

ESTUDIO SOBRE EL CONTENIDO EN CAROTENOIDES Y COMPUESTOS FENÓLICOS DE TOMATES Y FLORES EN EL CONTEXTO DE LA ALIMENTACIÓN FUNCIONAL

El estudio de compuestos bioactivos en la actualidad ha tomado gran importancia y dentro de este grupo se encuentran los carotenoides y compuestos fenólicos, que se ha demostrado que confieren la calidad funcional a un alimento. Por otra parte, el agua es un bien escaso y el volumen disponible para el aprovechamiento agrícola es muy limitado en algunas regiones. Algunos estudios indican que el empleo de técnicas de riego deficitario controlado puede contribuir a incrementar ciertos compuestos bioactivos, mejorar algunos atributos sensoriales, no afectar a la productividad del cultivo y por último, son respetuosos con el medio ambiente debido a la optimización del uso del agua. Sin embargo, datos obtenidos en este estudio de tomate reafirman que la regulación de la biosíntesis de metabolitos secundarios, en concreto carotenoides y compuestos fenólicos es muy compleja y que los factores que afectan a su contenido son de muy distinta naturaleza, incluyendo factores geográficos, genéticos, ambientales y agronómicos, entre otros. A su vez para analizar beneficios sobre el ahorro de agua en un determinado ciclo de cultivo se debería tener en cuenta otro tipo de factores como el nivel de desarrollo del ramillete e índice de madurez, que son factores que en algunos casos provocan mayores cambios que el riego deficitario considerado como tal. Por otra parte algunas flores han mostrado ser una fuente importante de compuestos bioactivos pudiendo conferir beneficios en la alimentación.

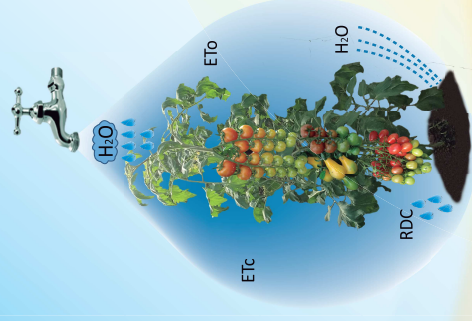


Elena del Rocío Coyago Cruz

La PhD. Coyago obtuvo su doctorado en el Departamento de Ciencias Agroforestales y el Departamento de Nutrición y Bromatología, Toxicología y Medicina Legal, en el Laboratorio de Color y Calidad de los alimentos (Área de Nutrición y Bromatología) de la Universidad de Sevilla, dirigida por los PhD. M Corell y AJ Meléndez Martínez, bajo el amparo de la beca para docentes universitarios del SENESCYT y el aval de la Universidad Politécnica Salesiana de Quito-Ecuador.

CAROTENOIDES Y COMPUESTOS FENÓLICOS EN TOMATE (RIEGO DEFICITARIO CONTROLADO) Y FLORES

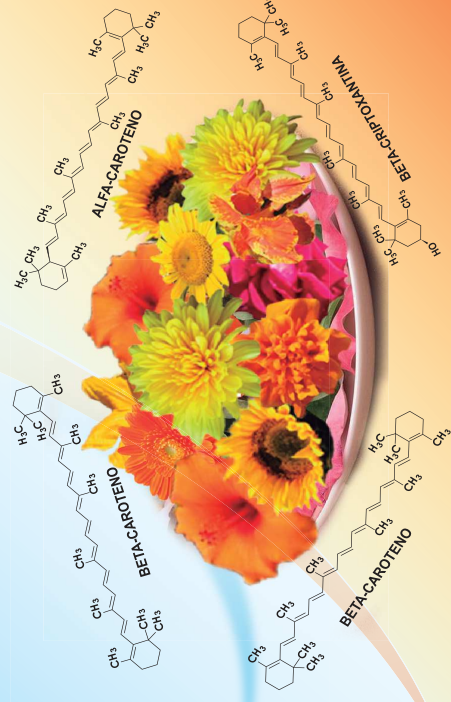
ESTUDIO SOBRE EL CONTENIDO EN CAROTENOIDES Y COMPUESTOS FENÓLICOS DE TOMATES Y FLORES EN EL CONTEXTO DE LA ALIMENTACIÓN FUNCIONAL



Elena Coyago-Cruz

Mireia Corell-González

Antonio Meléndez-Martínez



Universidad de Sevilla - 2017



Departamento de Ciencias Agroforestales
Universidad de Sevilla

Estudio sobre el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos de tomates y flores en el contexto de la alimentación funcional

