$  PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=3)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	1,89 (0,44)	0,79 a 2,99	1,69 (0,21)	1,17 a 2,22
	4º	3,58 (0,29)	2,86 a 4,31	1,96 (0,14)	1,60 a 2,31
	8º	2,48 (0,06)	2,32 a 2,64	2,64 (0,14)	2,30 a 2,98
T2	2º	2,09 (0,30)	1,35 a 2,83	2,13 (0,50)	0,90 a 3,36
	4º	3,27 (0,43)	2,19 a 4,35	2,06 (0,29)	1,34 a 2,79
	8º	2,97 (0,12)	2,66 a 3,28	3,29 (0,85)	1,17 a 5,42
T3	2º	1,86 (0,28)	1,17 a 2,55	1,85 (0,49)	0,65 a 3,06
	4º	2,11 (0,20)	1,62 a 2,60	1,68 (0,10)	1,42 a 1,94
	8º	2,98 (0,08)	2,77 a 3,18	3,42 (0,60)	1,92 a 4,92
T4	2º	1,00 (0,26)	0,35 a 1,65	2,16 (0,12)	1,87 a 2,45
	4º	1,44 (0,05)	1,31 a 1,57	2,32 (0,51)	1,06 a 3,58
	8º	2,65 (0,18)	2,21 a 3,09	2,80 (0,01)	2,76 a 2,84
T5	2º	2,40 (0,09)	2,18 a 2,62	1,58 (0,20)	1,08 a 2,08
	4º	1,87 (0,05)	1,74 a 2,00	2,09 (0,21)	1,56 a 2,61
	8º	2,24 (0,30)	1,49 a 2,98	2,30 (0,26)	1,67 a 2,94

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. Mín.: mínimo. Máx.: Máximo. N total=45 por campaña.

De acuerdo con el análisis de la varianza, se vio que la campaña claramente no afecta significativamente a los valores encontrados en el ORAC hidrofílico

( $F_{1,88}=0,318$ ;  $p=0,574$ ) por lo que esta variable se excluirá de los sucesivos análisis (Tabla IV.137).

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,85}=4,31$ ;  $p=0,003$ ;  $\omega^2=0,128$ ) sobre los niveles de ORAC. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación alta.

Cuando se realizaron las comparaciones dos a dos aislando el efecto del tratamiento, se encontró que por un lado, T2 mostró valores significativamente mayores que T4 y T5. Además T1 y T3 mostraron valores situados entre ambos grupos sin diferencias significativas entre ellos (Tabla IV.138). Como se verá más adelante (en resultados de polifenoles totales), en los tomates cultivados con T2 se observaron los mayores contenidos en PT, lo que podría explicar que los frutos obtenidos bajo este tratamiento sean los que muestran un valor más alto de actividad antioxidante, cuantificado con el método ORAC. Análogamente, en los tomates cultivados con T5 se observaron los menores contenidos en polifenoles totales, lo que podría explicar que los frutos obtenidos bajo este tratamiento sean los que muestran un valor más bajo de actividad antioxidante, cuantificado con el método ORAC.

**Tabla IV.138.** Diferencias medias en los valores ORAC hidrofílico según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
T1	T2	0,477	-0,71	0,19
	T3	0,997	-0,39	0,50
	T4	0,316	-0,14	0,76
	T5	0,370	-0,16	0,74
T2	T3	0,282	-0,13	0,77
	T4	0,006	0,12	1,02
	T5	0,008	0,11	1,01
T3	T4	0,518	-0,20	0,70
	T5	0,583	-0,21	0,69
T4	T5	1,000	-0,47	0,43

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Según podemos observar en cuanto a la actividad antioxidante en los diferentes tratamientos, los resultados no coinciden con los obtenidos por el método TEAC, de ahí la dificultad para elegir un método que nos permita determinar la capacidad antioxidante. Esto justifica la necesidad de usar varios métodos, más que depender de los resultados de un solo método antioxidante (Schleiser *et al.*, 2002; Blasco *et al.*, 2008). Las diferencias observadas en los resultados de actividad antioxidante entre los métodos TEAC y ORAC, pudiera deberse a que aunque ambos ensayos cuantifican la capacidad que tienen todas las moléculas antioxidantes presentes en el alimento (hidrosolubles, en los casos anteriores) para reaccionar con un radical libre determinado, estos métodos difieren en el tipo de radical libre que se hace generar con los antioxidantes de las muestras. El ensayo ORAC mide la capacidad global de todos los antioxidantes de la muestra que cediendo un átomo de hidrógeno, neutralizan los radicales peroxilo (especies reactivas comparables a los generados biológicamente en el organismo). El método TEAC utiliza como radical libre el generado a partir del catión ABTS<sup>+</sup>, (que es más estable que los radicales peroxilo, por lo que resulta mas sencillo trabajar con este método que con el ORAC), siendo este radical libre muy diferente a las especies radicalarias que se generan bilógicamente en el organismo. Estas diferencias entre ambos métodos podrían explicar en parte las variaciones obtenidas en los resultados de actividad antioxidante analizada en la fase hidrofílica de las muestras de tomate.

Por otro lado, se estableció una buena relación lineal inversa entre los resultados del ensayo ORAC y la radiación PAR ( $r=-0,4$  y  $r^2=17,8\%$ ). Este hecho podría explicar que los frutos de T2 tengan una mayor capacidad antioxidante debido a un menor porcentaje de radiación PAR recibido.

De ello, podemos sugerir que este tipo de radiación tiene un efecto negativo sobre el poder antioxidante del fruto de tomate medido por el ensayo ORAC. Aunque más adelante podremos justificar de manera mas concisa la influencia de las condiciones ambientales sobre cada unos de los compuestos antioxidantes de forma individual (PT, perfil fenólico y Vitamina C) y comprobar en que medida contribuyen al poder antioxidante de los frutos en cada uno de los tratamientos estudiados.

El factor número de racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,87}=27,02$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,366$ ) sobre los niveles de ORAC con un tamaño del efecto muy grande (**Tabla IV.139**).

**Tabla IV.139.** Diferencias medias en los valores ORAC hidrofílico según el número de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	0,010	-0,67	-0,07
	8º	0,000	-1,21	-0,61
4º	8º	0,000	-0,84	-0,24

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Según la **Tabla IV.139**, para el efecto del racimo, con las comparaciones dos a dos se confirmó lo observado en la tabla de descriptivos. A medida que se asciende en el número racimo, los valores de ORAC van siendo significativamente mayores, coincidiendo estos resultados con los obtenidos mediante el ensayo TEAC en fase hidrofílica (**Tabla IV.136**) y con los contenidos de polifenoles y vitamina C, que también son mayores en los racimos mas altos (**Tablas IV.145 y IV.158**).

Resumiendo, la variable ORAC no mostró cambios en función de la campaña y sí lo hizo respecto al tratamiento y el número de racimo. Los 8º racimos mostraron valores más elevados que los otros niveles. Considerando los tratamientos, T2 (tratamiento térmico) mostró los valores mayores en ORAC.

De acuerdo con la bibliografía, no existen evidencias científicas al respecto que nos permitan relacionar el efecto de la temperatura, como parámetro ambiental, sobre el poder antioxidante del tomate. Sin embargo sí que existen trabajos publicados en los que se evalúa cómo afecta el tratamiento térmico durante el procesado del tomate fresco sobre la actividad antioxidante del producto. Diferentes autores señalan la posibilidad de que el tratamiento térmico puede incrementar la actividad antioxidante del producto, Chen *et al.* (2000) publicaron un aumento de la actividad antioxidante en tomate tras ser sometido a diferentes tratamientos térmicos (hervido, aplicación de microondas o fritura) en comparación al contenido en el fruto fresco. De la misma forma, Nicoli *et al.* (1999), sugirieron que el tratamiento térmico puede dar lugar a la formación de nuevos compuestos

como melanoidinas, que podrían incrementar las propiedades antioxidantes del tomate. Wang *et al.* (1996) observaron que el zumo de tomate sometido a tratamiento térmico, presentaba mayor actividad antioxidante que el tomate fresco.

#### IV.8.2. Actividad antioxidante lipofílica

##### IV.8.2.1. TEAC lipofílico

La actividad antioxidante lipofílica está conferida por carotenoides, principalmente por licopeno y en menores cantidades por  $\beta$ -caroteno y otros tipos de carotenoides. Para algunos autores representa un 17% respecto de la actividad antioxidante total (Kotíková *et al.*, 2011), incluso más bajo, según Toor y Savage (2005), quienes observaron sólo 7-9% de contribución de antioxidantes lipofílicos respecto de la actividad total.

De forma general, se observó que los valores de actividad antioxidante hidrofílica fueron siempre mayores que los de las fracciones lipofílicas. En este sentido, Toor y Savage (2005) sugirieron que la baja actividad antioxidante presente en los extractos lipofílicos del tomate, medidos mediante ensayos TEAC, es debida probablemente a los bajos niveles de compuestos fenólicos lipofílicos.

Nuestros resultados muestran valores inferiores de la capacidad antioxidante en fase lipofílica vs hidrofílica, a pesar de contener el tomate una importante cantidad de licopeno, probablemente porque el licopeno y carotenoides en general, son eficientes en la extinción de singletes de oxígeno, y no tanto en el atrapamiento de radicales peroxílicos (Sies *et al.*, 1995) ni probablemente en la cesión de electrones para estabilizar al radical ABTS<sup>•+</sup>.

En cuanto a la actividad antioxidante de la fase lipofílica, la literatura científica reporta valores superiores a los obtenidos en los frutos de tomate Brenda de nuestro estudio (0,05-0,15  $\mu\text{mol g}^{-1}$  PF), utilizando el método TEAC, tal y como se muestra en la **Tabla IV.140**. Kaur *et al.* (2013) obtuvieron valores de 0,2-0,5  $\mu\text{mol g}^{-1}$  PF en tomates cultivados al aire libre, que a su vez coinciden con los obtenidos por Llahy *et al.*, 2011 aunque con variaciones dentro del rango de valores (0,09-3,09  $\mu\text{mol g}^{-1}$  PF), en frutos de tomate con diferente grado de madurez bajo condiciones de invernadero.

**Tabla IV.140.** Características descriptivas para la variable TEAC lipofílico ( $\mu\text{mol}$  de equivalentes de Trolox  $\text{g}^{-1}$  PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=6)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,07 (0,00)	0,06 a 0,07	0,08 (0,01)	0,06 a 0,10
	4º	0,12 (0,02)	0,10 a 0,14	0,10 (0,02)	0,09 a 0,12
	8º	0,07 (0,02)	0,05 a 0,09	0,13 (0,05)	0,08 a 0,18
T2	2º	0,14 (0,01)	0,12 a 0,15	0,10 (0,01)	0,09 a 0,11
	4º	0,13 (0,04)	0,09 a 0,17	0,07 (0,01)	0,05 a 0,08
	8º	0,09 (0,01)	0,08 a 0,10	0,15 (0,02)	0,12 a 0,17
T3	2º	0,10 (0,04)	0,06 a 0,14	0,11 (0,04)	0,06 a 0,15
	4º	0,15 (0,02)	0,13 a 0,17	0,06 (0,01)	0,05 a 0,07
	8º	0,07 (0,01)	0,06 a 0,08	0,10 (0,01)	0,09 a 0,11
T4	2º	0,11 (0,01)	0,09 a 0,12	0,09 (0,00)	0,09 a 0,09
	4º	0,05 (0,01)	0,03 a 0,06	0,08 (0,01)	0,07 a 0,09
	8º	0,07 (0,01)	0,05 a 0,08	0,12 (0,01)	0,11 a 0,14
T5	2º	0,08 (0,01)	0,07 a 0,08	0,10 (0,02)	0,08 a 0,12
	4º	0,07 (0,02)	0,05 a 0,10	0,09 (0,02)	0,07 a 0,11
	8º	0,07 (0,01)	0,07 a 0,08	0,13 (0,02)	0,11 a 0,15

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=90 por campaña.

El análisis de la varianza se ha realizado tomando como variable dependiente TEAC lipofílico y como factores (independientes) completamente aleatorizados el número de racimo y el tipo de tratamiento.

La campaña no afectó significativamente a los valores encontrados en el TEAC lipofílico ( $F_{1,238}=3,72$ ;  $p=0,055$ ) por lo que esta variable se excluirá de los sucesivos análisis.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,175}=3,72$ ;  $p=0,006$ ;  $\omega^2=0,057$ ) sobre los niveles de TEAC lipofílico. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderada.

Como puede observarse en la **Tabla IV.141**, las diferencias entre tratamientos son bajas. Sólo se encontró significación estadística entre T2 y los tratamientos 4 y 5.

**Tabla IV.141.** Diferencias medias en los valores TEAC lipofílico según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-0,016	0,164	-0,035	0,004
	T3	-0,001	1,000	-0,021	0,018
	T4	0,010	0,644	-0,010	0,029
	T5	0,005	0,962	-0,015	0,024
T2	T3	0,015	0,230	-0,005	0,034
	T4	0,026	0,003	0,006	0,045
	T5	0,021	0,031	0,001	0,040
T3	T4	0,011	0,535	-0,009	0,030
	T5	0,006	0,918	-0,014	0,025
T4	T5	-0,005	0,955	-0,024	0,014

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Sin embargo, en esta ocasión se encontró que el nivel del racimo no influía de forma significativa ( $F_{2,177}=1,21$ ;  $p=0,300$ ;  $\omega^2=0,002$ ) sobre los niveles de TEAC lipófila (**Tabla IV.142**). Aunque más adelante se muestra que los niveles de polifenoles son mayores en frutos recogidos de racimos más altos (**Tabla IV. 145**); probablemente la baja cantidad de polifenoles liposolubles que se pudiera incrementar por efecto de una mayor intensidad de radiación en los racimos más altos, no resulte suficiente para ser detectada mediante el ensayo TEAC en fase liposoluble.

**Tabla IV.142.** Diferencias medias en los valores TEAC lipofílico según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2°	4°	0,005	0,634	-0,008	0,018
	8°	-0,003	0,799	-0,016	0,009
4°	8°	-0,008	0,271	-0,021	0,004

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Al igual que ocurrió con la variable de actividad antioxidante hidrofílica según el método ORAC, T2 logró el mayor contenido antioxidante lipofílico en sus

frutos. Este tratamiento T2, definido como térmico, podría desencadenar en los frutos frescos (como consecuencia de las altas temperaturas que genera en el interior del invernadero) un efecto de incremento en el contenido de licopeno y  $\beta$ -caroteno, como consecuencia del tratamiento térmico sobre el procesado de tomate, parecido al que se describe en la literatura. El incremento en estos compuestos sería el responsable de los mayores niveles de actividad antioxidante lipofílica en tomates cultivados en T2.

En este caso, analizando el efecto tratamiento, se encontró una relación inversa ( $r=-0,4$  y  $r^2=13,1\%$ ), entre la radiación UVB y el poder antioxidante en la fase lipofílica, y directa en relación a UVA ( $r=0,5$  y  $r^2=26,2\%$ ).

Podemos deducir que la actividad antioxidante de los frutos se vería afectada por una mayor radiación UVA. Sin embargo, un bajo porcentaje de radiación UVB podría mejorar la capacidad antioxidante de los antioxidantes lipofílicos del tomate, lo contrario que observamos en la fase hidrofílica (según el método TEAC), aunque más adelante se hará un análisis más exhaustivo de los compuestos antioxidantes que se analizan de forma individual, lo cual nos permitirá justificar de manera más precisa este hecho.

Para el efecto del racimo (**Tabla IV.142**), con las comparaciones dos a dos se confirma lo observado en la **Tabla IV.140** de características descriptivas para la variable TEAC lipofílico. No se detectaron diferencias entre los distintos niveles.

En resumen, a pesar de las significaciones encontradas, el parámetro TEAC lipofílico no parece tener un comportamiento excesivamente distinto ni en cuanto a racimo ni en cuanto a tratamiento.

Debido a su elevado consumo, el tomate constituye una fuente importante de compuestos antioxidantes (Raffo *et al.*, 2006). En un estudio concreto sobre alimentos ricos en vitamina C, vitamina E y carotenoides específicos llevado a cabo en España por García-Closas *et al.* (2004), los tomates resultaron ser la fuente más rica de licopeno (71,6%), segundo alimento como fuente de vitamina C (12,0%), provitamina A (14,6%) y  $\beta$ -caroteno (17,2%), y tercer alimento como fuente de vitamina E (6,0%). Este estudio resaltó el elevado consumo regular de tomate fresco y procesado en comparación con otras frutas y hortalizas, y por lo tanto su relevancia como fuente diaria de antioxidantes en España y otros países de la cuenca mediterránea.

A continuación se analizan los resultados obtenidos en la composición de compuestos antioxidantes en las muestras de tomate, evaluando si la campaña, el tipo de tratamiento y el nivel de racimo influyen en estos constituyentes responsables de la actividad antioxidante en el tomate.

### IV.8.3. Polifenoles

#### IV.8.3.1. Polifenoles totales (PT)

Los compuestos fenólicos se encuentran en la mayoría de las 350 especies vegetales consumidas regularmente por el hombre (Scalbert y Williamson, 2000) y son en parte responsables de las propiedades organolépticas de los alimentos de origen vegetal (Tomás-Barberán y Espín, 2001).

El contenido en compuestos fenólicos totales de los tomates puede oscilar entre 187-559 mg GAE Kg<sup>-1</sup> PF, en diferentes cultivos de tomate recolectados en distintos estados de maduración (García-Valverde *et al.*, 2011).

Se han realizado numerosos estudios sobre los factores que afectan a los niveles de compuestos fenólicos en distintos vegetales de consumo humano. Sin embargo, no existen demasiadas investigaciones concretas relacionadas con los factores que afectan al contenido de estos compuestos en tomates.

Slimestad y Verheul (2009), recopilan en su trabajo de revisión aquellos factores más determinantes en la concentración de compuestos fenólicos en tomates, destacando el tipo de cultivo, fertilización e irrigación, la luz, la variación estacional, el estado de maduración, y las condiciones de cultivo y almacenamiento.

Estos compuestos tienden a acumularse en las vacuolas de la epidermis de las plantas, fuera del alcance de las enzimas oxidativas. Su localización se debe a su probable papel en la protección contra la radiación ultravioleta, y como productos químicos de defensa contra patógenos y depredadores (Strack 1997). De esta forma, muchos autores han comprobado que en el tomate, los compuestos fenólicos tienden a acumularse en la piel, en comparación con la pulpa y las semillas (Toor y Savage 2005; Harish y Sathishkumar, 2011).

Tal y como se muestra en la **Tabla IV.143**, nuestros valores se encuentran dentro del rango descrito en la bibliografía de polifenoles totales en tomate (268,10-

422,50  $\mu\text{g}$  ácido gálico  $\text{g}^{-1}$  PF). Fueron similares a los observados por Rosales (2008) en los frutos de tomate cherry (317,6-433,4  $\mu\text{g}$  ácido cafeico  $\text{g}^{-1}$  PF) cultivados en dos invernaderos experimentales.

Se comprobó que la campaña afectó significativamente a los valores encontrados en el PT ( $F_{1,88}=51,68$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,36$ ), con un tamaño del efecto muy alto. Los valores de polifenoles totales aumentaron de forma significativa en la segunda campaña.

**Tabla IV.143.** Características descriptivas para la variable PT [mg de equivalentes de ácido gálico (GAE)  $\text{Kg}^{-1}$  PF] de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=3)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	273,10 (1,95)	268,20 a 277,90	337,20 (17,73)	293,20 a 381,30
	4º	334,40 (6,19)	319,00 a 349,80	362,60 (17,94)	318,10 a 407,20
	8º	404,60 (40,24)	304,60 a 504,60	422,50 (48,46)	302,10 a 542,90
T2	2º	268,10 (6,60)	251,70 a 284,50	360,60 (9,21)	337,70 a 383,50
	4º	318,10 (27,84)	248,90 a 387,20	416,20 (7,23)	398,30 a 434,20
	8º	387,80 (25,42)	324,60 a 450,90	395,40 (28,69)	324,10 a 466,70
T3	2º	282,90 (40,23)	183,00 a 382,90	360,50 (21,63)	306,80 a 414,30
	4º	291,10 (40,68)	190,10 a 392,20	338,70 (25,31)	275,80 a 401,60
	8º	336,00 (23,52)	277,60 a 394,40	389,00 (16,71)	347,40 a 430,50
T4	2º	282,20 (16,78)	240,50 a 323,90	312,60 (17,27)	269,70 a 355,50
	4º	291,20 (23,81)	232,00 a 350,30	372,70 (25,60)	309,10 a 436,30
	8º	333,00 (10,74)	306,40 a 359,70	386,30 (25,96)	321,80 a 450,80
T5	2º	290,60 (21,02)	238,40 a 342,80	270,10 (24,91)	208,30 a 332,00
	4º	335,50 (18,97)	288,40 a 382,60	338,70 (16,61)	297,40 a 379,90
	8º	353,30 (24,06)	293,50 a 413,10	371,50 (19,15)	323,90 a 419,10

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=45 por campaña.