Memoria presentada para aspirar al Título de Doctora por la Universidad de Sevilla en:
**INGENIERÍA AGRARIA, ALIMENTARIA, FORESTAL Y DEL DESARROLLO
RURAL SOSTENIBLE**

LINEA DE INVESTIGACIÓN: Tecnología Poscosecha e Industria Agroalimentaria

Directores:

Fdo. **Mireia Corell González**
Profesora ayudante Doctora
Departamento de Ciencias Agroforestales
Universidad de Sevilla

Fdo. **Antonio Meléndez Martínez**
Profesor Titular
Departamento de Nutrición y Bromatología,
Toxicología y Medicina Legal
Universidad de Sevilla

Estudiante:

Fdo. **Elena del Rocío Coyago Cruz**
Ing. Química y Msc. Ingeniería Industrial y Productividad

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, que con paciencia día a día me ayudó a escalar una más de las montañas del conocimiento, enseñándome que al final del día solo ellos estarán ahí para sosegar mi cansancio y alumbrar mis días grises.

“El tiempo es el mejor autor, siempre encuentra el final perfecto”

Charles Chaplín

AGRADECIMIENTOS

“En la tierra hace falta personas que trabajen más y critiquen menos, que construyan más y destruyan menos, que prometan menos y resuelvan más, que esperen recibir menos y dar más, que digan mejor ahora que mañana” Che

Me gustaría expresar mis más sinceros agradecimientos a las siguientes instituciones que han aportado económicamente de diferente forma para el desarrollo de estos estudios doctorales:

- Secretaría Nacional de Educación Superior, Ciencia, Tecnología e Innovación (SENESCYT) – Ecuador
- Universidad Politécnica Salesiana – Ecuador (Quito)
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (E.T.S.I.A.)- España (Sevilla). Departamento de Ciencias Agroforestales
- Facultad de Farmacia de la Universidad de Sevilla – España (Sevilla). Departamento de Nutrición y Bromatología, Toxicología y Medicina Legal
- Secretaría de Estado de Investigación, Desarrollo e Innovación (Ministerio de Economía y Competitividad, proyecto ref. AGL2012-37610, cofinanciado por FEDER
- Programa Iberoamericano de Ciencia, Tecnología y Desarrollo (CYTED, <http://www.cytel.org>) por el financiamiento de la red IBERCAROT (<http://carotenoides.us.es>, ref. 112RT0445).

A las siguientes instituciones y el personal involucrado dentro de las mismas por apoyar de una u otra forma en el desarrollo de esta tesis doctoral:

- Real Jardín Botánico de Córdoba- España (Córdoba)
- Jardín Botánico las Orquídeas- Ecuador (Puyo)
- Cuerpo técnico del servicio de Biología (SGI) – Universidad de Sevilla (España)
- Cuerpo técnico del Centro de Investigación Tecnología e Innovación de la Universidad de Sevilla (CITIUS)

Del listado anterior de instituciones me gustaría expresar mi más sincero agradecimiento al SENESCYT que día a día brinda la posibilidad a muchos estudiantes a alcanzar metas inmejorables como estudios de tercer y cuarto nivel, que a corto o largo plazo ayuda a que nuestro país se vea beneficiado con nuevos conocimientos para el desarrollo del mismo. Gracias SENESCYT como representante de todo Ecuador por confiar en este profesional que regresa a su país a compartir el conocimiento adquirido. GRACIAS ECUADOR

A mi directora de tesis Dra. Dña. Mireia Corell, por la pasión al trabajo y la contagiosa motivación. Además, por haberme guiado y acompañado en días de intenso trabajo.

A mi director de tesis Dr. Don. Antonio J. Meléndez, por las metas ambiciosas para el desarrollo de esta tesis doctoral y que servirán de guía para futuras investigaciones.

A la Dra. Dña. Dolores Hernanz y la Dra. Dña. Carla Stinco, por sus acertados consejos y guías para el desarrollo de esta tesis doctoral.

A todo el grupo de color y calidad por la acogida brindada durante mi estancia doctoral, especialmente a Ana Benítez y Paula Mapelli por compartir sus conocimientos y extensas horas de oscuridad.

A los profesores de la E.T.S.I.A. que me brindaron su conocimiento y ayuda para que mis plantas crezcan fuertes y sanas. A Noe y Juan por extensas horas de trabajo dedicadas al cultivo. A Jose por buscar minuciosamente la presencia de plagas. A todos los estudiantes que participaron de una u otra manera en el desarrollo del trabajo experimental. Sin vuestra ayuda el cultivo de tomate jamás hubiese llegado a un final feliz.