También se vio que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,85}=4,88$ ;  $p=0,002$ ;  $\omega^2=0,147$ ) sobre los niveles de polifenoles totales. El tamaño del efecto encontrado se mostró con una asociación elevada.

Atendiendo solamente al efecto del tratamiento, tal y como se dijo aunque existían diferencias significativas. Concretamente, en T1 y T2 se encontraron mayores valores de polifenoles que en T5. Además en T2 los valores fueron mayores que en T4 (**Tabla IV.144**).

El análisis de correlación (r-Pearson) entre PT y la radiación UVA ( $r=0,5$  y  $r^2=27,2\%$ ) muestra una relación directa entre ambos, lo que sugiere que una elevada transmisión de radiación UVA podría ser causa del elevado contenido en PT en los frutos de tomate Brenda de nuestro estudio en T1 (en el material virgen) y T2 (la transmisión de UVA aumenta con el envejecimiento del material al final de la 1ª y sobretodo la 2ª campaña).

En cuanto al efecto campaña, también se vio afectado por el elevado porcentaje de UVA al final del segundo periodo productivo en ambos invernaderos donde el contenido de PT fue superior a la primera campaña.

**Tabla IV.144.** Diferencias medias en los valores polifenoles totales según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-1,95	1,000	-29,65	25,75
	T3	22,70	0,203	-4,99	50,40
	T4	26,10	0,080	-1,60	53,80
	T5	29,13	0,032	1,43	56,83
T2	T3	24,65	0,120	-3,05	52,35
	T4	28,04	0,045	0,34	55,74
	T5	31,08	0,018	3,38	58,78
T3	T4	3,39	1,000	-24,31	31,09
	T5	6,43	1,000	-21,27	34,13
T4	T5	3,04	1,000	-24,66	30,74

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Son numerosos los estudios que han demostrado que la exposición a UV conduce a un incremento en los niveles de compuestos fenólicos totales (Jordan *et al.*, 1996; Jansen *et al.*, 1998; Hollos y, 2002). Estos compuestos protegen a las plantas mediante la absorción de luz en el rango de 280-340 nm (Clé *et al.*, 2008) y muchos

de ellos son también antioxidantes eficaces lo cual sustenta su papel funcional en un amplio espectro de plantas como respuesta al estrés ambiental.

Luthria *et al.* (2006) indicaron unas concentraciones de PT significativamente más altas en frutos de tomate de plantas crecidas bajo una cubierta transparente a UV respecto a un filme que bloquea la UV. Estos resultados coinciden con Rosales (2008) quien observó el mismo comportamiento en frutos de tomate cherry cultivados en invernadero.

Por otro lado, profundizando un poco más en el tipo de radiación, Tsormpatsidis *et al.* (2008) reportó un mayor contenido de PT en lechuga bajo cubierta de UV280 y UV320 (rango de UVB) y que disminuye progresivamente en aquellas crecidas bajo filmes UV350, UV370, UV380 y UV400 (rango de UVA). Por otro lado, el completo bloqueo de radiación UVA redujo un 50% el contenido de polifenoles totales en lechuga comparado con un filme comercial (tratamiento UV320) y un 60% comparado con un material de cubierta transparente a UV (UV280).

De todo ello podemos deducir un claro efecto de la radiación UV sobre el contenido de PT del fruto de tomate.

En cuanto al efecto de la temperatura, como variable condicionante del estrés en la planta, Anza *et al.* (2008) reportaron que el efecto de la variedad de tomate en invernadero fue dependiente de la estación; el contenido de polifenoles en frutos crecidos durante la primavera (22,22°C) fue superior comparado con aquellos desarrollados en otoño (17,25°C) (Anza *et al.*, 2006).

En fresas cultivadas en invernadero, se encontraron cantidades significativamente mayores de PT como consecuencia de la elevada temperatura en su interior, en comparación con aquellas que crecieron al aire libre mediante sistema de acolchado (Wang *et al.*, 2003).

Estos hallazgos anteriores que describen un incremento en el contenido de PT con la temperatura, permiten justificar que en nuestro estudio los mayores niveles de PT se observen en tomates cultivados en T2, que constituye un tratamiento térmico, con mayores temperaturas en el interior del invernadero, respecto a los otros tratamientos contemplados en el diseño. Los resultados sugieren que el efecto térmico es mayor que el efecto de las radiaciones, ya que los tomates cultivados en T5 mostraron los menores niveles de PT, siendo este

tratamiento el que permitió mayores porcentajes de transmisión en los tres tipos de radiaciones, sin que ello se corresponda con elevación en los PT, respecto a otros tratamientos que muestran altos niveles de transmisión pero ya en radiaciones concretas.

También se encontró que el número de racimo influyó de forma significativa ( $F_{2,87}=50,01$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,521$ ) sobre los niveles de PT, mostrando el tamaño del efecto encontrado con una asociación muy alta.

En la **Tabla IV.145**, se muestran las comparaciones dos a dos para el factor nivel del racimo observando en los racimos inferiores unos valores estadísticamente menores que los 4º y 8º racimos, no detectándose diferencias significativas entre éstos últimos.

En estudios con fresas diversos autores coinciden en que la posición del fruto en el racimo pudo afectar a la composición fenólica en fresas crecidas en presencia de radiación UV (Montero *et al.*, 1996; Anttonen *et al.*, 2006; Tsormpatsidis *et al.* 2011).

**Tabla IV.145.** Diferencias medias en los valores polifenoles totales según el nº de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	<0,001	-9,56	-6,31
	8º	<0,001	-10,24	-7,00
4º	8º	0,930	-2,31	0,94

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En conclusión, se puede sugerir que los frutos del 8º racimo fueron los que alcanzaron el mayor contenido de PT, siendo aún mayores los de la segunda campaña, a esa misma altura de la planta. Esto pudo deberse a la alteración que sufren los materiales de cubierta con el paso del tiempo, como consecuencia de una mayor permeabilidad de la radiación UVA, lo cual permitió un aumento del contenido de polifenoles totales en T1 y T2 en respuesta a un mayor grado de estrés oxidativo.

Además, se da el hecho de que las temperaturas fueron superiores en la primera campaña principalmente en T1 y T2 (térmico), lo cual indujo un mayor contenido de polifenoles totales en sus frutos respecto a los demás tratamientos.

Por tanto, podríamos sugerir que ante condiciones de estrés ambiental dentro del invernadero (radiación y temperatura) las plantas de tomate Brenda de nuestro estudio manifestaron un mayor contenido de PT en los racimos más altos, lo cual coincide con los resultados obtenidos para la variable TEAC hidrofílico, ya que el mayor contenido de polifenoles en el tomate se corresponde con los que tienen carácter hidrosoluble (como el ácido clorogénico).

Las condiciones de estrés térmico justifican además, la contribución de PT de manera significativa a la actividad antioxidante en fase hidrofílica según el método ORAC (se observa un efecto alto según  $r$ -Pearson;  $r=0,6$  y  $r^2=39,2\%$ , entre ORAC y PT) ya que ambas variables se comportaron de igual forma en los frutos de T2.

#### IV.8.3.2. Perfil fenólico

Para las muestras de tomate Brenda de nuestro estudio se cuantificó el perfil fenólico, en concreto flavonoides individuales y ácidos hidroxicinámicos que fueron identificados y medidos en los frutos de los cinco tratamientos estudiados, contribuyendo al poder antioxidante de los polifenoles totales en la fase hidrofílica. Pero sólo se analizaron estadísticamente el ácido clorogénico, la rutina y luteolina ya que el resto apareció en cantidades prácticamente despreciables.

Varios estudios han reportado la presencia de flavonoides y ácidos hidroxicinámicos en tomates (Bilton *et al.*, 2001; Periago *et al.*, 2009). Este grupo de polifenoles, los cuales comprenden una variedad de estructuras químicas con ligeras propiedades biológicas, que confieren beneficios antioxidantes ya que son eficientes en el secuestro de radicales peroxilo (Halliwell, 2000).

El interés de estos compuestos fenólicos se centra en los flavonoides, existen estudios epidemiológicos que sugieren un beneficio por el consumo humano de frutas y verduras ricas en flavonoides, ya que protegen de las enfermedades cardiovasculares, cáncer u otras enfermedades relacionadas con la edad (Rosales, 2008).

En la mayoría de especies vegetales el contenido de flavonoides puede verse aumentado en respuesta a elevados niveles de luz, en particular, mediante un incremento de la radiación UVB (Brandt *et al.*, 1995).

De hecho, ha sido reportado que las plantas de tomate cherry crecidas bajo invernadero con cantidades elevadas de luz, acumularon casi el doble del contenido de fenoles solubles (rutina y ácido clorogénico) que aquellas que se cultivaron con bajo contenido de luz (Wilkens *et al.*, 1996).

#### IV.8.3.2.1. Ácido clorogénico

El ácido clorogénico es el compuesto fenólico más abundante en hojas de tomate (Niggeweg *et al.*, 2004). En el fruto también es el ácido mayoritario respecto al conjunto del perfil fenólico analizado. Li *et al.* (2012) midieron valores en torno a 3,10 mg Kg<sup>-1</sup> PF en frutos tomates cultivados al aire libre y en tomate cherry de invernadero (Raffo *et al.*, 2006) se obtuvo una concentración en un rango de 0,30-0,54 mg Kg<sup>-1</sup> de ácido clorogénico.

Nuestros resultados fueron inferiores a los reportados por la literatura científica (0,035-0,178 mg Kg<sup>-1</sup> PF) (**Tabla IV.146**).

La campaña no afectó significativamente a los valores encontrados en el ácido clorogénico ( $F_{1,118}=1,66$ ;  $p=0,201$ ;  $\omega^2\approx 0$ ), el tamaño del efecto fue prácticamente nulo por lo que podemos descartar la influencia de la campaña, por tanto, los siguientes análisis de la variancia ya no se corrigieron por el factor campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento no influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=0,767$ ;  $p=0,549$ ;  $\omega^2\approx 0$ ) sobre los niveles de ácido clorogénico. El tamaño del efecto encontrado fue muy pequeño.

**Tabla IV.146.** Características descriptivas para la variable ácido clorogénico ( $\text{mg Kg}^{-1}$  PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo n=4	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,108 (0,034)	0,053 a 0,163	0,041 (0,003)	0,036 a 0,046
	4º	0,087 (0,024)	0,048 a 0,126	0,046 (0,004)	0,039 a 0,052
	8º	0,154 (0,028)	0,110 a 0,199	0,039 (0,005)	0,030 a 0,047
T2	2º	0,118 (0,007)	0,107 a 0,129	0,040 (0,004)	0,033 a 0,046
	4º	0,035 (0,004)	0,028 a 0,042	0,030 (0,003)	0,025 a 0,036
	8º	0,036 (0,006)	0,026 a 0,046	0,178 (0,210)	-0,157 a 0,512
T3	2º	0,055 (0,009)	0,041 a 0,068	0,114 (0,056)	0,025 a 0,204
	4º	0,025 (0,005)	0,018 a 0,032	0,051 (0,015)	0,027 a 0,074
	8º	0,080 (0,027)	0,037 a 0,122	0,049 (0,022)	0,015 a 0,084
T4	2º	0,094 (0,002)	0,091 a 0,096	0,045 (0,012)	0,026 a 0,063
	4º	0,035 (0,003)	0,029 a 0,041	0,043 (0,002)	0,039 a 0,047
	8º	0,066 (0,024)	0,027 a 0,105	0,073 (0,015)	0,050 a 0,097
T5	2º	0,096 (0,059)	0,002 a 0,190	0,059 (0,013)	0,038 a 0,079
	4º	0,061 (0,017)	0,033 a 0,089	0,038 (0,004)	0,032 a 0,044
	8º	0,036 (0,005)	0,028 a 0,043	0,058 (0,021)	0,024 a 0,091

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

En cuanto a los niveles de ácido clorogénico según el racimo, este factor afectó significativamente ( $F_{2,117}=5,00$ ;  $p=0,008$ ;  $\omega^2=0,062$ ) sobre este polifenol. No obstante el tamaño del efecto fue moderado.

Una vez aislado el factor racimo de todos los demás factores, se encontró que los racimos más bajos y los más altos presentaban valores de ácido clorogénico mayores que los racimos intermedios (**Tabla IV.147**).

Según encontramos en la bibliografía, las plantas crecidas bajo condiciones de luz en invernadero tipo túnel muestran un contenido de ácido clorogénico en las hojas de tomate superior a aquellas que crecieron en cámara (Clé *et al.*, 2008).

Por otro lado, Luthria *et al.* (2006) observaron concentraciones superiores de ácido clorogénico en frutos de tomate crecidos bajo una cubierta plástica que

transmite UV respecto a los frutos desarrollados en invernadero con cubierta opaca a UV.

**Tabla IV. 147.** Diferencias medias en los valores de ácido clorogénico según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,032	0,020	0,004	0,059
	8º	0,000	1,000	-0,028	0,028
4º	8º	-0,032	0,020	-0,059	-0,004

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

En nuestro estudio, no existen evidencias estadísticas que nos permitan estudiar el efecto del tipo de radiación con el contenido de ácido clorogénico de los frutos en los distintos tratamientos, ya que no se observa ninguna correlación entre la radiación y el contenido de este ácido teniendo en cuenta el factor tratamiento.

#### IV.8.3.2.2. Rutina

La rutina, fue el segundo flavonoide más abundante en tomate respecto al ácido clorogénico y en proporción al conjunto de fenoles solubles.

Los valores encontrados variaron entre 3,0 y 3,2 mg Kg<sup>-1</sup> PF (Li *et al.*, 2012) en diferentes cultivos de tomate y para tomate cherry fueron inferiores (0,18-0,66 mg Kg<sup>-1</sup> PF) según Raffo *et al.* (2006) siendo similares a los obtenidos en los frutos de tomate Brenda de nuestro estudio (0,074-0,356 mg Kg<sup>-1</sup> PF), tal y como podemos observar en la **Tabla IV.148**.

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en rutina (F<sub>1,118</sub>=11,38; p<0,001; ω<sup>2</sup>=0,80), el tamaño del efecto fue moderado-alto.

**Tabla IV.148.** Características descriptivas para la variable rutina ( $\text{mg Kg}^{-1}$  PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo n=4	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,137 (0,029)	0,091 a 0,183	0,067 (0,001)	0,065 a 0,069
	4º	0,165 (0,064)	0,063 a 0,266	0,096 (0,010)	0,080 a 0,113
	8º	0,356 (0,018)	0,327 a 0,384	0,204 (0,012)	0,185 a 0,222
T2	2º	0,132 (0,017)	0,105 a 0,159	0,121 (0,024)	0,083 a 0,159
	4º	0,198 (0,032)	0,147 a 0,249	0,102 (0,005)	0,094 a 0,109
	8º	0,505 (0,142)	0,279 a 0,730	0,357 (0,015)	0,332 a 0,381
T3	2º	0,090 (0,006)	0,081 a 0,100	0,084 (0,025)	0,043 a 0,125
	4º	0,114 (0,030)	0,066 a 0,162	0,101 (0,027)	0,057 a 0,144
	8º	0,165 (0,036)	0,108 a 0,223	0,212 (0,041)	0,146 a 0,277
T4	2º	0,127 (0,031)	0,078 a 0,176	0,069 (0,004)	0,062 a 0,075
	4º	0,147 (0,005)	0,138 a 0,156	0,074 (0,009)	0,060 a 0,089
	8º	0,161 (0,012)	0,141 a 0,18	0,354 (0,060)	0,258 a 0,450
T5	2º	0,177 (0,023)	0,141 a 0,213	0,072 (0,003)	0,066 a 0,077
	4º	0,216 (0,040)	0,152 a 0,280	0,079 (0,002)	0,075 a 0,082
	8º	0,160 (0,026)	0,119 a 0,201	0,287 (0,036)	0,230 a 0,343

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=60 por campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,115}=9,90$ ;  $p=0,001$ ;  $\omega^2=0,229$ ) sobre los niveles de rutina. El tamaño del efecto encontrado fue elevado.

En cuanto al efecto aislado del tratamiento puede observarse que es T2 el que presenta mayores valores respecto a todos los demás. Entre el resto de tratamientos no se encontraron diferencias (**Tabla IV.149**).

Se observó que las radiaciones PAR y UVB tuvieron un efecto negativo con poca fuerza sobre la variable rutina, según las correlaciones de Pearson ( $r=-0,3$  y  $r^2=10,6\%$  y  $r=-0,3$  y  $r^2=11,1\%$ , respectivamente). Por ello, el bajo porcentaje de ambas radiaciones recibido por T2 al final de la primera campaña, pudo ser la causa de un mayor contenido de rutina en sus frutos, en comparación al resto de tratamientos.

Según el estudio de Clé *et al.* (2008), los valores de rutina en las hojas de tomate también fueron superiores en aquellas plantas de invernadero expuestas a la

radiación solar (300-800 nm), al igual que Rosales (2008) observó un mayor contenido de rutina en frutos de tomates cherry sometidos a este tipo de estrés ambiental.

**Tabla IV.149.** Diferencias medias en los valores de rutina según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-0,065	0,004	-0,116	-0,014
	T3	0,043	0,181	-0,008	0,094
	T4	0,015	1,000	-0,036	0,067
	T5	0,006	1,000	-0,046	0,057
T2	T3	0,108	<0,001	0,057	0,159
	T4	0,080	<0,001	0,029	0,132
	T5	0,071	0,001	0,019	0,122
T3	T4	-0,028	1,000	-0,079	0,024
	T5	-0,037	0,398	-0,089	0,014
T4	T5	-0,010	1,000	-0,061	0,042

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Por otro lado, los frutos de tomate incrementaron su contenido de rutina cuando la temperatura del fruto aumentó de 27 a 32°C (Gautier *et al.*, 2008). Esto sugiere que T2, al ser un tratamiento con cubierta térmica permita un mayor contenido en sus frutos durante la primera campaña, coincidiendo con las mayores temperaturas registradas (**Figura IV.31A**).

Este hecho de nuevo justifica que esta variable queda englobada dentro del poder antioxidante de la fase hidrofílica medida por el método ORAC, y tiene gran repercusión sobre ella ya que el comportamiento de ambas variables fue similar, junto con una relación inversa respecto de la radiación PAR; el contenido de rutina como la capacidad antioxidante según el ensayo ORAC fue mayor debido a un menor porcentaje de este tipo de radiación recibido para T2.

En cuanto a los niveles de rutina según el racimo parece que este factor afectó significativamente ( $F_{2,113}=87,21$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,590$ ) sobre esta variable. El tamaño del efecto además fue considerable.

En la **Tabla IV.150** se muestran las comparaciones dos a dos para el nivel del racimo con diferencias significativas entre los niveles de rutina en los 8º racimos respecto a los 2º y 4º racimos.

**Tabla IV.150.** *Diferencias medias en los valores de rutina según el nº de racimo.*

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º racimo	4º	0,370	-0,055	0,012
	8º	<0,001	-0,202	-0,134
4º racimo	8º	<0,001	-0,180	-0,113

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

#### IV.8.3.2.3. Luteolina

Según la bibliografía no se han encontrado estudios que determinen en su perfil fenólico el contenido de luteolina en tomate. En nuestro estudio, según la **Tabla IV.151** se muestran los estadísticos descriptivos para la variable luteolina con cifras de 0,025-0,369 mg Kg<sup>-1</sup> PF.

La campaña afectó significativamente a los valores encontrados en el luteolina ( $F_{1,118}=7,46$ ;  $p=0,007$ ;  $\omega^2=0,051$ ), no obstante el tamaño del efecto fue moderado por lo que la influencia del tipo de campaña fue pequeña.

Se encontró que el tipo de tratamiento no influyó de forma de significativa ( $F_{4,115}=0,798$ ;  $p=0,192$ ;  $\omega^2=0,038$ ) sobre los niveles de luteolina.

Por tanto, no se encontraron relaciones estadísticas que nos permitan relacionar el efecto de la radiación con el contenido de luteolina de los frutos.

**Tabla IV.151.** Características descriptivas para la variable luteolina (mg Kg<sup>-1</sup> PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo	1ª campaña		2ª campaña	
	n=4	Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,369 (0,199)	0,052 a 0,686	0,032 (0,002)	0,029 a 0,035
	4º	0,047 (0,025)	0,006 a 0,087	0,055 (0,037)	-0,004 a 0,114
	8º	0,078 (0,002)	0,075 a 0,082	0,118 (0,009)	0,104 a 0,133
T2	2º	0,271 (0,095)	0,120 a 0,421	0,072 (0,028)	0,027 a 0,117
	4º	0,019 (0,003)	0,014 a 0,023	0,028 (0,015)	0,004 a 0,051
	8º	0,026 (0,002)	0,023 a 0,028	0,063 (0,037)	0,003 a 0,122
T3	2º	0,108 (0,024)	0,069 a 0,146	0,167 (0,053)	0,083 a 0,250
	4º	0,042 (0,005)	0,033 a 0,051	0,050 (0,012)	0,030 a 0,069
	8º	0,033 (0,008)	0,020 a 0,046	0,128 (0,038)	0,067 a 0,188
T4	2º	0,212 (0,065)	0,108 a 0,316	0,057 (0,003)	0,052 a 0,061
	4º	0,072 (0,001)	0,069 a 0,074	0,040 (0,012)	0,020 a 0,060
	8º	0,047 (0,005)	0,039 a 0,054	0,058 (0,030)	0,009 a 0,106
T5	2º	0,229 (0,241)	-0,154 a 0,612	0,062 (0,028)	0,016 a 0,107
	4º	0,083 (0,047)	0,007 a 0,158	0,042 (0,013)	0,021 a 0,062
	8º	0,025 (0,001)	0,024 a 0,025	0,045 (0,015)	0,021 a 0,069

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95%<sup>xº</sup> de confianza. N total=60 por campaña.

En cuanto a los niveles de luteolina según el racimo parece que este factor afectó significativamente ( $F_{2,117}=19,46$ ;  $p=0,001$ ;  $\omega^2=0,235$ ) sobre esta variable. El tamaño del efecto además fue considerable.

En la **Tabla IV.152** se muestran las comparaciones dos a dos para el número de racimo que confirman lo ya expuesto anteriormente; los niveles de luteolina fueron superiores en los racimos inferiores a los encontrados en los racimos intermedios y altos.

**Tabla IV.152.** Diferencias medias en los valores de luteolina según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,110	<0,001	0,064	0,157
	8º	0,096	<0,001	0,049	0,143
4º	8º	-0,014	1,000	-0,061	0,032

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

#### IV.8.4. Vitamina C

El tomate es una de las fuentes más importantes de antioxidantes, tales como la vitamina C o carotenoides, debido a su efecto protector en contra de enfermedades degenerativas (Roselló *et al.*, 2010).

A consecuencia de su gran capacidad antioxidante y reductora, la vitamina C generalmente se encuentra en concentraciones muy elevadas en los tejidos vegetales (frutos, raíces y hojas), localizándose preferentemente en los cloroplastos, en el citosol o en el espacio apoplástico (Karpinski *et al.*, 1993).

En términos de calidad nutricional, está bien documentado que la luz afecta al contenido de vitamina C (Giuntini *et al.*, 2005) junto a otros compuestos que contribuyen a la composición del fruto. Tiende a acumularse desde el estado verde hasta el estado medio de madurez.

Los cambios estacionales para este parámetro, han sido relacionados con la radiación ambiental, probablemente a consecuencia de su papel como fotoprotector (Venter, 1977). Sin embargo, el contenido de vitamina C también puede disminuir con un incremento de la exposición a la luz solar, debido a una mayor degradación del compuesto por altas temperaturas (Torres *et al.*, 2006).

Las formas químicas de la vitamina C son AA y ADHA y fueron analizadas por separado tal y como se muestra a continuación.

##### IV.8.4.1. Ácido dehidroascórbico (ADHA)

La forma oxidada (ADHA) tal y como se muestra en la **Tabla IV.153** dio un amplio rango de valores (29,5-163,4 mg 100 g<sup>-1</sup> PF) para los frutos de tomate Brenda de nuestro estudio. Llahy *et al.*, 2011, en diferentes cultivares de tomate obtuvieron

un contenido de ADHA inferior a los de nuestro estudio en tomates maduros (3,7-20,9 mg 100 g<sup>-1</sup> PF).

La campaña no afectó significativamente a los valores encontrados en el ADHA ( $F_{1,58}=0,078$ ;  $p=0,782$ ;  $\omega^2\approx 0$ ), el tamaño del efecto fue prácticamente nulo por lo que podemos descartar la influencia de la campaña, por tanto, los siguientes análisis de la variancia ya no se corrigieron por el factor campaña.

**Tabla IV.153.** Características descriptivas para la variable ADHA (mg 100 g<sup>-1</sup> PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo n=2	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	41,2 (8,5)	-34,8 a 117,3	48,4 (11,9)	-58,2 a 155
	4º	95,8 (32,9)	-200,3 a 391,8	52,2 (3,4)	21,9 a 82,6
	8º	70,0 (48,2)	-362,7 a 502,7	86,6 (2,4)	65,1 a 108,2
T2	2º	37,8 (10,69)	-58,2 a 133,9	45,9 (1,4)	33,4 a 58,3
	4º	163,4 (81,9)	-572,8 a 899,5	51,3 (6,9)	-10,9 a 113,5
	8º	34,6 (6,1)	-20,2 a 89,5	71,8 (20,6)	-113,6 a 257,1
T3	2º	33,7 (4,9)	-10,7 a 78,1	57,9 (6,3)	1,6 a 114,2
	4º	56,6 (3,9)	21,8 a 91,4	55,8 (10,7)	-40,3 a 151,8
	8º	30,1 (3,4)	-0,2 a 60,4	35,9 (2,5)	13,4 a 58,4
T4	2º	33,8 (1,5)	20 a 47,6	53,6 (6,0)	-0,5 a 107,7
	4º	90,4 (6,0)	36,3 a 144,6	62,6 (9,9)	-26,2 a 151,5
	8º	69,3 (25,1)	-156,4 a 294,9	45,6 (18,6)	-121,6 a 212,8
T5	2º	29,5 (0,1)	28,3 a 30,6	47,8 (2,0)	29,6 a 66,1
	4º	30,6 (2,8)	5,6 a 55,6	70,0 (30,1)	-200,5 a 340,5
	8º	73,8 (29,9)	-194,6 a 342,1	74,7 (13,9)	-50,6 a 200,1

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=30 por campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento no influyó de forma significativa ( $F_{4,55}=1,290$ ;  $p=0,299$   $\omega^2=0,019$ ) sobre los niveles de ADHA. El tamaño del efecto encontrado fue muy pequeño por lo que puede concluir es que es poco probable que el tratamiento tenga ningún efecto sobre las concentraciones de ADHA.

En cuanto a los niveles de ADHA según el racimo parece que este factor afectó significativamente ( $F_{2,57}=5,805$ ;  $p=0,006$ ;  $\omega^2=0,138$ ) sobre los niveles de ácido dehidroascórbico. El tamaño del efecto además fue considerable **Tabla IV.154**).

**Tabla IV.154.** Diferencias medias en los valores de ADHA según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	0,004	-51,8	-8,1
	8º	0,212	-38,1	5,6
4º	8º	0,383	-8,2	35,5

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Tal y como se muestra en la **Tabla IV.154**, una vez aislado el factor racimo de todos los demás factores, se encontró que el racimo intermedio presentaba unos valores significativamente mayores que el racimo inferior pero no con el superior. Entre los racimos inferior y superior los niveles no fueron diferentes. No obstante, puede observarse que la diferencia media es grande y los intervalos de confianza muy amplios y asimétricos respecto al cero, lo que nos debe hacer pensar que con más muestras por cada subgrupo probablemente las diferencias se habrían marcado de una forma más clara.

A la vista de nuestros datos, no se obtuvieron resultados concluyentes acerca del efecto de las condiciones ambientales sobre el contenido de ácido dehidroascórbico comparando los cinco tratamientos experimentales, debido a que no se observaron diferencias estadísticamente significativas entre ellos ni se estableció ningún tipo de correlación lineal.

Según la literatura científica, bajo condiciones similares, correlacionan un ligero incremento en el contenido de esta variable en tomates cherry, coincidiendo con los valores más altos de los parámetros ambientales luz y temperatura (Rosales, 2008).

IV.8.4.2. *Ácido L-ascórbico (AA)*

El ácido L-ascórbico, la forma reducida de la vitamina C se muestra en la **Tabla IV.155**, mediante los estadísticos descriptivos con valores de 36,8-84,7 mg 100 g<sup>-1</sup> PF), los cuales fueron superiores a los obtenidos por Raffo *et al.*, (2006) en tomates cherry cultivados en invernadero (16-44 mg 100 g<sup>-1</sup> PF).

**Tabla IV.155.** Características descriptivas para la variable ácido ascórbico (mg 100 g<sup>-1</sup> PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo n=2	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	45,4 (8,9)	-34,6 a 125,4	43,9 (2,9)	17,8 a 70,1
	4º	60,3 (22,1)	-138,5 a 259,1	61,6 (3,5)	30,1 a 93,1
	8º	59,4 (6,54)	0,6 a 118,2	81,2 (3,4)	50,6 a 111,7
T2	2º	38,6 (7,96)	-32,9 a 110,2	40,2 (0,5)	35,5 a 44,9
	4º	62,4 (23,9)	-152,7 a 277,4	41,8 (6,1)	-13,5 a 97,1
	8º	84,7 (11,0)	-14,5 a 184	69,2 (9,6)	-16,9 a 155,2
T3	2º	54,5 (30,9)	-223,3 a 332,4	44,4 (5,8)	-8,2 a 97
	4º	48,2 (5,1)	2,2 a 94,3	52,0 (9,8)	-36,3 a 140,2
	8º	62,6 (14,4)	-66,9 a 192,1	35,5 (0,7)	29,1 a 41,9
T4	2º	36,8 (3,2)	8,3 a 65,2	49,4 (4,3)	10,5 a 88,3
	4º	58,2 (2,2)	38,7 a 77,7	69,8 (4,3)	31 a 108,6
	8º	51,4 (8,4)	-24,2 a 127	53,5 (19,2)	-119,1 a 226
T5	2º	50,4 (9,0)	-30,1 a 130,9	40,9 (0,1)	39,7 a 42,1
	4º	45,9 (11,3)	-55,8 a 147,6	72,9 (23,1)	-135 a 280,8
	8º	46,8 (24,0)	-168,8 a 262,3	70,1 (3,5)	38,4 a 101,8

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=30 por campaña.

Según el análisis de la varianza se comprobó que la campaña no afectó significativamente a los valores encontrados en el AA ( $F_{1,58}=0,150$ ;  $p=0,700$ ;  $\omega^2\approx 0$ ), el tamaño del efecto fue prácticamente nulo por lo que podemos descartar la influencia de la campaña, por tanto, los siguientes análisis de la variancia ya no se corrigieron por el factor campaña.

El tipo de tratamiento tampoco influyó de forma significativa ( $F_{4,55}=0,745$ ;  $p=0,566$ ;  $\omega^2=0,017$ ) sobre los niveles de AA. El tamaño del efecto encontrado fue muy pequeño por lo que puede concluir es que es poco probable que el tratamiento tenga ningún efecto sobre las concentraciones de AA.

Sin embargo, en cuanto a los niveles de AA según el racimo parece que este factor afectó significativamente ( $F_{2,57}=8,46$ ;  $p=0,001$ ;  $\omega^2=0,119$ ) sobre los niveles de AA. El tamaño del efecto además fue considerable (**Tabla IV.156**).

**Tabla IV.156.** Diferencias medias en los valores de AA según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	0,014	-23,56	-2,15
	8º	0,001	-27,68	-6,27
4º	8º	1,000	-14,82	6,59

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Si no se considera el tipo de tratamiento, se encontró que los niveles de ácido L-ascórbico eran significativamente mayores en los 4º y 8º racimos respecto a los 2º racimos (**Tabla IV.156**).

Al igual que ocurrió con el contenido de ADHA en los frutos de tomate Brenda de nuestro estudio, la forma reducida de la Vitamina C (AA) tampoco mostró diferencias significativas cuando se estudio el efecto tratamiento, por lo tanto no se pudo establecer ningún tipo de relación entre el ácido L-ascórbico con los parámetros ambientales estudiados para cada invernadero.

Según la literatura científica, en el estudio de Rosales (2008), también se observó un incremento de ácido L-ascórbico en tomates cherry en el período de mayor estrés ambiental en ambos invernaderos. Este hecho concuerda con lo reportado por Rivero *et al.* (2004) quien observó un incremento en el contenido de AA en plantas de tomate sometidas a estrés por calor (35°C).

## IV.8.4.3. Vitamina C

Se analizó el contenido de vitamina C como resultado de la suma de la concentración de AA y ADHA, tal y como se ha descrito anteriormente. Nuestros valores (70,5-225,7 mg 100 g<sup>-1</sup> PF), tal y como muestra la **Tabla IV.157**, fueron superiores a los que reporta la literatura científica ya que en el estudio de Raffo *et al.* (2006) los tomates cherry lograron un contenido de vitamina C de 31-61 mg 100 g<sup>-1</sup> PF y por otro lado, Llahy *et al.* (2011) en variedades de tomate con diferente grado de madurez mostraron valores de 15-33 mg 100 g<sup>-1</sup> PF en los tomates más rojos.

**Tabla IV.157.** Características descriptivas para la variable vitamina C (mg 100 g<sup>-1</sup> PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo n=2	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	86,6 (17,4)	-69,4 a 242,7	92,3 (14,8)	-40,4 a 225,1
	4º	156,1 (55,1)	-338,7 a 650,8	113,8 (6,9)	51,9 a 175,7
	8º	129,4 (54,7)	-362,2 a 620,9	167,8 (1,0)	158,8 a 176,8
T2	2º	76,4 (2,7)	51,9 a 101,0	86 (1,92)	68,8 a 103,2
	4º	225,7 (5,8)	-295,4 a 746,9	93,1 (13,1)	-24,3 a 210,6
	8º	119,4 (17,1)	-34,7 a 273,4	140,9 (30,2)	-130,4 a 412,2
T3	2º	88,2 (26,0)	-145,2 a 321,6	102,3 (12,1)	-6,7 a 211,3
	4º	104,8 (9,0)	23,9 a 185,8	107,8 (20,5)	-76,5 a 292,1
	8º	92,7 (11,0)	-6,5 a 191,8	71,4 (3,2)	42,5 a 100,3
T4	2º	70,5 (4,7)	28,3 a 112,8	103 (10,3)	10,0 a 196,0
	4º	148,7 (8,2)	74,9 a 222,4	132,5 (14,2)	4,8 a 260,2
	8º	120,7 (33,5)	-180,6 a 422	99,1 (37,8)	-240,8 a 438,9
T5	2º	79,8 (8,8)	0,5 a 159,2	88,8 (1,9)	71,7 a 105,8
	4º	76,5 (8,5)	-0,2 a 153,3	142,9 (53,2)	-335,5 a 621,3
	8º	120,5 (53,9)	-363,5 a 604,5	144,8 (10,4)	51,1 a 238,4

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=30 por campaña.

La campaña no afectó significativamente a los valores encontrados de vitamina C ( $F_{1,58}=0,005$ ;  $p=0,941$ ;  $\omega^2\approx 0$ ), el tamaño del efecto fue prácticamente nulo

por lo que podemos descartar la influencia de la campaña, por tanto, los siguientes análisis de la variancia ya no se corrigieron por el factor campaña.

Se encontró que el tipo de tratamiento tampoco influyó de forma de significativa ( $F_{4,55}=1,595$ ;  $p=0,192$ ;  $\omega^2=0,038$ ) sobre los niveles de vitamina C. El tamaño del efecto encontrado fue muy pequeño por lo que puede concluir es que es poco probable que el tratamiento tenga ningún efecto sobre las concentraciones de vitamina C.

En cuanto a los niveles de vitamina C según el racimo parece que este factor afectó significativamente ( $F_{2,57}=8,95$ ;  $p=0,001$ ;  $\omega^2=0,209$ ) sobre esta variable. El tamaño del efecto además fue considerable.

Según podemos apreciar en la **Tabla IV.158**, los valores de vitamina C encontrados en los racimos medio y superior fueron significativamente mayores a los encontrados en los racimos inferiores. No parece que existan diferencias entre los niveles medio y superior.

**Tabla IV.158.** *Diferencias medias en los valores de vitamina C según el número de racimo.*

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*	
			Límite inferior	Límite superior
2º	4º	0,001	-69,2	-16,4
	8º	0,009	-59,6	-6,8
4º	8º	1,000	-16,9	35,9

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Como cabía esperar, tampoco se observaron diferencias significativas entre los cinco tratamientos en cuanto al contenido de vitamina C según las condiciones de luz y temperatura registradas en cada uno de ellos.

De este hecho podríamos concluir que la vitamina C no tuvo influencia significativa en el poder antioxidante de los frutos de tomates en los diferentes tratamientos analizados, dentro de la fase hidrofílica, ya que no se vio influenciada por las condiciones de estrés del invernadero. A la vista de estos resultados en vitamina C, se deduce que las diferencias encontradas entre tratamientos para la capacidad antioxidante analizada en la fase hidrofílica, se deberían a las variaciones

encontradas en polifenoles (hidrosolubles), y no a variaciones de vitamina C en los frutos de tomate analizados.

Según la bibliografía, bajo condiciones de sombra existe una disminución del contenido de vitamina C (15-20%) en comparación con aquellos frutos expuestos a la luz solar según lo reportado por Dumas *et al.* (2003), al igual que Gautier *et al.* (2008) confirmó que la luz recibida por el fruto durante su maduración o significativamente su contenido de vitamina C respecto a aquellos que crecieron a la sombra. Ello podría ser debido a una menor oxidación como consecuencia de un incremento de radiación o por un aumento de la síntesis de ascorbato.

Por otro lado, la temperatura fue otro factor ambiental a considerar como condicionante del contenido de esta variable en el fruto de tomate, ya que según Riga *et al.* (2008), el aumento de la temperatura pudo inducir un incremento de la vitamina C en este vegetal. Sin embargo, Roselló *et al.* (2010) no coinciden con este argumento ya que observaron que la acumulación de vitamina C en los frutos de tomates estuvo directamente correlacionada con la temperatura, lo cual sugiere que unas elevadas temperaturas podrían provocar una disminución del contenido de vitamina C debido a su oxidación.

Otros autores como Fleisher *et al.* (2006) y Gautier *et al.* (2008) reportaron que los valores de vitamina C no se vieron afectados por la temperatura.

#### **IV.8.5. Carotenoides**

Los carotenoides son pigmentos vegetales que contribuyen a la defensa antioxidante frente a los lípidos (Oshima *et al.*, 1996). Los dos principales carotenoides en tomate son licopeno y  $\beta$ -caroteno, los cuales constituyen cerca del 78 y 7% respectivamente, del total del contenido carotenoides (Rao *et al.*, 1998). Por ello son esenciales para evaluar la calidad nutricional del fruto de tomate (Gautier *et al.*, 2005; Raffo *et al.*, 2006; Toor *et al.*, 2006).

Dumas *et al.* (2003) indicaron que hay muchos factores que afectan al contenido de estos carotenoides en tomate como son las condiciones ambientales (luz y temperatura) y prácticas culturales (variedad, nutrición mineral, disponibilidad de agua, fecha de recolección, etc.).

Existen trabajos que han demostrado que los filtros UVB en plantas afectan al contenido de carotenoides de los frutos de tomate (Calvenzani *et al.*, 2010; Giuntini *et al.*, 2008).

#### IV.8.5.1. Licopeno

El licopeno es el carotenoide más abundante en la madurez del tomate, acumulándose principalmente al final de este periodo madurativo y su contenido no está linealmente relacionado con los cambios de color (Giovanelli *et al.*, 1999; Hernández *et al.*, 2007). Es el más eficiente antioxidante de los carotenoides y actúa eliminando el oxígeno singlete y los radicales peroxilo (Sies y Stahl, 1998).

El contenido de este carotenoide en tomate varía de forma considerable entre cultivares, estado de madurez y condiciones de crecimiento. Arias *et al.* (2000) mostró un contenido de licopeno en tomates madurados en la planta un 33% superior que cuando maduraron fuera de ella. Bramley (2000) reportó valores de este carotenoide para tomates frescos en el rango de 8,8-42 mg 100 g<sup>-1</sup> PF.