A todo el grupo de la becaría, especialmente a Ramiro, Aurora, María José, Celia que fueron mis compañeros y amigos durante largas horas de invernadero. Gracias por esas palabras de aliento que cada uno me ofreció.

Dentro de un capítulo especial, con todos los asteriscos, comillas y demás, quiero expresar mi más sincero agradecimiento a mi familia, familiares y amigos los cuales han compartido mis penas y alegrías y quienes me han visto desarrollarme como persona y profesional. Así quiero empezar mi corta lista con:

- Es cierto que se debe tener en cuenta que la rosa a más de la flor también tiene espinas, sin embargo cuando uno ama no intenta regalar un ramo de espinas. La valentía de un individuo radica en aprender a convivir con la belleza de la flor y lograr que las espinas no te hagan daño. Agradezco a todas esas espinas que me hicieron con lágrimas y dolor crecer como persona, sin olvidar que estuvieron ahí en algún momento y dejaron huellas profundas que no se olvidan. **“Educar la mente sin educar el corazón no es educación” Aristóteles**
- Papi Chulito y Mami Chulita (Miguel y Martha): Dicen que un hijo siempre es una bendición de Dios, sin embargo yo digo que un hijo tenga unos padres como los míos eso es inmejorable.

- Evita: Dicen que una persona siempre tiene un ángel y el mío eres tú. Te quiero mucho mi angelito.
- Xavy: Gracias por ser un buen padre para nuestros hijos, por lidiar múltiples cambios, acompañarme durante largas horas de trabajo, sufrir el cansancio y desesperación de un trabajo que no avanzaba.
- Mely y Matius: mis más grandes tesoros, les agradezco de todo corazón por soportar noches de frío y soledad, y por compartir nuevas experiencias estudiantiles superando dificultades.
- Tita y Nuvy: No hay mejor amiga que una hermana.
- Mishu y Jóse: Hay hijos de sangre y hay hijos de corazón.
- Paty, Nico, Agus, Carlos y Pato
- A mis amigos (as) que siempre estuvieron ahí acompañándome, Elenita, Gaby, Charly, Luis, Willy. A Mercedes Roncero y Carolina Hernández, por ser mis compañeras y brindarme su amistad incondicional

El final aún no está escrito...

INDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	
1.1 Alimentos funcionales	2
1.1.1 Concepto de alimento funcional. Delimitaciones	2
1.1.2 Desarrollo y aplicaciones de los alimentos funcionales	4
1.2 Carotenoides	5
1.2.1 Estructura de los carotenoides	6
1.2.2 Biosíntesis de los carotenoides	7
1.2.3 Distribución de los carotenoides	8
1.2.4 Factores que afectan al contenido en carotenoides	9
1.3 Compuestos fenólicos	9
1.3.1 Estructura de los compuestos fenólicos	10
1.3.2 Biosíntesis de los compuestos fenólicos	13
1.3.3 Factores que afectan al contenido en compuestos fenólicos	14
1.4 Tomate	15
1.4.1 Importancia del cultivo	15
1.4.2 Valor nutricional	17
1.4.3 Agronomía del cultivo	17
1.4.3.1 Principales factores de cultivo	20
1.4.3.1.1 Temperatura ambiental	21
1.4.3.1.2 Humedad ambiental	22
1.4.3.1.3 Radiación y luminosidad ambiental	24
1.4.3.1.4 Integral térmica	24
1.4.3.1.5 Requerimiento de agua	25
1.4.4 Riego deficitario controlado en tomate	29
1.4.5 Carotenoides en tomate	34
1.4.6 Compuestos fenólicos en tomate	35
1.4.7 Calidad comercial en tomate	37
1.5 Flores	39
1.5.1 Importancia del consumo de flores	39
1.5.2 Carotenoides en flores	52
1.5.3 Compuestos fenólicos en flores	53
2. OBJETIVOS	55
3. MATERIAL Y MÉTODOS	
3.1 Descripción de las muestras	58
3.1.1 Preparación de las muestras	58
3.2 Análisis de carotenoides	59
3.2.1 Análisis de carotenoides en tomate	59
3.2.1.1 Extracción de carotenoides en tomate	59
3.2.1.2 Análisis por cromatografía líquida de alta resolución de	59