Por otro lado, Rosales (2008) obtuvo un contenido de licopeno (4,43-6,30 µg g<sup>-1</sup>PF) en tomates cherry cultivados bajo condiciones análogas a las de nuestro estudio, similar al obtenido Martínez-Valverde *et al.* (2002) en diferentes variedades comerciales de tomate (2,60-5,00 mg 100 g<sup>-1</sup> PF). Los valores de ambos estudios se encuentran dentro del rango de valores obtenido en los frutos de tomate de nuestros diferentes tratamientos estudiados (1,91-10,09 µg g<sup>-1</sup> PF) (**Tabla IV.159**).

La campaña claramente afectó significativamente a los valores encontrados en el licopeno ( $F_{1,88}=55,4$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,377$ ) con un tamaño del efecto importante, por lo que los sucesivos análisis se realizarán considerando esta variable.

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma de significativa ( $F_{4,85}=6,07$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,184$ ) sobre los niveles de licopeno. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación alta.

**Tabla IV.159.** Características descriptivas para la variable licopeno ( $\mu\text{g g}^{-1}$  PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=3)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	3,38 (0,48)	2,19 a 4,56	1,91 (0,04)	1,82 a 2,00
	4º	5,49 (0,06)	5,33 a 5,65	4,40 (0,51)	3,14 a 5,66
	8º	4,23 (0,49)	3,02 a 5,44	6,64 (0,35)	5,78 a 7,50
T2	2º	5,55 (0,85)	3,44 a 7,66	2,02 (0,31)	1,25 a 2,80
	4º	6,52 (0,00)	6,50 a 6,54	5,44 (0,35)	4,57 a 6,31
	8º	7,80 (0,73)	6,00 a 9,61	5,50 (0,69)	3,79 a 7,21
T3	2º	6,10 (1,03)	3,55 a 8,65	3,07 (0,09)	2,84 a 3,30
	4º	5,02 (0,37)	4,09 a 5,95	2,96 (0,24)	2,37 a 3,55
	8º	4,13 (0,71)	2,36 a 5,90	3,49 (0,60)	2,00 a 4,97
T4	2º	5,24 (0,57)	3,84 a 6,65	2,48 (0,29)	1,77 a 3,19
	4º	5,60 (0,61)	4,07 a 7,12	2,48 (0,29)	1,77 a 3,19
	8º	9,39 (0,49)	8,18 a 10,59	4,77 (0,32)	3,96 a 5,57
T5	2º	3,18 (0,41)	2,16 a 4,20	4,67 (0,26)	4,02 a 5,31
	4º	5,56 (0,76)	3,69 a 7,44	4,67 (0,26)	4,02 a 5,31
	8º	10,09 (1,20)	7,14 a 13,05	5,67 (0,43)	4,59 a 6,75

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=45 por campaña.

Por lo tanto, si nos atenemos al factor tipo de tratamiento, en la **Tabla IV.160** se observa que los valores medios de T1 fueron significativamente inferiores a los de T2 y T5.

Según las correlaciones de Pearson se estableció una relación inversa entre la variable licopeno y las radiaciones PAR ( $r=-0,4$  y  $r^2=15,2\%$ ) y UVB ( $r=-0,4$  y  $r^2=13,8\%$ ) con una fuerza alta de correlación. Con ello, se podría explicar que los frutos de T2 fueron más ricos en licopeno debido a una baja permeabilidad del material de cubierta a ambos tipos de radiación.

**Tabla IV.160.** Diferencias medias en los valores de licopeno según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-1,13	0,042	-2,25	-0,02
	T3	0,21	1,000	-0,90	1,32
	T4	-0,65	0,943	-1,76	0,46
	T5	-1,30	0,012	-2,41	-0,19
T2	T3	1,35	0,008	0,23	2,46
	T4	0,48	1,000	-0,63	1,59
	T5	-0,17	1,000	-1,28	0,95
T3	T4	-0,86	0,276	-1,98	0,25
	T5	-1,51	0,002	-2,62	-0,40
T4	T5	-0,65	0,957	-1,76	0,46

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Nuestros resultados coinciden con lo expuesto por Rosales (2008) en su estudio con tomate cherry, donde observó una disminución significativa en el contenido de licopeno coincidiendo con las condiciones de estrés oxidativo producido por los valores más elevados de radiación solar. Por el contrario, Jarquín-Enríquez *et al.* (2013) determinaron un aumento en el contenido de licopeno en condiciones de radiación PAR, de frutos de tomate crecidos en invernadero con doble capa de PE.

A su vez, estos datos coinciden con lo expuesto por Toor *et al.* (2006) quienes indicaron que en los frutos producidos en verano, la radiación solar tuvo un efecto positivo en el contenido de este carotenoide.

Por otro lado, referente a nuestros resultados y teniendo en cuenta que T2 es un material de cubierta térmico, el estrés térmico producido en el interior del invernadero podría ser un hecho condicionante para el desarrollo de frutos con un mayor contenido en licopeno respecto al resto de tratamientos. Sin embargo Dumas *et al.* (2003) reportaron que temperaturas entre 22-25°C aumentaron el contenido de licopeno de sus frutos siendo inhibida su síntesis a 32°C. Similares resultados fueron aportados por Brandt *et al.* (2006) y Krumbein *et al.* (2006) quienes

encontraron que los valores de este carotenoide incrementaron cuando la temperatura aumentó como máximo a 25°C.

Nuestro hallazgo de altos contenidos en licopeno en frutos cultivados bajo T2, tratamiento térmico y que transmite bajos porcentajes de radiación PAR y UVB, sugiere que el efecto de la radiación podría ser mayor que el efecto de la temperatura sobre la síntesis de licopeno en el tomate.

El elevado contenido en licopeno en T2 también permite en nuestro trabajo justificar que los tomates cultivados bajo ese material cobertura muestren los mayores niveles de TEAC en fase lipófila (**Tabla IV.141**). Lo que se puso de manifiesto mediante una correlación con un efecto alto según Pearson ( $r=0,5$  y  $r^2=34,2\%$ ).

Para el factor número de racimo se encontró que influyó de forma significativa ( $F_{2,87}=32,98$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,415$ ) sobre los niveles de licopeno con un tamaño del efecto muy grande.

Según las comparaciones dos a dos, tal y como se muestra en la **Tabla IV.161**, a medida que se asciende en el número de racimo, los valores de licopeno fueron significativamente mayores, lo que se corresponde con los mayores niveles de TEAC analizados en fase lipófila en estos racimos superiores para el T2 (**Tabla IV.142**).

**Tabla IV.161.** *Diferencias medias en los valores de licopeno según el n° de racimo.*

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	-1,05	0,002	-1,78	-0,32
	8º	-2,41	<0,001	-3,14	-1,68
4º	8º	-1,36	<0,001	-2,09	-0,63

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Resumiendo, la variable licopeno mostró valores más reducidos en la segunda campaña, en general los 8º racimos mostraron valores más elevados que los otros niveles y los tratamientos en los que se alcanzó un mayor nivel fueron T2 y T5.

IV.8.5.2.  $\beta$ -caroteno

El  $\beta$ -caroteno es el segundo carotenoide más abundante en tomate, confiriéndole un color naranja, y debido a sus propiedades antioxidantes puede también promover la salud a través de su actividad como provitamina A (Wold *et al.*, 2004).

En el estudio de Rosales *et al.* (2000) el contenido de  $\beta$ -caroteno (1,30-1,67  $\mu\text{g g}^{-1}$  PF) fue similar al obtenido en los frutos de nuestro estudio con valores de 0,55-1,75  $\mu\text{g g}^{-1}$  PF (Tabla IV.162), aunque fue inferior al observado por Dumas *et al.* (2003) en frutos de tomate sometidos a estrés térmico (2,2-3,7 mg  $\text{Kg}^{-1}$  PF).

**Tabla IV.162.** Características descriptivas para la variable  $\beta$ -caroteno ( $\mu\text{g g}^{-1}$  PF) de los frutos.

Tratamiento	Racimo (n=3)	1ª campaña		2ª campaña	
		Media (D.T.)	I.C. 95%	Media (D.T.)	I.C. 95%
T1	2º	0,65 (0,13)	0,33 a 0,97	0,55 (0,05)	0,43 a 0,67
	4º	0,68 (0,59)	-0,79 a 2,15	1,19 (0,10)	0,95 a 1,43
	8º	1,00 (0,26)	0,36 a 1,63	1,53 (0,14)	1,17 a 1,88
T2	2º	1,35 (0,20)	0,85 a 1,85	0,79 (0,13)	0,47 a 1,11
	4º	0,67 (0,48)	-0,53 a 1,87	1,31 (0,04)	1,21 a 1,41
	8º	1,75 (0,25)	1,13 a 2,36	1,56 (0,02)	1,50 a 1,61
T3	2º	1,60 (0,21)	1,09 a 2,12	0,91 (0,03)	0,84 a 0,99
	4º	0,79 (0,03)	0,71 a 0,88	0,84 (0,08)	0,64 a 1,03
	8º	1,10 (0,07)	0,91 a 1,28	1,06 (0,17)	0,65 a 1,48
T4	2º	1,04 (0,32)	0,25 a 1,84	0,78 (0,13)	0,46 a 1,11
	4º	0,84 (0,09)	0,61 a 1,07	0,78 (0,13)	0,46 a 1,11
	8º	1,56 (0,07)	1,38 a 1,75	1,31 (0,17)	0,90 a 1,72
T5	2º	0,83 (0,06)	0,68 a 0,98	1,23 (0,09)	1,00 a 1,46
	4º	1,02 (0,12)	0,73 a 1,32	1,23 (0,09)	1,00 a 1,46
	8º	1,22 (0,42)	0,17 a 2,27	1,32 (0,08)	1,13 a 1,51

DT: desviación típica. IC 95%: intervalo para la media al 95% de confianza. N total=45 por campaña.

El análisis de la varianza confirmó que la campaña claramente no afectó significativamente a los valores encontrados de  $\beta$ -caroteno ( $F_{1,88}=0,091$ ;  $p=764$ ).

Se encontró que el tipo de tratamiento influyó de forma significativa ( $F_{4,85}=3,02$ ;  $p<0,023$ ;  $\omega^2=0,083$ ) sobre los niveles de  $\beta$ -caroteno. El tamaño del efecto encontrado muestra una asociación moderada-alta.

En la **Tabla IV.163** se muestran las comparaciones dos a dos para el tipo de invernadero donde sólo T1 mostró valores más bajos que T2. A su vez, T2, T3, T4 y T5 mostraron valores similares entre ellos. Coincide que los tomates cultivados en T1 mostraron los valores más bajos de licopeno y  $\beta$ -caroteno.

**Tabla IV.163.** Diferencias medias en los valores de  $\beta$ -caroteno según el tipo de tratamiento.

Tratamiento	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
T1	T2	-0,31	0,013	-0,57	-0,05
	T3	-0,12	0,698	-0,38	0,14
	T4	-0,12	0,681	-0,38	0,14
	T5	-0,21	0,170	-0,47	0,05
T2	T3	0,19	0,272	-0,07	0,45
	T4	0,18	0,285	-0,08	0,44
	T5	0,10	0,836	-0,16	0,36
T3	T4	0,00	1,000	-0,26	0,26
	T5	-0,09	0,868	-0,35	0,17
T4	T5	-0,09	0,880	-0,35	0,17

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Para el factor nivel del racimo (**Tabla IV.164**) se encontró que influyó de forma significativa ( $F_{2,87}=19,32$ ;  $p<0,001$ ;  $\omega^2=0,289$ ) sobre los niveles de  $\beta$ -caroteno con un tamaño del efecto muy grande.

Para el efecto del racimo, como se intuía, se encontró que, en general, los valores de los racimos superiores fueron más altos que en los otros dos niveles. Estos resultados coinciden con lo hallado para el licopeno, y justificarían que los racimos más altos muestren valores superiores de TEAC lipófilo respecto a los racimos más bajos (**Tabla IV. 142**).

**Tabla IV.164.** Diferencias medias en los valores de  $\beta$ -caroteno según el n° de racimo.

Racimo	Diferencia media	Valor-p	C.I 95% para la diferencias*		
			Límite inferior	Límite superior	
2º	4º	0,04	0,850	-0,13	0,21
	8º	-0,37	0,000	-0,54	-0,19
4º	8º	-0,40	0,000	-0,58	-0,23

\*Nivel de significación ajustado con la corrección de Bonferroni.

Existen evidencias científicas de que el contenido de  $\beta$ -caroteno se ve afectado por el incremento en la radiación solar ya que bajo condiciones de estrés se vio promovida la síntesis de este carotenoide en frutos de tomate cherry (Rosales, 2008). Gautier *et al.* (2008) también demostraron que el contenido  $\beta$ -caroteno depende de la luz interceptada por el propio fruto ya que en su estudio con tomates de la misma variedad observó que aquellos frutos que crecieron a la sombra tuvieron un menor contenido de este caroteno que aquellos que se desarrollaron en condiciones de luz.

En concordancia con esto, nuestros resultados muestran una fuerte correlación directa entre las radiaciones UVA, UVB y PAR transmitidas y los valores de  $\beta$ -caroteno de los frutos ( $r=0,6$  y  $r^2= 31,8\%$ ;  $r=0,4$  y  $r^2=19,8\%$ ;  $r=0,4$  y  $r^2=19,3\%$ , respectivamente), lo que nos permite justificar que en T1 con un porcentaje muy bajo de radiación PAR transmitida, se obtengan valores muy bajos de  $\beta$ -caroteno.

Dumas *et al.* (2003) determinaron un ratio de biosíntesis y acumulación de  $\beta$ -caroteno más rápida a  $35^\circ\text{C}$ , siendo menor a  $30^\circ\text{C}$ . Está comprobado que a temperaturas elevadas ( $35^\circ\text{C}$ ) se inhibe la acumulación de licopeno porque se estimula su conversión a  $\beta$ -caroteno. Sin embargo, otros autores sugieren que la temperatura óptima de acumulación de este carotenoide está alrededor de los  $30^\circ\text{C}$  (Roselló *et al.*, 2010). Al igual que se observó un aumento en la degradación de  $\beta$ -caroteno a partir de  $35\text{-}40^\circ\text{C}$  (Gautier *et al.*, 2005a).

En vista a nuestros resultados y según la bibliografía consultada podemos sugerir que los carotenoides analizados en los frutos de tomate Brenda de nuestro estudio (licopeno y  $\beta$ -caroteno) se vieron influenciados por las condiciones de estrés ambiental del invernadero, siendo T2 quien logró un mayor contenido de licopeno

y niveles de  $\beta$ -caroteno superiores a otros tratamientos (como T1) lo cual podría estar afectado por los diferentes tipos de radiación transmitidas y por las mayores temperaturas alcanzadas en T2 respecto al resto de tratamientos. El efecto de la intensidad de las radiaciones se pone de manifiesto, al observar que las cantidades de estos carotenoides se incrementan en los frutos de los racimos más altos vs racimos más bajos.

A modo de resumen, estos resultados sugieren que ambos carotenoides son los responsables del mayor poder antioxidante de los frutos de T2 en la fase lipofílica, afectados por el tipo de radiación y las elevadas temperaturas.

## **CAPÍTULO V. CONCLUSIONES**



## V. CONCLUSIONES

Los estudios llevados a cabo en la presente Tesis Doctoral han permitido obtener las siguientes conclusiones:

1. Las variaciones en las condiciones ambientales medidas durante la primera y segunda campaña se han producido en un entorno climático propio de la zona, siendo insuficientes para generar cambios agronómicos en la conducta del cultivo. Sin embargo, en la composición nutricional sí se aprecian cambios significativos como consecuencia de las variaciones observadas entre campañas.
2. En el plano agronómico, tanto en el comportamiento vegetativo como productivo de la planta, las diferencias significativas aparecidas entre tratamientos lo son a nivel estadístico pero desaparecen en el plano práctico.
3. La pérdida de las propiedades físicas y ópticas en la segunda campaña de los diversos materiales de cubierta experimentados, no ha inferido de forma determinante en la respuesta de los cultivos con respecto a lo hallado en el primer periodo.
4. Los resultados obtenidos nos permiten deducir que las estructuras de cultivo no engloban un volumen ambiental suficiente para que se traduzcan positivamente, y de forma más rotunda, las probables variaciones climáticas que inducen los materiales de cubierta con distinta fotoselectividad de la radiación.
5. La radiación UVA y la temperatura influyen positivamente en la mayoría de variables analizadas que definen la calidad organoléptica del fruto de tomate (color, acidez, salinidad, maduración) por lo que los

materiales de cobertura que transmiten un mayor porcentaje de este tipo de radiación y generan mayores temperaturas en el invernadero, permitirán cultivar tomates con mayor aceptabilidad por el consumidor, especialmente los obtenidos en los racimos superiores.

6. El contenido en materia seca es mayor en tomates cultivados bajo materiales de cobertura que mantienen elevadas temperaturas, desarrollados en los racimos superiores.
7. Los filmes que transmiten un mayor porcentaje de radiación UVB permiten obtener frutos de tomate con mayores niveles de macrominerales (Ca, K y Mg).
8. Las diferencias observadas en los resultados de actividad antioxidante entre los métodos TEAC y ORAC, pudiera deberse a que, aunque ambos ensayos cuantifican la capacidad que tienen todas las moléculas antioxidantes presentes en el alimento para reaccionar con un radical libre determinado, estos métodos difieren en el tipo de radical libre que se hace generar con los antioxidantes de las muestras.
9. El análisis de la capacidad antioxidante en fase hidrofílica mediante ORAC muestra una buena correlación con el contenido de polifenoles totales y específicamente con el contenido en rutina en el fruto de tomate. El análisis de la capacidad antioxidante en fase lipofílica mediante TEAC muestra una buena correlación con el contenido de licopeno en el fruto del tomate.
10. En relación al efecto de las distintas radiaciones sobre la capacidad antioxidante del fruto:
  - Altos porcentajes de transmisión de radiación UVA se relacionan con tomates que presentan los mayores valores de actividad antioxidante en fase hidrofílica (TEAC), lipofílica, polifenoles totales y  $\beta$ -caroteno.

-Un bajo porcentaje de radiación UVB mejora la capacidad antioxidante lipofílica y el contenido en licopeno del tomate.

-Los materiales de cobertura que permiten bajos porcentajes de transmisión de radiación PAR se relacionan con los mayores valores de actividad antioxidante en fase hidrofílica (ORAC) y de contenido en rutina.

11. El tratamiento térmico induce mayores niveles de actividad antioxidante hidro y lipofílica y de polifenoles totales, rutina, licopeno y  $\beta$ -caroteno.
12. Respecto al número de racimo, los valores mas altos en actividad y contenido en antioxidantes hidrosolubles (polifenoles totales y ácidos L-ascórbico mas dehidroascórbico) y liposolubles (licopeno y  $\beta$ -caroteno) se obtienen en los tomates de racimos superiores.



## **CAPÍTULO VI. BIBLIOGRAFÍA**



## VI. BIBLIOGRAFÍA

- Adams, S.R., Cockshull, K.E., Cave, C.R.J., **2001**. Effect of temperature on the growth and development of tomato fruits. *Ann Bot* 88, 869-877.
- Adamse, P., Reed, H.E., Krizek, D.T., Britz, S.J., Mirecki, R.M., **1997**. An inexpensive setup for assessing the impact of ambient solar ultraviolet radiation on seedlings. *J Nat Resour Life Sci Educ* 26, 139-144.
- Adegoroye, A.S., Jolliffe, P.A., **1983**. Initiation and control of sunscald injury of tomato fruit. *J Amer Soc Hort Sci* 108, 23-28.
- Alba, R., Cordonnier-Pratt, M.M., Pratt, L.H., **2000**. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. *Plant Physiol* 123, 363-370.
- Al-Yahyai, R., Al-Ismaily, S., Al-Rawahy, S. A., **2010**. Growing tomatoes under saline field conditions and the role of fertilizers. A Monograph on Management of Salt-Affected Soils and Water for Sustainable Agriculture, 83-88.
- Andersen, Ø.M., Markham, K.R., **2006**. Flavonoids: Chemistry, Biochemistry and Applications. En: Taylor & Francis Group. Ed. Boca Ratón, CRC Press, USA, 9-16.
- Anon, **1998**. Antioxidant and cytotoxin effect of oxidized lutein in human cervical carcinoma cells (HeLa). *Food Chem Toxicol* 48, 1811-1816.
- Antignus, Y., Lapidot, M., Hadar, D., Messika, Y., Cohen, S., **1998**. UV- absorbing screens serve as optical barriers to protect crops from virus and insect pests. *J Econ Entomol* 91, 1401-1405.
- Antón, A., **2004**. Utilización del Análisis del ciclo de vida en la evaluación del impacto ambiental del cultivo bajo invernadero Mediterráneo. (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Proyectos de Ingeniería. Barcelona, España.

- Anttonen, M.J., Hoppula, K.I., Nestby, R., Verheul, M.L.J., Karjalainen, R.O., **2006**. Influence of Fertilization, Mulch Color, Early Forcing, Fruit Order, Planting Date, Shading, Growing Environment, and Genotype on the Contents of Selected Phenolics in Strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.) fruits. *J Agric Food Chem* 54, 2614–2620.
- Anza, M., Riga, P., Garbisu, C., **2006**. Effects of variety and growth season on the organoleptic and nutritional quality of hydroponically grown tomato. *J Food Quality* 29, 16-37.
- AOAC. **2000**. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists. En: Nielsen. Ed. 17th Nueva York, USA.
- Arana, I., Jarén, C., Arazuri, S., García-Gembe, M.J., Ursua, A., Riga, P., **2007**. *Calidad del tomate fresco: técnica de cultivo y variedad*. Recuperado de: <http://www.horticom.com/pd/imagenes/67/359/67359.pdf>.
- Arnao, M.B., Cano, A., Acosta, M., **2001**. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chem* 73, 239-244.
- Asada, K., **1994**. Production and Action of Active Oxygen Species in Photosynthetic Tissue. En: Causes of Photo-Oxidative Stress and Amelioration of Defense Systems in Plants, Foyer, C.H. and P. Mullineaux (Eds.). Ed. Boca Raton, CRC Press, USA, 77-104.
- Atherton, J.G., Rudich, J., **1986**. The tomato Crop: A Scientific Basis for Improvement. Chapman & Hall, New York, EE.UU.
- Auerswald, H., Schward, D., Kornelson, C., Krumbein, A., Brückner, B., **1999**. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. *Sci Horticult* 82, 227-242.
- Awad, M.A., Jager, A., **2002**. Relationships between fruit nutrients and concentrations of flavonoids and chlorogenic acid in “Elstar” apple skin. *Sci Hort* 92, 265-267.
- Ayers, R.S. y Westcot, D.W., **1985**. Water quality for agriculture. FAO Irrig. and Drainage, nº 29. Roma, 174.
- Bacci, L., Grifoni, D., Sabatini, F., Zipoli, G., **1999**. UV-B radiation causes early ripening and reduction in size of fruits in two lines of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Global Change Biol* 5, 635–646.

- Bachmann, J., Earles, R., **2000**. Season extension techniques for market gardeners. Horticultural Technology Notes. Appropriate Technology Transfer for Rural Areas (ATTRA).
- Baille, A., **1999**. "Energy Cycle". En: Stanhill, G., Enoch, H.Z (Eds.), *Greenhouse Ecosystems*. Ed. Elsevier, Amsterdam, 77-104.
- Balasundram, N., Sundram, K., Samman, S., **2006**. Phenolic compounds in plants and agri-industrial by-products: Antioxidant activity, occurrence, and potential uses. *Food Chem*, 99, 191-203.
- Baldwin, E.A., Goodner, K., Plotto, A., **2008**. Interaction of volatiles, sugars, and acids on perception of tomato aroma and flavor descriptors. *J Food Sci* 73, S294-S307.
- Baldwin, E.A., Scott, J.W., Malundo, T.M.M., Shewfelt, R.L., Tandom, K.S., **1998**. Relationship between sensory and instrumental analysis for tomato flavor. *J Am Soc Hortic Sci* 123, 906-915.
- Balenzategui, L., Fernández, J.A., Bañón, S., González, A., Melgares, J., López, J., **2003**. Estudio de la influencia de la temperatura y la luz en la capacidad germinativa de *Globularia alypum* L. *Actas de Horticultura* 39, 495-497.
- Baqar, M.R., Lee, T.H., **1978**. Interaction of CPTA and high temperature on carotenoid synthess in tomato fruit. *Z Pflanzenphysiol* 88, 431-435.
- Barreiro, J., Sandoval, A. 2006. Operaciones de Conservación de Alimentos por Bajas Temperaturas. Equinoccio, Valle de Sartenejas, Baruta, Venezuela.
- Baxter, C.J., Carrari, F., Bauke, A., Overy, S., Hill, S.A., Quick, P.W., Fernie, A.R., Sweetlove, L.J., **2005**. Fruit carbohydrate metabolism in an introgression line of tomato with increased fruit soluble solids. *Plant Cell Physiol* 98, 1222-1227.
- Becker, E.M., Nissen, L.R., Skibsted, L.H., **2004**. Antioxidant evaluation protocols: Food quality or health effects. *Eur Food Res Technol* 219, 561-571.
- Beckles, D.M., **2012**. Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit. *Postharvest Biol Technol* 63, 129-140.

- Beecher, G.R., **2003**. Overview of dietary flavonoids: nomenclature, occurrences and intake. *J Nutr* 10, 3248S-3254S.
- Begum, S., Brewer, M., **2001**. Chemical, nutritive and sensory characteristics of tomatoes before and after conventional and microwave blanching and during frozen storage. *J Food Quality* 24, 1-15.
- Berbesí, M., Díaz, R., Guevara, L., Tapia, M., **2006**. Calidad higiénica y patógenos asociados con melones mínimamente procesados expendidos en supermercados. Desarrollo de tecnologías para la conservación de vegetales frescos cortados. I Simposio Ibero-Americano de Vegetales Frescos Cortados. San Pedro, Brazil. Abril.
- Berninger, E., **1989**. Cultures florales de serre en zone méditerranéenne française: Eléments climatiques et physiologiques. En: INRA, PHM- Revue Horticoles. Ed. Paris.
- Bernstein, L., **1975**. Effects of salinity and sodicity on plant growth. *Ann Rev Phytopath* 13, 295-312.
- Bertin, N., Buret, M., Gary, C., **2001**. Insights into the formation of tomato quality during fruit development. *J Hort Sci Biotechnol* 76, 786-792.
- Beverly, R.B., Latimer, J.G., Smittle, D.A., **1993**. Postharvest Handling: A System Approach. Academic. New York, 73-98.
- Bilton, R., Gerber, M., Grolier, P., Leoni, C., **2001**. The white book on antioxidants in tomatoes and tomato products and their health benefits. Final report of the Concerted Action Fair CT97-3233. CMITI Sarl: Avignon, Francia.
- Blasco, B., Ríos, J.J., Cervilla, L.M., Sánchez-Rodríguez, E., Ruiz, J.M., Romero, L., **2008**. Iodine biofortification and antioxidant capacity of lettuce: potential benefits for cultivation and human health. *Ann Appl Biol* 152, 289-299.
- Blum, A., Monir, M., Wirsansky, I., Ben-Arzi, S., **2005**. Review article: the beneficial effects of tomatoes. *Eur J Intern Med* 16, 402-404.
- Blumthaler, M., Ambach, W., **1990**. Indication of increasing solar ultraviolet B radiation flux in alpine regions. *Science* 248, 206.
- Bornman, J.F., Voguelmann, T.C., **1991**. The effect of UV-B radiation on leaf optical properties measured with fiber optics. *J Exp Bot* 42, 547-554.
- Bramley, P.M., **2000**. Is lycopene beneficial to health?. *Phytochemistry* 54, 233-236.

- Brandt, K., Giannini, A., Lercari, B., **1995**. Photomorphogenic responses to UV radiation III: a comparative study of UVB effects on anthocyanin and flavonoid accumulation in wild type and aurea mutant of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Photochem Photobiol* 62, 1081–1087.
- Brandt, S., Pék, Z, Barna, E., Lugasi, A., Lajos, H., **2006**. Lycopene content and color of ripening tomatoes as affected by environmental conditions. *J Sci Agric* 86, 568-572.
- Bravo, L., **1998**. Polyphenols: Chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutr Rev* 56, 317-333.
- Briassoulis, O., Waaijenberg, D., Grataud, J., y Von Elsner, B., **1997a**. Mechanical properties of covering materials for greenhouses. Part 1: General overview. *J Agr Eng Res* 67, 81-96.
- Briassoulis, O., Waaijenberg, D., Grataud, J., y Von Elsner, B., **1997b**. *Mechanical properties of covering materials for greenhouses*. Part 2: Quality Assesment., *J Agr Eng Res* 67, 171-217.
- Britton, G., Liaaen- Jensen, S., Pfander, H., **2004**. Carotenoids handbook. Basel: Birkhäuser Verlag.
- Bucheli, P., Voirol, E., De la Torre, R., López, J., Rytz, A., Tanksley, S.D., Pétiard, V., **1999**. Definition of non volatile markers for flavor of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as tools in selection and breeding. *J Agric Food Chem* 47, 659–664.
- Buettner, G.R., Jurkiewics, B.A., **1996**. En: Cadenas E, Packer, L., (Eds.), Handbook of Antioxidants. Marcel Dekker, New York, EEUU, 91.
- Buffoni-Hall, R.S., Bornman, J.F., Björn, L.O., **2002**. UV-induced changes in pigment content and light penetration in the fruticose lichen *Cladonia arbuscula* spp. Mitis. *J Photochem Photobiol B* 66, 13–20.
- Burns, J., Fraser, P.D., Bramley, P.M., **2003**. Identification and quantification of carotenoids, tocopherols and chlorophylls in commonly consumed fruits and vegetables. *Phytochemistry* 62, 939-947.

- Butler, B.R., Ross, D.S., **1999**. Extending the production season for vegetables and small fruits. Fact Sheet 760. Maryland Cooperative Extension 8.
- Cabibel, M., Ferry, P., **1980**. Evolution de la teneur en caroténoïdes de la tomate en fonction de la maturation et des conditions culturales. *Ann Techn Agric* 29, 27-46.
- Caldwell, M.M., Bornman, J.F., Ballare, C.L., Flint, S.D., Kulandaivelu, G., **2007**. Terrestrial ecosystems, increased solar ultraviolet radiation and interactions with other climatic factors. *Photochem Photobiol Sci* 6, 252-266.
- Caldwell, M.M., Camp, L.B., Warner, C.W., Flint, S.D., **1986**. Action spectra and their key role in assessing biological consequences of solar UV-B radiation change. In Worrest, R.C. & Caldwell M.M., (Eds.). Stratospheric Ozone Reduction, Solar Ultraviolet Radiation and Plant Life. Springer-Verlag, New York, USA, 87-111.
- Callejón-Ferre, A.J., Manzano-Agugliaro, F., Díaz-Pérez, M., Carreño-Ortega, A., J. Pérez, A., **2009**. Effect of shading with aluminized screens on fruit production and quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.) under greenhouse conditions. *J Agr Res* 7, 41-49.
- Calvenzani, V., Martinelli, M., Lazzeri, V., Giuntini, D., Dall'Asta, C., Galaverna, G., **2010**. Response of wild-type and *high pigment-1* tomato fruit to UV-B depletion: Flavonoid profiling and gene expression. *Planta* 231, 755-765.
- Cano, A., Acosta, M., Arnao, M.B., **2003**. Hydrophilic and lipophilic antioxidant activity changes during on- vine ripening of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Postharvest Biol Technol* 28, 59-65.
- Cantwell, M. **2004**. Fresh Market Tomato. Statewide Uniform Variety Trial Report Field and Postharvest Evaluations. Universidad de California. South San Joaquin Valley, EE.UU.
- Caputo, M., Sommella, M.G., Graciani, G. et al., **2004**. Antioxidant profiles of corbara small tomatoes during ripening and effects of aqueous extracts on j-774 cell antioxidant enzymes. *J Food Chem* 50, 5458-5462.
- Caridi, D., Trenerry, V.C., Rochfort, S., Duong, S., Laughler, D., Jones, R., **2007**. Profiling and quantifying quercetin glucosides in onion (*Allium cepa* L.) varieties using capillary zone electrophoresis and high performance liquid chromatography. *Food Chem* 105, 691-699.

- Casaño-Rivero, R., Suárez-Hernández, P., Rodríguez-Rodríguez, E.M., Darías-Martín, J., Díaz-Romero, C., **2003**. Mineral concentrations in cultivars of potatoes. *Food Chem* 83, 247-253.
- Casierra-Posada, F., Álvarez, O.J., Luque, N., **2010**. Fruit quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L. cv. Rocío) grown under reflective and plastic cover. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas* 4, 67-80.
- Castilla, N., **1995**. Manejo del tomate en cultivo intensivo con suelo. En: *El cultivo del tomate*. F. Nuez. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 189-225.
- Castilla, N., **2004**. El cultivo protegido. En: *Invernaderos de Plástico. Manejo y tecnología*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 25-35.
- Castilla, N., **2005**. Invernaderos de plástico. En: *Tecnología y manejo*. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, 3, 73-76; 4, 92-103.
- Causse, M., Saliba-Colombani, V., Lecomte, L., Duffe, P., Rousselle, P., Buret, M., **2002**. QT analysis of fruit quality in fresh market tomato: a few chromosome regions control the variation of sensory and instrumental traits. *J Exo Bot* 53, 2089-2098.
- CEPLA, **2006**. Plásticos para la agricultura. Manual de aplicaciones y usos. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Junta de Andalucía, 25-31, 43-59.
- Challa, H., Heuvelink, E., Van Meeteren, U., **1995**. Crop growth and development. Long-term responses. Crop growth. En: Bakker, J.C.; Bot, G.P.A.; Challa, H., Van de Braak, N.J. *Greenhouse climate control: an integrated approach*. Wageningen: Wageningen Pers, 62-84.
- Chen, J.Y., He, L.H., Jiang, Y.M., Wang, Y., Joyce, D.C., Ji, Z., **2008**. Role of phenylalanine ammonia-lyase in heat pretreatment-induced chilling tolerance in banana fruit. *Physiol Plant* 132, 318-328.
- Chen, R. Y., Wu, J. J., Tsai, M. J., Liu, M. S., **2000**. Effect of storage and thermal treatment on the antioxidant activity of tomato fruits. *J Chin Chem Soc* 38, 353-360.

- Ciruelos-Calvo, A., De la Torre-Carreras, R., González-Ramos, C., **2007**. Parámetros de calidad en el tomate para industria. En: *Informe 2007: La agricultura y la ganadería extremeñas*. Ed. Edelibros S.L.U., Badajoz, España 157- 169.
- Clé, C., Hill, L.M., Niggeweg, R., Martin, C.R., Guisez, Y., Prinsen, E., Marcel A.K. Jansen, M.A.K., **2008**. Modulation of chlorogenic acid biosynthesis in *Solanum lycopersicum*; consequences for phenolic accumulation and UV-tolerance. *Phytochemistry* 69, 2149–2156.
- Clinton, S.K., **1998**. Lycopene; chemistry, biology and implications for human health and diseases. *Nutr Rev* 56, 35- 51.
- Cockshull, K.E., Graves, C.J., Cave, C.R.J., **1992**. The influence of shading on yield of glasshouse tomatoes. *J Hortic Sci* 67, 11–24.
- Cohen, J., **1988**. Statistical power analysis for the behavioral sciences. 2<sup>a</sup> ed. New York: Academic Press.
- Contreras, F., Caro, M., González, A., López, J., **2006**. Adaptación de Water Use Classification of Landscape Species (WUCOLS) a la Región de Murcia mediante la comparación de valores medios de evapotranspiración. Actas III Jornadas Ibéricas de Horticultura Ornamental, 65-70.
- Corzo, O., **1993**. Refrigeración, Congelación y Tratamiento Térmico de Alimentos. Universidad de Oriente, Cumaná, Venezuela.
- Crozier, A., Jaganath, I.B., Clifford, M.N., **2009**. Dietary phenolics: chemistry, bioavailability and effects on health. *Nat Prod Rep* 26, 1001-1043.
- Crutzen, P.J., **1972**. SST': A threat to the Earth's Ozone Shield. *Ambio* 1, 41–51.
- D'Archivio, M., Filesi, C., Di Benedetto, R., Gargiulo, R., Giovannini, C., Masella, R., **2007**. Polyphenols, dietary sources and bioavailability. *Ann Ist Super Sanita* 43, 348-361.
- Davies, J.N., Hobson, G.E, **1981**. The constituents of tomato fruit; the influence of environment, nutrition and genotype. *Crit Rev Food Sci Nutr* 15, 205-280.
- Davies, J.N., Kempton, R.J., **1975**. Changes in the individual sugars of tomato fruit during ripening. *J Sci Food Agric* 26, 1103-1110.
- Day, T.A., Howells, B.W., Ruhland, C.T., **1996**. Changes in growth and pigment concentrations with leaf age in pea under modulated UV-B radiation field treatments. *Plant Cell Environ* 19, 101-108.

- Day, T.A., 1993. Relating UV-B radiation screening effectiveness of foliage to absorbing-compound concentration and anatomical characteristics in a diverse group of plants. *Oecologia* 95, 542-550.
- De Bryun, J.W., Garretsen, F., Kooistra, E., 1971. Variation in taste and chemical composition of the tomato (*Lycopersicum esculentum*). *Euphytica* 20, 214-227.
- De León Cifuentes, W.E., 2009. Evaluación ambiental de la producción del cultivo del tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.), bajo condiciones protegidas en las Palmas de Gran Canaria, España, mediante la utilización de la metodología del análisis del ciclo de la vida (Tesis Doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona.
- De Liñan Carral, C., 2014. Vademecum de productos fitosanitarios y nutricionales. Mundi- Prensa Libros, S.A.
- Del Amor, F.M., López, J., González, A., 2008. Effect of Photosensitive Sheet and Grafting Technique on Growth, Yield and Mineral Composition of Sweet Pepper Plant. *J Plant Nutrition* 31, 1108-1120.
- Díaz, T., Espi, E., Fontecha, A., Jimenez, J.C., Lopez, J., Salmeron, A., 2001. Los Filmes Plásticos en la Producción Agrícola. Ed. Mundi-Prensa. Madrid, 3, 66; 4, 122; 7, 238-248.
- Dixon, R.A, Palva, N.L., 1995. Stress- induced phenylpropanoid metabolism. *Plant Cell* 7, 1085-1097.
- Doehler, G., 1998. Effect of UV radiation on the pigments of the antarctic macroalga *Leptosomia simplex* L. *Photosynthetica* 35, 473-476.
- Dorais, M., Ehret, D.L., Papadopoulos, A.P., 2008. Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer. *Phytochem Rev* 7, 231-250.
- Dorais, M., Papadopoulos, A.P., Gosselin, A., 2001. Greenhouse tomato fruit quality: the influence of environmental and cultural factors. *Hort Rev* 26, 239-319.
- Dumas, Y., Dadomo, M., Di Lucca, G., Grolier, P., 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J Sci Food Agric* 83, 369-382.

- Dussi, M.C., Giardina, G., y Reeb, P., **2005**. Shade net effect on canopy light distribution and quality of fruit and spur leaf on apple cv. Fuji. *Span. J Agric Res* 3, 253-260.
- Ehling-Schultz, M., Bilger, W., Scherer, S., **1997**. UV-B induced synthesis of photoprotective pigments and extracellular polysaccharides in the terrestrial cyanobacterium *Nostoc commune*. *J Bacteriol* 179, 1940-1945.
- Eichholzer, M., Luthy, J., Gutzwiller, F., Stahelin, H.B., **2001**. The role of folate, antioxidant vitamins and other constituents in fruit and vegetables in the prevention of cardiovascular disease: the epidemiological evidence. *Intl J Vitamin Nutr Res* 71, 5-17.
- Escaff, M., Gil, P., Ferreyra, R., Estay, P., Bruna, A., Maldonado, P., Barrera, C., **2005**. Cultivo del tomate bajo invernadero 79. Boletín INIA, N° 128, La Cruz, Chile.
- Escobar, I., Berenguer, J.J., Navarro, M., Cuartero, J., **2012**. La calidad gustativa y nutricional como atributos para liderar el mercado de tomate fresco. CSIC, Gabinete Técnico. Caja Rural de Granada.
- FAO. 2011. *Manual Técnico para las Buenas Prácticas Agrícolas (BPA) en la Producción de Tomate bajo Condiciones Protegidas*. Corporación Colombiana de Investigación Agropecuaria. Mejoramiento Alimentario y Nutricional de Antioquia. Gobernación de Antioquia. FAO. Recuperado de: <http://ftp.fao.org/docrep/fao/010/a1374s/a1374s07.pdf>.
- FAOSTAT, 2011. *Crops Production*. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Recuperado de: <http://faostat.fao.org/site/567/default.aspx#ancor>.
- Fenoll, J., Camacho, M.M., López, J., Hellín, P., González, A., Flores, P., **2008**. Dissipation rates of procymidone and azoxystrobin in greenhouse brown lettuce and under cold storage conditions. *Int J Environ Anal Chem* 88, 737-746.
- Fenoll, J., López, J., Hellín, P., Flores, P., González, A. **2007**. Simplified Multiresidue the Determination of Pesticide Residues in Lettuce by Gas Chromatography with Nitrogen-Phosphorus Detection. *Anal Bioanal Chem* 389, 643-651.
- FEPEX, 2014. *Evolución de las exportaciones e importaciones españolas de tomate en la Unión Europea (Periodo 2011 a 2013)*. Federación Española de Asociaciones de Productores Exportadores. Sector frutas y hortalizas. Recuperado de:

<http://www.fepex.es/datos-del-sector/exportacion-importacion-española-frutas-hortalizas>.