	carotenoides en tomate	
3.2.2	Análisis de carotenoides en flores	60
3.2.2.1	Extracción de carotenoides en flores	60
3.2.2.2	Saponificación de extractos de flores	61
3.2.2.3	Cuantificación de carotenoides totales en flores por espectrofotometría	62
3.2.2.4	Análisis por cromatografía líquida de alta resolución de carotenoides en flores	62
3.3	Análisis de compuestos fenólicos	63
3.3.1	Análisis de compuestos fenólicos en tomate	63
3.3.1.1	Extracción de compuestos fenólicos en tomate	63
3.3.1.2	Análisis por cromatografía líquida de alta resolución de compuestos fenólicos en tomate	64
3.3.2	Análisis de compuestos fenólicos en flores	65
3.3.2.1	Extracción de compuestos fenólicos en flores	65
3.3.2.2	Cuantificación de compuestos fenólicos totales en flores por espectrofotometría	65
3.3.2.3	Análisis por cromatografía líquida de alta resolución de compuestos fenólicos en flores	66
3.4	Aplicación de riego deficitario controlado en tomate	67
3.4.1	Cultivo	67
3.4.1.1	Tomates comunes y cherry	67
3.4.1.2	Tomates cherry	67
3.4.2	Medidas relativas al agua en la planta	69
3.4.3	Medidas de parámetros fisiológicos y de producción	70
3.4.4	Análisis de la calidad comercial	71
3.4.4.1	Tomates de diferente color y tamaño	72
3.4.4.2	Variedades comunes y cherry sometidas a RDC	73
3.4.4.3	Variedades cherry sometidas a RDC	74
3.4.4.4	Posición del fruto en el ramillete en variedades cherry	75
3.5	Medidas instrumentales del color de pétalos de flores	75
3.6	Análisis de datos	76
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	77
	BLOQUE I	79
4.1	Agronomía y calidad funcional del tomate (<i>Solanum lycopersicum</i> L.). Efecto del riego deficitario controlado, el cultivar, el ciclo de cultivo y el nivel de desarrollo del ramillete	80
4.1.1	Calidad comercial y funcional en once variedades de tomate de diferentes variedades, colores y tamaños	80
4.1.1.1	Contenido de carotenoides de once variedades de tomate	80
4.1.1.2	Contenido de compuestos fenólicos de once variedades de tomate	83
4.1.1.3	Calidad comercial de once variedades de tomate	85
4.1.1.4	Conclusiones del estudio de once variedades de tomate	87

4.1.2	Efecto del riego deficitario controlado y la posición del ramillete sobre la calidad funcional y comercial de cinco variedades de tomate de diferentes tamaño y colores	88
4.1.2.1	Contenido de carotenoides de cinco variedades de tomate	88
4.1.2.1.1	Carotenoides y tratamiento de riego (RDC vs control) de cinco variedades de tomate	91
4.1.2.1.2	Carotenoides y posición del ramillete de cinco variedades de tomate	93
4.1.2.1.3	Carotenoides y la interacción entre el tratamiento de riego, la posición del ramillete y la variedad de cinco variedades de tomate	94
4.1.2.2	Contenido de compuestos fenólicos de cinco variedades de tomate	94
4.1.2.2.1	Compuestos fenólicos y tratamiento de riego (RDC vs control) de cinco variedades de tomate	97
4.1.2.2.2	Compuestos fenólicos y posición del ramillete de cinco variedades de tomate	99
4.1.2.2.3	Compuestos fenólicos y la interacción entre el tratamiento, la posición del ramillete y la variedad de cinco variedades de tomate	100
4.1.2.3	Calidad comercial de cinco variedades de tomate	100
4.1.2.3.1	Calidad comercial y tratamiento de riego (RDC vs control) de cinco variedades de tomate	104
4.1.2.3.2	Calidad comercial y posición del ramillete de cinco variedades de tomate	105
4.1.2.3.3	Calidad comercial y la interacción entre el tratamiento de riego, la posición del ramillete y la variedad de cinco variedades de tomate	105
4.1.2.4	Correlaciones del estudio de cinco variedades de tomate	106
4.1.2.5	Conclusiones del estudio de cinco variedades de tomate	106
4.1.3	Efecto del riego deficitario controlado, ciclo de cultivo, nivel de desarrollo del ramillete en la planta y maduración del fruto sobre la calidad funcional y comercial de dos variedades de tomate cherry	109
4.1.3.1	Evolución del cultivo	109
4.1.3.1.1	Condiciones ambientales	109
4.1.3.1.2	Contenido en humedad del suelo	111
4.1.3.1.3	Parámetros fisiológicos de la planta	113
4.1.3.1.4	Producción	122
4.1.3.2	Contenido de carotenoides en dos variedades cherry	124
4.1.3.2.1	Carotenoides y tratamiento de riego (RDC vs control) en dos variedades cherry	128
4.1.3.2.2	Carotenoides y nivel de desarrollo del ramillete en dos variedades cherry	130
4.1.3.2.3	Carotenoides e índice de madurez en dos variedades cherry	131