- Ferguson, L.R, **1997**. Micronutrients, dietary questionnaires and cancer. *Biomed Pharmacother* 8, 337-344.
- Fernández-Ruiz, V., Olives A.I., Cámara, M., Sánchez-Mata, M.C., Torija, M.E., **2011**. Mineral and Trace Elements Content in 30 Accessions of Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.) and Wild Relatives (*Solanum pimpinellifolium* L., *Solanum cheesmaniae* L. Riley, and *Solanum habrochaites* S. Knapp & D.M. Spooner). *Biol Trace Elem Res* 141, 329-339.
- Fernández-Ruiz, V., Olives, A.I., Cámara, M., Sánchez-Mata M.C., Torija M.E, **2011**. Mineral and Trace Elements Content in 30 Accessions of Tomato Fruits (*Solanum lycopersicum* L.) and Wild Relatives (*Solanum pimpinellifolium* L., *Solanum cheesmaniae* L. Riley, and *Solanum habrochaites* S. Knapp & D.M Spooner). *Biol Trace Elem Res* 141, 329-339.
- Finnan, J.M., Burke, J.I., Jones, M.B., **1997**. A note on a non-destructive method of chlorophyll determination in wheat (*Triticum aestivum* L.) *Ir J Agr Food Res* 36, 85-89.
- Fiscus, E.L., Booker, F.L., **1995**. Is increased UV-B a threat to crop photosynthesis and productivity?. *Photosynth Res* 43, 81-92.
- Fleisher, D., Logendra, L., Moraru, C., Both, A-J., Cavazzoni, J., Gianfagna, T., **2006**. Effect of temperature perturbations on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) quality and production scheduling. *J Hort Sci Biotechnol* 81, 125-131.
- Foolad, M.R., Lind, G.Y., **1998**. Genetic analysis of low temperature tolerance during germination in tomato, *Lycopersicon esculentum* Mill. *Plant Breeding* 117, 171-176.
- Fox, R.H., Piekielek, P., Macneal, K.M., **1994**. Using chlorophyllmeter to predict nitrogen fertilizer needs of winter wheat. *Soil Sc Plant Anal* 25, 171-181.
- Foyer, C.H, Lelandais, M., Kunert K.J., **1994**. Photooxidative stress in plants. *Physiol Plant* 92, 696-717.

- Foyer, C.H., Noctor, G., **2005**. Oxidant and antioxidant signaling in plants: re-evaluation of the concept of oxidative stress in a physiological context. *Plant Cell Environ* 28, 1056-1071.
- Frohnmeier, H., Staiger, D., **2003**. Ultraviolet-B radiation-mediated responses in plants: balancing damage and protection. *Plant Physiol* 133, 1420-1428.
- Frusciante, L., Carli, P., Ercolano, M.R., Pernice, R., Di Matteo, A., Fogliano, V., Pellegrini, N., **2007**. Antioxidant nutritional quality of tomato. *Mol Nutr Food Res* 51, 609-617.
- Gahler, S., Otto, K., Bohm, V., **2003**. Alterations of vitamin C, total phenolics, and antioxidant capacity as affected by processing tomatoes to different products. *J Agric Food Chem* 51, 7962-7968.
- Galindo, A., **2010**. Influencia de materiales de cubierta fotoselectivos en un cultivo de tomate en invernadero (Trabajo fin de carrera). Universidad Miguel Hernández de Elche.
- Gálvez, A., López-Marín, J., Calvo, M.R., Espi, E., González, A., **2009**. Uso de cubiertas en invernaderos con materiales plásticos fotoselectivos para variar la temperatura interior. Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura 805-814.
- García, E., Barrett, D.M., **2008**. Assessing lycopene content in California processing tomatoes. *J Food Process Pres* 30, 56-70.
- García-Alonso, F.J., Bravo, S., Casas, J., Pérez-Conesa, D., Jacob, K., Periago, M.J., **2009**. Changes in Antioxidant Compounds during the Shelf Life of Commercial Tomato Juices in Different Packaging Materials. *J Agric Food Chem* 57, 6815-6822.
- García-Alonso, Y., Espi, E., Salmerón, A., Fontecha, A., González, A., López, J., **2006**. New Cool Plastic Films for Greenhouse Covering in Tropical and Subtropical areas. *Acta Hort* 719, 131-137.
- García-Closas, R., Berenguer, A., Tormo, M.J., Sánchez, M.J., Quirós, J.R., **2004**. Dietary sources of vitamin C, vitamin E and specific carotenoids in Spain. *Brit J Nutr* 91, 1005-1011.
- García-Macias, P., Ordidge, M., Vysini, E., Waroonphan, S., Battey, N.H., N, G., Hadley, P., Jones, P., Lovegrive, J., Wagstaffe, A., **2007**. Changes in the flavonoid and phenolic acid contents and antioxidant activity of red leaf

- Lettuce (Lollo Rosso) due to cultivation under plastic films varying in ultraviolet transparency. *J Agric Food Chem* 55, 10168–10172.
- García-Valverde, V., Navarro-González, I., García-Alonso, J., Periago, M.J., **2011**. Antioxidant Bioactive Compounds in Selected Industrial Processing and Fresh Consumption Tomato Cultivars. *Food Bioprocess Tech*.doi:10.1007/s11947-011-0687-3.
- Gautier, H., Rocci, A., Buret, M., Graselley, D., Causse, M., **2005a**. Fruit load or fruit position alters response to temperature and subsequently cherry tomato quality. *J Sci Food Agric* 85, 1009-1016.
- Gautier, H., Rocci, A., Buret, M., Grasselley, D., Dumas, Y., Causse, M., **2005b**. Effect of photoselective filters on the physical and chemical traits of vine- ripened tomato fruits. *Can J Plant Sci* 85, 439-446.
- Gautier, H., Diakou-Verdin, V., Bénard, C., Reich, M., Buret, M., Bourgaud, F., Poëssel, J.L., Caris-Veyrat, C., Génard, M., **2008**. How Does Tomato Quality (Sugar, Acid, and Nutritional Quality) Vary with Ripening Stage, Temperature, and Irradiance?. *J Agric Food Chem* 56, 1241-1250.
- George, B., Kaur, Ch., Khurdiya, D.S., Kapoor, H.C., **2004**. Antioxidants in tomato (*Lycopersicon esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem* 84, 45-51.
- Gerard, C.J., **1971**. Influence of osmotic potential, temperature, and calcium on growth of plant roots. *Agron J* 63, 555-558.
- Gil, M.I., Casteñer, M., Ferres, F., Artés, F., Tomás-Barberán, F.A., **1998**. Modified atmosphere packaging of minimally processed “Lollo Rosso” (*Lactuca sativa*) phenolic metabolites and quality changes. *Z Lebensm Unters Forsch* 206, 350-354.
- Gil, M.I., Ferres, F., Tomás-Barberán, F.A., **1999**. Effect of postharvest storage and processing on the antioxidant constituents (flavonoids and vitamin C) of fresh-cut spinach. *J Agric Food Chem* 47, 2213-2217.
- Gil-Guerrero, J.L., Reboloso-Fuentes, M.M., **2009**. Nutrient composition and activity of eight tomato (*Lycopersicon esculentum*) varieties. *J Food Compost Anal* 22, 123-129.

- Giovanelli, G., Lavelli, V., Peri, C., Nobili, S., **1999**. Variation in antioxidant components of tomato during vine and post-harvest ripening. *J Sci Food Agric* 79, 1583- 1588.
- Gitz III, D.C., Liu-Gitz, L., Britz, S.J., Sullivan, J.H., **2005**. Ultraviolet-B effects on stomatal density, water-use efficiency, and stable carbon isotope discrimination in four glasshouse-grown soybean (*Glycine max*) cultivars. *Environ Exp Bot* 53, 343–355.
- Giuntini, D., Graziani, G., Lercari, B., Fogliano, V., Soldatini, G.F., Ranieri, A., **2005**. Changes in carotenoid and ascorbic acid contents in fruit of different tomato genotypes related to the depletion of UV-B radiation. *J Agric Food Chem* 53, 3174-3181.
- Giuntini, D., Lazzeri, V., Calvenzani, V., Dall'Asta, C., Galavera, G., Tonelli, C., Petroni, K., Ranieri, A., **2008**. Flavonoid Profiling and Biosynthetic Gene Expression in Flesh and Peel of Two Tomato Genotypes Grown under UV-B Depleted Conditions during Ripening. *J Agric Food Chem* 56, 5905-5915.
- Goff, S.A., Klee, H.J., **2006**. Plant volatile compounds: sensory cues for health and nutritional value?. *Science* 311.
- González, A., Caro, M., López, J., García, J., **2003b**. Implicaciones ambientales en el colapso del tomate. Factores abióticos. *Agrícola Vergel* 256, 236-247.
- González, A., López, J., Fernández, J.A., Fontecha, A., Salmerón, A., Bañón, S., **2004**. Efectos del uso de plásticos fotoselectivos sobre el desarrollo y la productividad del tomate en invernadero. *Agricultura* 868, 890-893.
- González, A., López, J., Rodríguez, R., Martín, P., Bañón, S., Fernández, J.A., Franco, J.A., **2003a**. Behaviour of biodegradable film for mulching in open-air melon cultivation in SE Spain. *Acta Hort* 414, 71-77.
- González, A.; Franco, J. A.; Fernández, J. A.; Rodríguez, R.; Salmerón, A. y Espí, E., **2001**. Strawberry and Cucumber cultivation under Fluorescent photoselective Plastic Film Cover. *Acta Hort* 614, 407-413.
- Gordon, M.H., **2001**. El desarrollo del enranciamiento oxidativo en los alimentos. En: POKORNY, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas. Ed. ACRIBIA, 7-21.

- Gough, H., Hobson, G.E., **1990**. A comparison of the productivity, quality, shelf- life characteristics and consumer reaction to the crop from cherry tomato plants grown at different levels of salinity. *J Hort Sci* 65, 431-439.
- Grattan, S.R., Grieve, C.M., **1999**. Salinity-mineral nutrient relations in horticultural crops. *Sci Hort* 78, 127-157.
- Grierson, D., Kader, A.A., **1986**. Fruit ripening and quality. J.G. Atherton J. Rudich (eds.), *The Tomato Crop*, Chapman and Hal, London 6, 241-288.
- Gundersen, V., McCall, D., Bechmann, I.E., **2001**. Comparison of Mayor and Trace Element Concentration in Danish Greenhouse Tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Cv. Aromata F1) cultivated in different Substrates. *J Agric Food Chem* 49, 3808-3815.
- Guo, J., Wang, M.H., **2010**. Ultraviolet A- specific induction of anthocyanin biosynthesis and PAL expression in tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Plant Growth Regul* 62, 1-8.
- Haborne, J.B., Williams, C.A., **2000**. Advances in flavonoids research since 1992. *Phytochem* 55, 481-504.
- Halevy, S., Koth, H., Guggenheim, K., **1957**. The vitamin and mineral content of fruits and vegetables grown in Israel. *Br J Nutr* 11, 409-413.
- Halliwell, B., **2000**. Antioxidant activity and other biological effects of flavonoids. En: *Wake up to Flavonoids*, 13-23. London: Rice- Evans, C. Royal Society of Medicine.
- Hamner, K.C., Bernstein, L., Maynard L.A., **1945**. Effects of light intensity, day length, temperature, and other environment factors on the ascorbic acid content of tomatoes. *J Nutr* 29, 85-97.
- Hanan, J.J., **1998**. Greenhouses: Advanced technology for portected cultivation. Ed. CRC Press. Boca Raton Florida. USA.
- Hannum, S.M., **2004**. Potential impact of strawberries on human health: a review of the science. *Crit Rev Food Sci Nutr* 44, 1-17.
- Hao, X., Hale, B.A., Ormrod, D.P., Papadopoulos, A.P., **2000**. Effects of pre-exposure to ultraviolet-B radiation on responses of tomato (*Lycopersicon*

- esculentum cv. New Yorker) to ozone in ambient and elevated carbon dioxide. *Environ Pollut* 110, 217–224.
- Harish, M.C., Sathishkumar, R., 2011. Antioxidant potentials of skin, pulp, and seed fractions of commercially important tomato cultivars. *Food Sci Biotechnol* 20, 15-21.
- Hart, D.J., Scott, K.J., 1995. Development and evaluation of an HPLC methods for the analysis of carotenoid content of vegetables and fruits commonly consumed in the UK. *Food Chem* 54, 101-111.
- Hectors, K., Jacques, E., Prinsen, E., Guisez, Y., Verbelen, J.P., Jansen, M.A.K., Vissenberg, K., 2010. UV radiation reduces epidermal cell expansion in leaves of *Arabidopsis thaliana*. *J Exp Bot* 61, 4339–4349.
- Hemming, S., 2008. Materiales difusos para cubiertas de invernaderos no solamente para climas cálidos. *Plasticulture* 127, 25-39.
- Hernández-Suárez, M., Rodríguez-Rodríguez, E.M., Díaz-Romero, C., 2007. Mineral and trace element concentration in cultivars of tomatoes. *Food Chem* 104, 489-499.
- Hernández-Yépez, J.N., 2013. “Caracterización físico-química y microbiológica del tomate margariteño (*Lycopersicon esculentum* var. España) y evaluación de la efectividad de tratamientos de pre-ensado para el incremento de su vida comercial a temperatura ambiente” (Tesis doctoral). Universidad de Córdoba, Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos. Córdoba, España.
- Heuvelink, E., Dorais, M., 2005. Crop growth and yield. En: Heuvelink, E (Ed.). Tomato. Crop production science in horticulture series, nº 13. CAB International, Wallingford, Oxon, Reino Unido.
- Ho, L.C., Sjut, V., Hoad., G.V., 1983. The effect of assimilate supply in fruit growth and hormone level in tomato plants. *Plant Growth Regul* 1, 155-171.
- Hoffman, S., 1999. The effect of UV-radiation on colours of leaves and flowers of plants. *Gartenbauwissensch* 64, 88-93.
- Hollosy, F., 2002. Effects of ultraviolet radiation on plant cells. *Micron* 33, 179–197.
- Huang, L.K., He, J., Chow, W.S., Whitecross, M.I., Anderson, J.M., 1993. Responses of detached rice leaves (*Oryza sativa* L.) to moderate supplementary

- ultraviolet-B radiation represent an initial method to determine relative sensitivity to ultraviolet-B irradiation. *Aust J Plant Physiol* 20, 285-297.
- Huff, A., **1984**. Sugar regulation of plastid interconversions in epicarp of citrus fruit. *Plant Physiol* 76, 307-312.
- Hyson, D., **2002**. The health benefits of fruits and vegetables. A scientific overview for health professionals. Better Health Foundation, Wilmington, EE.UU.
- Iglesias, M. J., García-López, J., Collados-Luján, J.F., López-Ortiz, F., Díaz, M., Toresano, F., Camacho, F., **2015**. Differential response to environmental and nutritional factors of high-quality tomato varieties. *Food Chem* 176, 278–287.
- INFOAGRO , **2009**. MANUAL DE CULTIVO DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill.). Nodo Hortícola VI Región. Recuperado de: <http://www.infoagro.com/noticias/2009/3/5562>.
- INTIA, **2012**. Valoración agronómica de la variedad de tomate caramba (*Lycopersicon esculentum*) en invernadero: ensayo de distintos patrones. Universidad Pública de Navarra.
- Jagger, J., **1985**. Solar-UV Actions on Living Cells. Praeger, New York, EUA 202.
- Jansen, M.A.K., Gaba, V., Greenberg, B.M., **1998**. Higher plants and UV-B radiation: Balancing damage, repair and acclimation. *Trends Plant Sci* 3, 131–135.
- Jarquín-Enríquez, L., Mercado-Silva, E.M., Maldonado, J.L., Lopez-Baltasar, J., **2013**. Lycopene content and color index of tomatoes are affected by the greenhouse cover. *Sci Hort* 155, 43-48.
- Jen, J.J., **1974**. Influence of spectral quality of light on pigment system of ripening tomatoes. *J Food Sci* 39, 907-910.
- Jimenez, A., Creissen, G., Kular, B., Firmin, J., Robinson, S., Verhoeyen, M., Mullineaux, P., **2002**. Changes in oxidative processes and components of the antioxidant system during tomato fruit ripening. *Planta* 214, 751-758.
- Johnston, H.S., **1971**. Reduction of stratospheric ozone by nitrogen oxide catalysts from supersonic transport exhaust. *Science* 173, 517–522.
- Jones, J.B., **1999**. Tomato Plant Culture: In the Field, Greenhouse and Home Garden. Ed. Boca Raton, CRC Press LLC. Florida, EEUU.

- Jonson, I.T., Southon, S., Faulks, R., **2001**. Predicción de la biodisponibilidad de los antioxidantes de los alimentos: el caso de los carotenoides 119-137. En: POKORNY, J., Yanishlieva, N., Gordon, M. Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas. Ed. ACRIBIA.
- Jordan, B.R., **1996**. The effects of ultraviolet-B radiation on plants: A molecular perspective. *Adv Bot Res* 22, 97-162.
- Josuttis, M., Dietrich, H., Treutter, D., Will, F., Linnemannstons, L., Kruger, E., **2010**. Solar UVB response of bioactives in strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch. L.): a comparison of protected and open-field cultivation. *J Agric Food Chem* 58, 12692-12702.
- Joy, R.W., Patel, K.R., Thorpe, T.A., **1988**. AsA enhancement of organogenesis in tobacco callus. *Plant Cell Tissue Organ Cult* 13, 219-228.
- Kader, A.A., **2008**. Flavor quality of fruits and vegetables. *J Sci Food Agric* 88, 1863-186.
- Kader, A.A., Stevens, M.A., Albright-Holton, M., Morris, L.L., Algazi, M., **1977**. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. *J Am Soc Hortic Sci* 102, 724-731.
- Kähkönen, M, P., Hopia, A. I., Heinonen, M., **2001**. Berry phenolics and their Antioxidant activity. *J Agric Food Chem* 49, 4076 - 4082.
- Kamps, T., T. Isleib, R. Herner, y K. Sink., **1987**. Evaluation of Techniques to Measure Chilling Injury in Tomato. *HortScience* 22, 1309-1312.
- Karpinski, S., Wingsle, G., Karpinska, B., Hallgreen, J.E., **1993**. Molecular responses to photooxidative stress in *Pinus sylvestris* (L). Differential expression of CuZn-superoxide dismutases and glutathione-reductase. *Plant Physiol* 103, 1358-1391.
- Kaur, C., Walia, S., Nagal, S., Walia, S., Singh, J., Singh, B.B., Saha, S., Singh, B., Kalia, P., Jaggi, S., Sarika., **2013**. Functional quality and antioxidant composition of selected tomato (*Solanum lycopersicon* L) cultivars grown in Northern India. *Food Sci Technol* 50, 139-145.
- Kenig, A., Fernández-Rodríguez, E., **2002**. Quality of truss tomatoes grown under aluminized reflective screens in Southern Spain. Recuperado de: <http://www.polysack.com/files/1f35d061c8702f3ebcdb69136468942.pdf>.

- Kerk, N.M., Feldman, L.J., **1995**. A biochemical model for initiation and maintenance of the quiescent centre: implications for organization of root meristems. *Plant Develop* 121, 2825-2833.
- Kerr, R.A., **1991**. Ozone destruction worsens. *Science* 252, 204.
- Kittas, C., Baille, A., **1998**. Determination of the Spectral Properties of Several Greenhouse Cover Materials and Evaluation of Specific Parameters Related to Plant Response. *J. agric. Engng Res* 71, 193-202.
- Kittas, C., Tchamitchian, M., Katsoulas, N., Karaiskou, P., Papaioannou, C., **2006**. Effect of two UV-absorbing greenhouse-covering films on growth and yield of an eggplant soilless crop. *Sci Hort* 110, 30-37.
- Klee, H.J., **2010**. Improving the flavor of fresh fruits: genomics, biochemistry, and biotechnology. *New Phytol* 187, 44-56.
- Kolb, C.A., Kopecky, J., Riederer, M., Pfundel, E.E., **2003**. UV screening by phenolics in berries of grapevine (*Vitis vinifera*). *Funct Plant Biol* 30, 1177-1186.
- Kotíková, Z., Lachman, J., Hejtmánková, A., Hejtmánková, K., **2011**. Determination of antioxidant activity and antioxidant content in tomato varieties and evaluation of mutual interactions between antioxidants. *LWT-Food Sci Technol* 44, 1703-1710.
- Krauss S., Schnitzler, W. H., Grassmann, J., Voitke, M., **2006**. The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *J Agric Food Chem* 54, 441-448.
- Krizek, D.T., **2004**. Influence of PAR and UV-A in determining plant sensitivity and photomorphogenic responses to UV-B radiation. *Photochem Photobiol* 81, 1026-1037.
- Krizek, D.T., Britz, S.J., Mirecki, R.M., **1998**. Inhibitory effects of ambient levels of solar UV-A and UV-B radiation on growth of cv. New Red Fire lettuce. *Physiol Plantarum* 103, 1-7.

- Krizek, D.T., Clark, H.D., Mirecki, R.M., **2005**. Spectral properties of selected UV-blocking and UV-transmitting covering materials with application for production of high-value crops in high tunnels. *Photochem Photobiol* 81, 1047–1051.
- Krizek, D.T., Mirecki, R.M., **2004**. Evidence for phytotoxic effects of cellulose acetate in UV exclusion studies. *Environ Exp Bot* 51, 33–43.
- Krumbein, A., Schwarz, D., Kläring, H.P., **2006**. Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in a greenhouse. *J Appl Bot Food Qual* 80, 160-164.
- Krumbein, A., Schwarz, D., Kläring, H.P., **2006**. Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) grown in a greenhouse. *J Appl Bot Angew Bot* 80, 160-164.
- Kumar, A., Ellis, B.E., **2001**. The phenylalanine ammonia-lyase gene family in raspberry: structure, expression, and evolution. *Plant Physiol* 127,230–239
- Kuskoski, E.M., Auero, A.G., Troncoso, A.M., Mancini-Filho, J., Fett, R. **2005**. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Ciênc Tecnol Aliment* 25, 726-732.
- Lakshminarayana, R., Sathish, U.V., Dharmesh, S.M., Baskaran, V.,**2010**. Antioxidant and cytotoxic effect of oxidized lutein in human cervical carcinoma cells (HeLa). *Food Chem Toxicol* 48, 1811-1816.
- Lamúa, M., **2000**. Aplicación del Frío a los Alimentos. Mundi-Prensa, Madrid, España.
- Lapornik, B., Prosek, M., Golc, W.A., **2005**. Comparison of extracts prepared from plant by-products using different solvents and extraction time. *J Food Eng*, 71, 214-222.
- Larsen, H.R., **1997**. Vitamin C: your ultimate health insurance. *Intl J Alt Complementary Med* 15, 22-24.
- Lavelli, V., Peri, C, Rizzola, A., **2000**. Antioxidant activity of tomato products as studied by model reactions using xanthine oxidase, myeloperoxidase and copper-induced lipid peroxidation. *J Agric Food Chem* 48, 1442-1448.
- Lee, K.S., Kader, A.A., **2000**. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharvest Biol Technol* 20, 207-220.

- Lester, G.E., **2006**. Environmental regulation of human health nutrients (ascorbic acid, carotene, and folic acid) in fruit and vegetables. *Hort Science* 41, 59-64.
- Levander, O.A., **1990**. Fruit and vegetable contributions to dietary mineral intake in human health and disease. *Hort Sci* 25, 1486-1488.
- Li, H., Deng, Z., Wu, T., Liu, R., Loewen, S., Tsao, R., **2012**. Microwave-assisted extraction of phenolics with maximal antioxidant activities in tomatoes. *Food Chem* 130, 928-936.
- Liu, Q., Cai, W., Shao, X., **2008**. Determination of seven polyphenols in water by high performance liquid chromatography combined with preconcentration. *Talanta*, 77, 679-683.
- Llahy, R., Hdider, C., Lenucci, M.S., Tlili, I., Dalessandro, G., **2011**. Antioxidant activity and bioactive compound changes during fruit ripening og high-lycopene tomato cultivars. *J Food Comp Anal* 24, 588-595.
- Loiudice, R., Impembo, M., Laratta, B., **1995**. Composition of San Manzano tomato varieties. *Food Chem* 53, 81-89.
- Londoño-Londoño, J., **2012**. Antioxidantes: importancia biológica y métodos para medir su actividad. Corporación Universitaria Lasallista. Capítulo 3, Colombia.
- López, C., **2003**. Radiación solar y plásticos agrícolas. *Plasticulture* 122,12-31.
- López, J., García-Alonso, Y., González, A., Espi, E., Salmeron, A., Fontecha, A., Real, A.I., **2007c**. Aplicación de materiales de cubierta antitérmicos en invernadero como mejoradores de la respuesta agronómica de cultivos de pimiento en la Región de Murcia. XI Congreso SECH. Actas de Horticultura 48. Albacete, 868-871.
- López, J., González, A., Fontecha, A., Salmerón, A., Fernández, J.A., Bañón, S., **2005a**. Variaciones microclimáticas por el uso de plásticos fotoselectivos y afección sobre el nivel de vectores de virosis del tomate. *Agrícola Vergel* 281, 248-254.

- López, J., González, A., **2006**. The use of Photoperiodic Lighting in Floriculture in Mediterranean Conditions: *Gypsophila paniculata*. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues (1ª Edición). I, 276-281.
- López, J., González, A., Bañón, S., Franco, J.A., Contreras, F., **2005b**. Materiales de acolchado biodegradables como alternativa al polietileno lineal de baja densidad. *Actas Portuguesas de Horticultura* 7, 346-351.
- López, J., González, A., Conesa, A., Gálvez, A., Manera, F.J., Porras, I., **2008b**. Colorimetric characterization of carnation variety Sprint and withering point of variety Carnelia. *Opt Pura Aplic* 41, 267-272.
- López, J., González, A., Contreras, F., **2006**. The use of photoperiodic Lighting in Floriculture in Mediterranean Conditions: Aster. Floriculture, Ornamental and Plant Biotechnology: Advances and Topical Issues (1ª Edición). IV, 678-682.
- López, J., González, A., Fernández, J.A., Bañón, S., **2007b**. Behaviour of biodegradable films for mulching in melon cultivation. *Acta Hort* 747, 125-130.
- López, J., González, A., Fernández, J.A., Franco, J.A., Bañón, S., **2005c**. Effect of Day length and corm Storage Temperature on flowering Gladiolus. *Acta Hort* 711, 241-246.
- López, J., González, A., García-Alonso, Y., Espí, E., Salmerón, A., Fontecha, A., Real, A.I., **2008a**. Use of Cool Plastic Films for Greenhouse covering in Southern Spain. *Acta Hort* 801, 181-186.
- López, J., González, A., Guerrero, L., Hernández, M.A., López, M.F., **2005d**. Problemática del cultivo del tomate en la Región de Murcia. *Agrícola Vergel* 286, 494-498.
- López, J., González, A., Hernández, M.A., Ros, C., Guerrero, M.M., Martínez, M.A., **2007 a**. Influencia del injerto del pimiento en invernadero. XXXVI Seminario de Técnicos y Especialistas en Horticultura 359-376.
- López, J., González, A., Pintado, C.M., **2003**. Uso de materiais biodegradáveis na cultura da melao. *Frutas, Legumes e Flores* 72, 110-113.
- López, J., Rodríguez, C.M., Gálvez, A., Martínez, E., González, A., **2009**. Influencia de la reducción solar en la calidad del fruto en un cultivo de pimiento en invernadero. *Actas de Horticultura* 54, 532-537.

- López, J.C., Pérez-Parra, J., Morales, M.A., **2006**. Plásticos para la agricultura. Manual de aplicaciones y usos. Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Comité español de plásticos en agricultura (CEPLA), Almería.
- López-Andreu, F. J., Lamela, A., Esteban, R.M., Collado, J.G., **1986**. Evolution of quality parameters in the maturation stage of tomato fruit. *Acta Horti*, 191 387-394.
- López-Marín, J., Gálvez, A., Espinosa, M.F., González, A., **2009 b**. Respuesta de un cultivo de pimiento en invernadero a la utilización de diversos sistemas de sombreo. VI Congreso de Ciencias Hortícolas. Actas de Horticultura 54. Logroño, 233-234.
- López-Marín, J., Gálvez, A., Galindo, A., González, A. **2009 a**. Materiales plásticos fotoselectivos empleados en la cubierta. *Agricultura* 923, 806-808.
- López-Marín, J., Gálvez, A., González, A., **2011**. Effect of shade on quality of greenhouse Peppers. *Acta Hort* 893, 895-900.
- López-Marín, J., González, A., Manera, F.J., Conesa, A., Martínez-Nicolás, J., Porras, I., **2010b**. Colour development at different phenological stages of flower varieties of pot carnation. *Opt Pura Aplic* 43, 229-234.
- López-Marín, J., González, A., Porras, I., Conesa, A., Manera, F.J., Martínez-Nicolás, J., Rodríguez, C.M., **2010a**. Estudio de la atracción accidental de fauna beneficiosa en cultivo de pimiento bajo invernadero en el Campo de Cartagena. Actas del IX Congreso Nacional del Color, 359-362.
- Luthria, D., Mukhopadhyay, S., Krizek, D.T., **2006**. Content of total phenolics acids in tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) fruits as influenced by cultivar and solar UV radiation. *J Food Comp Anal* 19, 771-777.
- MacLeod, R.F., Kader A.A Morris L.L, **1976**. Damage to fresh tomatoes can be reduced. *Calif Agr* 30, 2-11.
- Magán, J. J., Gallardo, M., Thompson, R. B., Lorenzo, P., **2008**. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agric Water Manage*, 95,1041–1055.

- Magán, J.J., Gallardo M., Thompson, R.B., Lorenzo, P., **2008**. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agric Water Manage* 95, 1041–1055.
- MAGRAMA, 2011. *Evolución de la superficie de tomate cultivada en España desde 2007 a 2011*. Sectores agrícolas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasagrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>
- MAGRAMA, 2013. *Distribución del cultivo de tomate en España conforme a su modalidad de cultivo en 2013*. Sectores agrícolas. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. Recuperado de: <http://www.magrama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasagrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>
- Marco, I., **2001**. Los plásticos como cubiertas de invernaderos y túneles. *Plasticulture* 119, 14-25.
- Maroto, J.V., **2000**. Elementos de Horticultura General. Ediciones Mundi-Prensa.
- Martínez-Valverde, I., Periago, M.J., Provan, G., Chesson, A., **2002**. Phenolics compounds, lycopene and antioxidant activity in comercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *J Sci Food Agri* 82, 323-330.
- Matallana, A., Montero, J.L., **1995**. Invernaderos. Diseño, Construcción y Ambientación. Ed. Mundi-Prensa, S.A , 209.
- McCollum, J.P., **1954**. Effects of light on the formation of carotenoids in tomato fruits. *Food Res* 19, 182-189.
- Meléndez-Martínez, A. J., Vicario, I.M., Heredia, F.J., **2004**. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *ALAN* vol.54, 2, 209-215. ISSN 0004-0622.
- Ménard, C., Dorais, M., Hovi, T., Gosselin, A., **2006**. Developmental and physiological responses of tomato and cucumber to additional blue light. *Acta Hort* 711, 291-294.
- Mertz, W., **1982**. Trace minerals and atherosclerosis. *Federation Proceedings* 41, 2807-2812.

- Miller, N.J., Sampson, J., Candeias, L.P., Bramley, P.M., Rice-Evans, C.A., **1996**. Antioxidant activities of carotenes and xanthophylls. *FEBS Letters* 384, 240-242.
- Möller, M., Cohen, S., Pirkner, M., Israeli, Y., Tanny, J., **2010**. Transmission of short-wave radiation by agricultural screens. *Biosystem Engineering* 107, 317-327.
- Molyneux, P., **2004**. The use of the stable free radical diphenylpicrylhydrazyl (DPPH) for estimating antioxidant activity. *J Sci Technol* 26, 211-219
- Monteith, J.L., Unsworth, M.H., **1990**. Principles of environmental physics. Edivard Arnold (Ed.) Londres, U.K.
- Montero, T.M., Mollá, E.M., Esteban, R.M., López Andréu, F.J., **1996**. Quality attributes of strawberry during ripening. *Sci Horti* 65, 239-250
- Morillas- Ruiz, J.M., 2010. Los antioxidantes en la prevención del estrés oxidativo en la actividad física. Ed. Plante, S.A. España.
- Muir, S.R., Collins, G.J., Robins, S., Hughes, S., Bovy, A., De Vos, C.H.R., Van Tunen, A.J., Verhoeyen, M.E., **2001**. Overexpression of petunia chalcone isomerasa in tomato results in fruit containing increased levels of flavonols. *Nat Biotechnol* 19, 470-474.
- Naczki, M., Shahidi, F., **2006**. Phenolics in cereals, fruits and vegetables: Occurrence, extraction and analysis. *J Pharm Biomed Anal* 41, 1523-1542.
- Nagata, M., Yamashita, I., **1992**. Simple method for simultaneous determination of chlorophyll and carotenoids in tomato fruit. *J Jpn Soc Food Sci Technol* 39, 925-928.
- Navas, P., Gómez-Díaz, C., **1995**. Ascorbate free radical and its role in growth control. *Protoplasma* 184, 8-13.
- Ndhlala, A.R., Moyo, M., Van Staden, J., **2010**. Natural Antioxidants: Fascinating or Mythical Biomolecules?. *Molecules* 15, 1-27.
- Nelson, P.V., **1985**. Greenhouse operation and management. Prentice Hall, New Jersey, EEUU.
- Nguyen, M.L., Schwartz, S.L., **1999**. Lycopene: Chemical and biological properties. *Food Technol* 53, 38-45.

- Nicoli, M. C., Anese, M., Parpinel, M., **1999**. Influence of processing on the antioxidant properties of fruits and vegetables. *Trends Food Sci Tech* 10, 94–100.
- Niggeweg, R., Michael, A.J., Martin, C., **2004**. Engineering plants with increased levels of the antioxidant chlorogenic acid. *Nature Biotech* 22, 746–754.
- Nuez, F., **1995a**. Anatomía y Fisiología de la planta. En: F. Nuez (Ed.). El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, 44-91.
- Nuez, F., **1995b**. Desarrollo de nuevos cultivares. En F. Nuez (Ed.). El cultivo del tomate. Ed. Mundi-Prensa, Madrid, España, 625-669.
- Ochoa Rego, J., Valdés Illan, R., González Benavente, A., López Marín, J., Conesa Gallego, E., Franco Leemhuis, J.A., Fernández Hernández, J.A., Bañón Arias, S., **2009**. Effects of type of plug and the growing media on evapotranspiration and growth of potted carnations. *Acta Hort* 843, 367-371.
- ODEPA, 2012. *Volumen exportado de tomate fresco*. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias. Recuperado de: <http://www.odepa.gob.cl>.
- Opiyo, A.M., Ying, T.J., **2005**. The effect of 1-methylchloropropene treatment on the shelf life and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var. cerasiforme) fruit. *Int J Food Sci Technol* 40, 665-673.
- Ordidge, M., Garcia-Macias, P., Battey, N.H., Gordon, M.H., Hadley, P., John, P., Lovegrove, J.A., Vysini, E., Wagstaffe, A., **2010**. Phenolic contents of lettuce, strawberry, raspberry, and blueberry crops cultivated under plastic films varying in ultraviolet transparency. *Food Chem* 119, 1224–1227.
- Ordoñez-Santos, L.E., Vázquez-Odériz, M.L., Romero-Rodríguez, M.A., **2011**. Micronutrient contents in organic and conventional tomatoes (*Solanum Lycopersicum* L.). *Food Sci Technol* 46, 1561-1568.
- Osborne, D.R., Voogt, P., **1978**. The Analysis of Nutrients in Foods. Academic Press, New York, ISBN-13: 9780125291507, 251.
- Oshima, S., Ojima, F., Sakamoto, H., Ishigura, Y., Terao, J., **1996**. Supplementation with carotenoids inhibits singlet oxygen-mediated oxidation of human plasma low-density lipoprotein. *J Agric Food Chem* 44, 2306-2309.

- Owens, T.G. **1996**. Processing of excitation energy by antenna pigments. En: N. Baker (Ed.). *Photosynthesis and the Environment*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Holanda, 1-23.
- Pablos, J.L., Abrusci, C., Marín, I., López-Marín, J., Catalina, F., Espí, E., Corrales, T., **2010**. Photodegradation of polyethylenes comparative effect of Fe and Ca stearates as pro-oxidant additives. *Polymer Degradation and Stability* 95, 2057-2064.
- Palace, V.P., Khaper, N., Qin, Q., Singal, P.K, **1999**. Antioxidant potentials of vitamin A and carotenoids and their relevance to heart disease. *Free Radic Biol Med* 26, 746-761.
- Papadakis, G., Briassoulis, D., Mugnozza, G.S., Vox, G., Feuilloley, P., y Stoffers, J.A., **2000**. Radiometric and thermal properties of, and testing methods for, greenhouse covering materials. *J Agr Eng Res* 77, 7-38.
- Pardo, A., San Martín, R., **2010**. Análisis de datos en Ciencias Sociales y de la Salud II. Madrid: Ed. Síntesis.
- Parks, B.M., Folta, K.M., Spalding, E.P., **2001**. Photocontrol of stem growth. *Cur Opin Plant Biol* 4, 436-440.
- Paul, N.D., Gwynn-Jones, D., **2003**. Ecological roles of solar UV radiation: towards an integrated approach. *Trends Ecol Evol* 18, 48-55.
- Paul, N.D., Jacobson, R.J., Taylor, A., Wargent, J.J., Moore, J.P., **2005**. The use of wavelength selective plastic cladding materials in horticulture: understanding of crop and fungal responses through the assessment of biological spectral weighting functions. *Photochem Photobiol* 81, 1052-1060.
- Pearson, S., Wheldon, A.E., Hadley, P., **1995**. Radiation transmission and fluorescence of nine greenhouse cladding materials. *J Agr Eng Res* 62, 61-70.
- Peet, M.M., **1996**. Tomato. En: Peer MM. *Sustainable Practices for Vegetable Production in the South*. Focus Publishing, R. Pullins Company, Newburyport, EEUU, 149-157.

- Peil, R.M., Galvez, J.L., **2005**. Reparto de materia seca como factor determinante de la producción de las hortalizas de fruto cultivadas en invernadero. *R bras Agrociência* 1, 05-11.
- Peltonen, J., Virtanen, A., Haggren, E., **1995**. Using a chlorophyll meter to optimize nitrogen fertilizer application for intensively-managed small-grain cereals. *J Agron Crop Sci* 174, 309-318.
- Peralta, I.E., Spooner, D.M., **2007**. History, origin and early cultivation of tomato (*Solanaceae*). En: Genetic Improvement of Solanaceous Crops, Volumen 2: Tomato. Razdan, M.K., Mattoo, A.K., (Eds.), Science Publishers, Enfield, EEUU.
- Pérez, J.L., López, J.C., Fernández, M.D., **2002**. "La agricultura del sureste: situación actual y tendencias de las estructuras de producción de la agricultura almeriense. La agricultura Mediterránea en el siglo XXI, García Álvarez-Coque, J.M.c. ed Almería".
- Pérez, M., Jiménez, S., Barbero, F.J., Bosch, J.L., Plaza, B.M. y Lao, M.T., **2006**. Respuesta productiva de *Codiaeum variegatum* a distintos tipos de mallas. Actas de las III Jornadas Ibéricas de Horticultura ornamental. Universidad de Almería. Ed. Almería, 229-234.
- Pérez-Parra, J., Baeza, E.J., Perez, C., Lopez, J.C., Montero, J.I., **2003**. Influencia de las ventanas laterales sobre la ventilación natural en invernadero tipo parral. Actas X Congreso Nacional de Ciencias Hortícolas. Pontevedra, 419-421.
- Periago, M.J., García-Alonso, F.J., Jacob, K., Olivares, A.B., Bernal, M.J., Iniesta, M.D., Martínez, C., Ros, G., **2009**. Bioactive compounds, folates and antioxidant properties of tomato (*Lycopersicon esculentum*) during vine ripening. *Int J Food Sci Nutr* 12, 1-15.
- Petro-Turza, M., **1987**. Flavor of tomato and tomato products. *Food Rev Int* 2, 309-351.
- Pinto, M., Lizana, C., Pastenes, C., Riquelme, A., Berti, M., **2000**. Efecto de la radiación ultravioleta-B sobre el crecimiento y la fotosíntesis de siete variedades de trigo (*Triticum aestivum* L.). *Chil Hist Nat* 73,55-66.
- Poovaliah, B.W., Glenn, G.M., Reddy, A.S.N., **1988**. *Hort Rev* 10, 107-152.
- Popa, V.I., Agache, C., Beleca, C., Popa, M., **2002**. Polyphenols from spruce bark as plant growth regulator. *Crop Res* 24, 398-406.