4.1.3.2.4	Carotenoides y ciclo de cultivo en dos variedades cherry	132
4.1.3.2.5	Carotenoides y la interacción entre el tratamiento de riego, el nivel de desarrollo del ramillete, el índice de madurez, la variedad y ciclo de cultivo en dos variedades cherry	133
4.1.3.3	Contenido de compuestos fenólicos en dos variedades cherry	133
4.1.3.3.1	Compuestos fenólicos y tratamiento de riego (RDC vs control) en dos variedades cherry	137
4.1.3.3.2	Compuestos fenólicos y nivel de desarrollo del ramillete en dos variedades cherry	138
4.1.3.3.3	Compuestos fenólicos e índice de madurez en dos variedades cherry	139
4.1.3.3.4	Compuestos fenólicos y ciclo de cultivo en dos variedades cherry	139
4.1.3.3.5	Compuestos fenólicos y la interacción entre el tratamiento de riego, el nivel de desarrollo del ramillete, el índice de madurez, la variedad y el ciclo de cultivo en dos variedades cherry	140
4.1.3.4	Calidad comercial en dos variedades cherry	140
4.1.3.4.1	Calidad comercial y tratamiento de riego (RDC vs control) en dos variedades cherry	144
4.1.3.4.2	Calidad comercial y nivel de desarrollo del ramillete en dos variedades cherry	146
4.1.3.4.3	Calidad comercial e índice de madurez en dos variedades cherry	147
4.1.3.4.4	Calidad comercial y ciclo de cultivo en dos variedades cherry	148
4.1.3.4.5	Calidad comercial y la interacción entre el tratamiento de riego, el nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, la variedad y ciclo de cultivo en dos variedades cherry	149
4.1.3.5	Correlaciones del estudio de dos variedades cherry	149
4.1.3.6	Conclusiones del estudio de dos variedades cherry	150
4.1.4	Efecto de la posición del fruto en el ramillete sobre la calidad funcional y comercial de dos variedades de tomate cherry	153
4.1.4.1	Contenido de carotenoides	153
4.1.4.1.1	Carotenoides y la interacción entre la posición del fruto en el ramillete y la variedad	155
4.1.4.2	Contenido de compuestos fenólicos	156
4.1.4.2.1	Compuestos fenólicos y la interacción entre la posición del fruto en el ramillete y la variedad	158
4.1.4.3	Calidad comercial de la fruta	159
4.1.4.3.1	Calidad comercial e interacción entre la posición del fruto en el ramillete y la variedad	161
4.1.4.4	Conclusiones del estudio de la posición del fruto en el ramillete	162

BLOQUE II

4.2	Estudio de compuestos bioactivos en flores en el contexto de la alimentación funcional	164
4.2.1	Contenido de carotenoides en especies florales	166
4.2.1.1	Prueba para la extracción de carotenoides de pétalos con distintos disolventes	166
4.2.1.2	Distribución del contenido de carotenoides totales en los pétalos de las muestras estudiadas	167
4.2.1.3	Carotenoides totales en pétalos de flores	168
4.2.1.4	Carotenoides individuales en pétalos de flores	173
4.2.2	Contenido de compuestos fenólicos en especies florales	175
4.2.2.1	Distribución del contenido de compuestos fenólicos totales en pétalos de las muestras estudiadas	175
4.2.2.2	Compuestos fenólicos totales en pétalos de flores	176
4.2.2.3	Compuestos fenólicos individuales en pétalos de flores	179
4.2.3	Parámetros de color en pétalos de flores	180
4.2.4	Correlaciones entre parámetros de color y el contenido total en carotenoides en pétalos de flores	185
4.2.5	Conclusiones del estudio de pétalos de flores	185
5.	CONCLUSIONES	187
6.	BIBLIOGRAFÍA	191