- Popa, V.I., Dumitru, M., Volf, I., Anghel, N., **2008**. Lignin and polyphenolics as allelochemicals. *Ind Crops and Prod* 27, 144-149.
- Prior, R. L., Hoang, H., Gu, L., Wu, X., Bacchiocca, M., Howard, L., Hampsch-Woodill, M., Huang, D., Ou, B. Jacob, R., **2003**. Assays for Hydrophilic and Lipophilic Antioxidant Capacity (oxygen radical absorbance capacity (ORAC<sub>FL</sub>) of Plasma and Other Biological and Food Samples. *J Agric Food Chem* 51, 3273-3279.
- Raffo, A., La Malfa, G., Fogliano, V., Maiani, G., Quaglia, G., **2006**. Seasonal variations in antioxidant components of cherry tomatoes (*Lycopersicon esculentum* cv. Naomi F1). *J Food Comp Anal* 19, 11-19.
- Rao, A., Agarwal, S., **1998**. Bioavailability and in vitro antioxidant properties of lycopene from tomato products and their role in the prevention of cancer. *Nutr Cancer* 31, 2306-2309.
- Raveh, E., Cohen, S., Raz, T., Yakir, D., Grava, A., Goldschmidt, E.E., **2003**. Increased growth of Young citrus trees under reduced radiation load in a semi-arid climate. *J Exp Bot* 54, 365-373.
- Reboloso-Fuentes, M.M., Acién-Fernández, G.G., Sánchez-Pérez, J.A., Guill-Guerrero, J.L., **2000**. Biomass nutrient profiles of the microalga *Porphyridium cruentum*. *Food Chemistry* 70, 345-353.
- Reche, J., **2009**. Cultivo de tomate en invernadero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, 27, 33-34, 99.
- Reche, J., **2010**. Cultivo de tomate en invernadero. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid 193, 35-44; 87-99.
- Reeves D.W., Mask, P.L., Wood, C.W., Delaney, D.P., **1993**. Determination of wheat nitrogen status with a hand held chlorophyll meter: influence of management practices. *J Plant Nutr* 16, 781-796.
- Riga, P., Anza, M., Garbisu, C., **2008**. Tomato quality is more dependent on temperature than on photosynthetically active radiation. *J Sci Food Agric* 88, 158-166.

- Rivero, R.M., Ruiz, J.M., Garcia, P.C., Lopez-Lefebre, L.R., Sánchez, E., Romero, L., **2001**. Resistance to cold and heat stress: Accumulation of phenolic compounds in tomato and watermelon plants. *Plant Sci* 160, 315-321.
- Robbins, R. J., **2003**. Phenolics acids in foods: An overview of analytical methodology. *J Agric Food Chem* 51, 2866-2887.
- Rodríguez-Amaya, D.B., **2001**. A guide to carotenoid analysis in food. Washington DC: ILSI Press.
- Rosales, M. A., **2008**. Producción y Calidad Nutricional en frutos de tomate Cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: Respuestas Metabólicas y Fisiológicas (Tesis Doctoral). Universidad de Granada.
- Rosales, M.A., Cervilla, L.M., Sánchez-Rodríguez, E., Rubio-Wilhelmi, M.M., Blasco, B., Ríos, J.J., Soriano, T., Castilla, N., Romero, L., Ruiz, J.M., **2010**. The effect of environmental conditions on nutritional quality of cherry tomato fruits: evaluation of two experimental Mediterranean greenhouses. *J Sci Food Agric* 91, 152-162.
- Rosales, M.A., Ruiz, J.M., Hernández, J., Soriano, T., Castilla, N., Romero, L., **2006**. Antioxidant content and ascorbate metabolism in cherry tomato exocarp in relation to temperatura and solar radiation. *J Sci Agric* 86, 1545-1551.
- Roselló, R., Adalid, A.M., Cebolla-Cornejo, J., Nuez, F., **2011**. Evaluation of the genotype, environment and their interaction on carotenoid and ascorbic acid accumulation in tomato germplasm. *J Sci Food Agric* 91, 1014-1021.
- Rozema, J., Staaij, J.v.d., Bjorn, L.O., Caldwell, M., **1997**. UV-B as an environmental factor in plant life: stress and regulation. *Trends Ecol Evol* 12, 22-28.
- Rull, F., Marin, A., **2007**. Influencia del metam-sodio en la degradación de filmes agrícolas usados como cubiertas de invernaderos. *Plasticulture* 126, 6-19.
- Salles, C., Nicklaus, S., Septier, C., **2003**. Determination and gustatory properties of taste-active compounds in response to highest nitrogen dosages in green bean plants (*Phaseolus vulgaris* L. cv. Strike). *J Plant Physiol* 158, 593-598.
- Salmerón, A., Espi, E., Fontecha, A., García-Alonso, Y., **2001**. Filmes agrícolas avanzados: Un campo abierto. Actas I Simposio Internacional de Plasticultura. Valencia.

- Salmerón, A., García-Alonso, Y., Espí, E., Fontecha, A., Real, A.I., González, A., López, J., **2006**. El efecto de las cubiertas plásticas que bloquean la radiación infrarroja cercana sobre los cultivos de invernadero. XVII Congreso Internacional del CIPA.
- Sams C. **1999**. Preharvest factors affecting postharvest texture. *Post Biol Technol* 15,249-254.
- Scalbert, A., Williamson, G., **2000**. Dietary intake and bioavailability of polyphenols. *J Nutr* 130,2073-2085.
- Schleiser, K., Harwat, M., Böhm, V., Bitsch, R., **2003**. Assessment of antioxidant activity by using different in vitro methods. *Free Radic Res* 36, 177-178.
- Shi, J., Le Marguer, M., **2000**. Lycopene in tomatoes: chemical and physical properties affected by food processing. *Crit Rev Biotechnol* 20, 293-334.
- Shi, J., Qu, Q., Yakuda, Y., Xue, S.J., Jiang, Y., Koide, S., Shim, Y.Y., **2007**. Investigation of the antioxidant and synergistic activity of lycopene and other natural antioxidants using LAME and AMVN model systems. *J Food Comp Anal* 20,603-608.
- Shiozaki, N., Hattori, I., Gojo, R., Tezuka, T., **1999**. Activation of growth and nodulation in a symbiotic system between pea plants and leguminous bacteria by near- UV radiation. *J Photochem Photobiol B* 50, 33-37.
- Sies, H., Sahi, W., **1995**. Vitamins E and C, beta-carotene and other carotenoids as antioxidants. *Am J Clin Nutr* 62, 1315-1321.
- Sies, H., Stahl, W., **1998**. Lycopene antioxidant and biological effects and its bioavailability in the human. *Proc Soc Exp Biol Med* 218, 121-124.
- Singleton, V.L., Rossi, J.A., **1965**. Colorimetric of total phenolic with phosphomolybdic phosphotungstic acid reagents. *Am J Evol Vitiant* 16, 144-158.
- Sinha, R.P., Häder, D.P., **2002**. UV-induced DNA damage and repair: a review. *Photochem Photobiol Sci* 1, 225-236.

- Sinha, R.P., Klisch, M., Gröniger, A., Häder, D.P., 1998. Ultraviolet absorbing/ screening substances in cyanobacteria, phytoplankton and macroalgae. *J Photochem Photobiol* 47, 83–94.
- Slimestad, R., Verheulb, M., 2009. Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars. *J Sci Food Agric* 89,1255–1270.
- Smirnoff, N., 1996. The function and metabolism of ascorbic acid in plants. *Ann Bot* 78, 661-669.
- Smirnoff, N., 2000. Ascorbate biosynthesis and function in photoprotection. *Philos Trans R Soc Lond B* 355, 1455-1464.
- Smith, A.F., 1994. The tomato in America: *early history, culture and cookery*. University of South Carolina Press, Columbia, S.C, EEUU.
- Spalding, E.P., Cosgrove, D.J., 1989. Large plasma-membrane depolarization precedes rapid blue-light-induced growth inhibition in cucumber. *Planta* 178, 407-410.
- SQM, 2006. SQM Crop Kit Tomato. Recuperado de: [http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop\\_Kit\\_Tomato\\_L-EN.pdf](http://www.sqm.com/Portals/0/pdf/cropKits/SQM-Crop_Kit_Tomato_L-EN.pdf).
- Stanghellini, C., Dai, J., Kempkes, F., 2011. Effect of near-infrared-radiation reflective screen materials on ventilation requirement, crop transpiration and water use efficiency of a greenhouse rose crop. *Biosystem Engineering* 110, 261-271.
- Steinmüller, D., 1986. On the effect of ultraviolet radiation (UV-B) on leaf surface structure and on the mode of action of cuticular lipid biosynthesis in some crop plants. *Karlsru Beitr Entw Ökophysiol* 6, 1-174.
- Stevens, M.A., Kader, A.A., Albrigh-Holton, M., Algazy, M., 1977. Genotypic variation for flavor and composition in gresh market tomatoes. *J Am Soc Hortic Sci* 120, 680-689.
- Strack, D., 1997. Phenolic metabolism. *Plant Biochemistry*; Dey, P. M., Harborne, J. B., (Eds.), Academic Press: London, UK.

- Strid, A., Choww, S., Anderson, J.M., **1990**. Effects of supplementary ultraviolet-B radiation on photosynthesis in *pisium sativum*. *Biophys Biochim Acta* 1020, 260-268.
- Strid, A., Porra, R.J., **1992**. Alteration in pigment content in leaves of *Pisum sativum* after exposure to supplementary UV-B. *Plant Cell Physiol* 33, 1015-1023.
- Suárez, D.L., Grieve, C.M., **1988**. Predicting cation ratios in corn from saline solution composition. *J Exp Bot* 39, 605-612.
- Suk Hyun, C., Kim D.S., Kozukue, N., Kim, H.J., Nishitani, Y., Mizuno, M., Levin, C.E., Friedman, M., **2014**. Protein, free amino acid, phenolic, b-carotene, and lycopene content, and antioxidative and cancer cell inhibitory effects of 12 greenhouse-grown commercial cherry tomato varieties. *J Food Comp Anal* 34,115–127.
- Sullivan, J.H., **2005**. Possible impacts of changes in UV-B radiation on North American trees and forests. *Environ Pollut* 137, 380–389.
- Sullivan, J.H., Teramura, A.H., **1990**. Field study of the interaction between solar Ultraviolet-B radiation and drought on photosynthesis and growth in soybean. *Plant Physiol* 92, 141-146.
- Takahama, U., Oniki, T., **1994**. Effects of ascorbate on the oxidation of derivatives of hydroxycinnamic acid and the mechanism of oxidation of sinapic acid by cell wall-bound peroxidases. *Plant Cell Physiol* 35, 593-600.
- Teramura, A.H., **1983**. Effects of ultraviolet-B radiation on the growth and yield of crop plants. *Physiol Plant* 58, 415- 421.
- Teramura, A.H., Sullivan, J.H., **1994**. Effects of UV-B radiation on photosynthesis and growth of terrestrial plants. *Photosynth Res* 39, 463-473.
- Teramura, A.H., Sullivan, J.H., Lydon, J., **1990**. Effects of UV-B radiation on soybean yield and seed quality: A six-year field study, *Physiol Plant* 80, 5-11.
- Teramura, A.H., Ziska, L.H., Sztein, A.E., **1991**. Changes in growth and photosynthetic capacity of rice with increased UV-B radiation. *Physiol Plant* 83, 373-380.

- Tevini, M., Brawn, J., Fieser, G., **1991**. The protective function of the epidermal layer of rye seedlings against UV-B radiation. *Photochem Photobiol* 53, 329-333.
- Tevini, M., Teramura, A.H., **1989**. UV-B effects on terrestrial plants. *Photochem Photobiol* 50, 479-487.
- Thomas, R.L., Jen, J.J., **1975**. Phytochrome-mediated carotenoids biosynthesis in ripening tomatoes. *Plant Physiol* 56, 452-453.
- Tinyane, P.P., Sivakumar, D., Soundy, P., **2013**. Influence of photo-selective netting on fruit quality parameters and bioactive compounds in selected tomato cultivars. *Sci Horticult* 161, 340-349.
- Tomás-Barberán, F.A., Espin, J.C., **2001**. Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables. *J Sci Food Agric* 81, 853-876.
- Toor, R.K, Savage, G.P., **2005**. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res Int* 38, 487-494.
- Torres, C.A., Andrew, P.K., Davies, N.M., **2006**. Physiological and biochemical responses of fruit exocarp of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) mutants to natural photooxidative conditions. *J Exp Bot* 57, 1933-1947.
- Tsao, R., Yanf, R., **2003**. Optimization of a new mobile phase to know the complex and real polyphenolic composition: Towards a total phenolic index using high-performance liquid chromatography. *J Chromatogr A* 1018, 29-40.
- Tsormpatsidis, E., Henbest, R.G.C., Davis, F.J., Battey, N.H., Hadley, P., Wagstaffe, A., **2008**. UV irradiance as a major influence on growth, development and secondary products of commercial importance in Lollo Rosso lettuce 'Revolution' grown under polyethylene films. *Environ Exp Bot* 63, 232-239.
- Tsormpatsidis, E., Ordige, M., Henbest, R.G.C., Wagstaffe, A., Battey, N.H., Hadley, P., **2011**. Harvesting fruit of equivalent chronological age and fruit position shows individual effects of UV radiation on aspects of the strawberry ripening process. *Environ Exp Bot* 74, 178-185.
- Turcsanyi, E., Vass, I., **2000**. Inhibition of photosynthetic electron transport by UV-A radiation targets the photosystem II complex. *Photochem Photobiol* 72, 513-520.

- Ubi, B.E., **2004**. External stimulation of anthocyanin biosynthesis in apple fruit. *Food Agric Environ* 2, 65-70.
- USDA. **1991**. U.S. Standards for Grades of Fresh Tomatoes. USDA, Agr. Mktg. Serv., Washington, D.C, EE.UU.
- Valle Colchao, M.E., Rodríguez Paúcar, G., **2011**. Evaluación de vitamina C por HPLC en el desarrollo postcosecha del tomate (*Solanum lycopersicum* v. *Dominator*). ECIPerú, vol.8,1,48-53. ISSN 1813-0194.
- Venter, F., **1977**. Solar radiation and vitamin C content of tomato fruits. *Acta Horti* 58, 121-127.
- Vergani, R.J., **2002**. *Lycopersicum Esculentum: una breve historia de tomate*. Ediciones de Horticultura, S.L 158,1-5.
- Verloot, I., Verchaeren, P., **2000**. "New interference film for climate control". *Acta Horticulturae* 514, 139-146.
- Von Elsner, B., Briassoulis, P., Waaijenberg, D., Mistriotis, A., Zabeltitz, C.V., Gratano, J., Russo, G., Suay- Cortes, R., **2000**. "Review of structural and functional characteristics of greenhouses in European Union countries: Part I: Design requirements". *J Agr Eng Res* 75, 111-126.
- Walker, A.J., Ho, L.C., **1977**. Carbon translocation in tomato—effects of fruit temperature on carbon metabolism and rate of translocation. *Ann Bot* 41, 825–832.
- Wang, H., Cao, G. H., Prior, R. L., **1996**. Total antioxidant capacity of fruits. *J Agr Food Chem* 44, 701–705.
- Wang, S. Y., Zheng, W., **2001**. Effect of plant growth temperature on antioxidant capacity in strawberry. *J Agric Food Chem* 49, 4977-4982.
- Wargent, J.J., Moore, J.P., Roland Ennos, A., Paul, N.D., **2009**. Ultraviolet radiation as a limiting factor in leaf expansion and development. *Photochem Photobiol* 85, 279–286.
- Welch, R.M., **2002**. The impact of mineral nutrients in food crops on global human health. *Plant Soil* 247, 83–90.

- Wilkins, R.T., Spoerke, J.M., Stamp, N.E., **1996**. Differential responses of growth and two soluble phenolics of tomato to resource availability. *Ecology* 77, 247–258.
- Wilkins, R.T., Spoerke, J.M., Stamp, N.E., **1996**. Differential responses of growth and two soluble phenolics of tomato to resource availability. *Ecology* 77, 247–258.
- Wilson, K.E., Wilson, M.I., Greenberg, B.M., **1998**. Identification of the flavonoid glycosides that accumulate in *Brassica napus* L. cv *Topas* specifically in response to ultraviolet B radiation. *Photochem Photobiol* 67, 547–553.
- Wilson, M.I., Greenberg, B.M., **1993**. Protection of the D1 Photosystem reaction center protein from degradation in ultraviolet radiation following adaptation of *Brassica napus* L. to growth in ultraviolet-B. *Photochem Photobiol* 57, 556–563.
- Winkel-Shirley B., **2002**. Biosynthesis of flavonoids and effects of stress. *Curr Opin Plant Biol* 5, 218–223.
- Winsor, G.W., **1979**. Some factors affecting the quality and composition of tomatoes. *Acta Horti* 93, 335–341.
- Winsor, G.W., Adams, P., **1976**. Changes in the composition and quality of tomato fruit throughout the season. *Annual Report Glasshouse Crops Res Inst* 1975, 134–142.
- Wittwer, S., Castilla, N., **1995**. Protected cultivation of horticultural crops, worldwide. *Horttechnology* 5, 6–23.
- Wold, A.B., Rosenfeld, A.J., Holte, K., Baugerod, H., Blomhoff, R., Haffner, K., **2004**. Colour of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as relates to total antioxidant capacity and chemical composition. *J Food Sci Technol* 39, 295–302.
- Wu, X., Beecher, GR., Holden, J.M., Haytowitz, D.B., Gebhardt, S.E., Prior, R.L., **2004**. Lipophilic and hydrophilic antioxidant capacities of common foods in the United States. *J Agric Food Chem* 52, 4026–4037.
- Xia, Q., Yin, J.J, Fu, P.P., Boudreau, M.D., **2007**. Photo-irradiation of Aloe vera by UVA-formation of free radicals, singlet oxygen, superoxide, and induction of lipid peroxidation. *Toxicol Lett* 168, 165–175.
- Yanishlieva-Maslarova, N.V., Heinonen, I.M., **2001**. Origen de los antioxidantes naturales: verduras, frutas, hierbas, especias, y tés. 119–247. En: POKORNY,

- J., Yanishlieva, N., Gordon, M. Antioxidantes de los alimentos. Aplicaciones prácticas. Ed. ACRIBIA.
- Yao, X., Liu, Q., 2007. Changes in photosynthesis and antioxidant defenses of *Picea asperata* seedlings to enhanced ultraviolet-B and to nitrogen supply. *Physiol Plant* 129, 364–374.
- Yarosh, D.B., Smiles, K.A., 2009. DNA repair and photoprotection. En: Lim HW, Draeos ZD (Eds.). Clinical guide to sunscreens and photoprotection. Inform Healthcare, New York, 169–197.
- Young, D.R., Smith, W.K., 1983. Effect of cloudcover on photosynthesis and transpiration in the subalpine understory species *Arnica latifolia*. *Ecology* 64, 681–687.
- Zafra-Stone, S., Yasmin, T., Bagchi, M., Chatterjee, A., Vinson, J.A., Bagchi, D., 2007. Berry anthocyanins as novel antioxidants in human health and disease prevention. *Mol Nutr Food Res* 51, 675–683.
- Zäh, M., 2007. ¿Necesitamos absorbedores de rayos ultravioleta en las películas de recubrimiento de invernaderos? *Plasticulture* 126, 76-89.
- Zapata, L.M., Gerard, L., Davies, C., Schvab, M.C., 2007. Estudio de los componentes antioxidantes y actividad antioxidante en tomates. *Cienc docencia tecnol* 35, 175-193.
- Ziska, L.H., Teramura, A.H., 1992. CO<sub>2</sub> enhancement of growth and photosynthesis in rice (*Oryza sativa*). *Plant Physiol* 99, 473-481.
- Ziska, L.H., Teramura, A.H., Sullivan, J.H., McCoy, A., 1993. Influence of ultraviolet-B (UV-B) radiation on photosynthetic and growth characteristics in field-grown cassava (*Manihot esculentum* Crantz). *Plant Cell Environ* 6, 73-79.