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. 1.	Estructuras químicas de algunos carotenos 6
Figura 1. 2.	Esquema de la biosíntesis de carotenoides 8
Figura 1. 3.	Estructura de la unidad básica de los compuestos fenólicos 10
Figura 1. 4.	Estructura básica de los flavonoides 11
Figura 1. 5.	Ruta del ácido shikímico para la producción de flavonoides 13
Figura 1. 6.	Producción mundial de tomate (ton) según la FAO (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) 16
Figura 1. 7.	Ciclo de cultivo del tomate y fases de desarrollo del fruto (<i>Solanum lycopersicum</i> L.) 18
Figura 1. 8.	Estructura del fruto de tomate ‘Palamós’ 19
Figura 1. 9.	Tomates de diferente tamaño y color, clasificadas según tres grandes tipologías: cherrys, comerciales y de gran tamaño 20
Figura 1. 10.	Factores ambientales que interaccionan en el crecimiento de la planta de tomate 22
Figura 1. 11.	Integral térmica y radiación en el cultivo del tomate 25
Figura 1. 12.	Funcionamiento cámara de presión 29
Figura 1. 13.	Carta de color de tomate comercial de la USDA 38
Figura 1. 14.	Algunos usos comunes de flores 39
Figura 1. 15.	Identificación taxonómica de la <i>Calendula officinalis</i> L. 40
Figura 3. 1.	Cromatogramas a diferentes longitudes de onda correspondientes a extractos de carotenoides de tomate ‘Tigerella’ 60
Figura 3. 2.	Cromatogramas individuales y superpuestos ($\lambda = 450$ nm) correspondientes a extractos de carotenoides de <i>Portucala oleracea</i> 63
Figura 3. 3.	Cromatogramas a diferentes longitudes de onda de compuestos fenólicos correspondientes a extractos de carotenoides del tomate 65
Figura 3. 4.	Cromatogramas a diferentes longitudes de onda de compuestos fenólicos correspondientes a extractos de <i>Pelargonium domesticum</i> 67
Figura 3. 5.	Croquis de cada bloque experimental 69
Figura 3. 6.	Presentación espacial de las coordenadas CIELab 72
Figura 3. 7.	Fotografías de variedades estudiadas de tomates cherry, comunes y grande, de diferentes colores 73
Figura 3. 8.	Fotografía de tomates comunes: ‘Byelsa’ (A), ‘Palamós’ (B) y ‘Tigerella’(C); variedades cherry: Summerbrix (D) y Lazarino (E) 74
Figura 3. 9.	Fotografía de tomates cherry con diferentes índices de madurez. M0: 0 % de rojo, M1: 25 % de rojo, M2: 50 % de rojo, M3: 75 % de rojo, M4: 100 % de rojo 74
Figura 3. 10.	Fotografía de la posición del fruto en ramillete en dos variedades cherry 75
Figura 4. 1.	Cromatogramas ($\lambda=450$ nm) correspondientes a extractos de carotenoides de diferentes variedades de tomates cherry en una columna C18 81

Figura 4. 2.	Contenido de fitoeno, fitoflueno, luteína, licopeno, β -caroteno y carotenoides totales (mg/100 g PS) de tomates de diferente color y tamaño	82
Figura 4. 3.	Contenido en compuestos fenólicos (mg/100 g PS) de tomates de diferentes colores	84
Figura 4. 4.	Peso medio de fruto (A), contenido en sólidos solubles (B) y Color (C y D): L*, a* y b*, en 11 variedades de tomate de diferentes colores	85
Figura 4. 5.	Contenido de fitoeno (I), fitoflueno (J), luteína (K), licopeno (L), β -caroteno (M) y carotenoides totales (N) todos ellos expresados en mg/100 g PS de tomates de diferentes variedades en tres posiciones del ramillete	89
Figura 4. 6.	Contenido de ácidos benzoicos (O), ácidos hidroxicinámicos (P), flavonoles (Q) y compuestos fenólicos totales (R), todos ellos expresados en mg/100 g PS de tomates de diferentes variedades en tres posiciones del ramillete	95
Figura 4. 7.	Peso medio de fruto (A), contenido en sólidos solubles (B) y Color (C, D y E): L*, C*ab, hab, de tomates de diferentes variedades en tres posiciones del ramillete	101
Figura 4. 8.	Integral térmica y temperatura en el interior del invernadero (A) y condiciones en el exterior del invernadero: temperatura mínima y máxima (B y C), déficit de presión de vapor (D), humedad relativa del aire en el interior del invernadero (E), radiación diaria (F), ETo (G) exterior durante el desarrollo del cultivo de dos variedades de tomate cherry en otoño y primavera	110
Figura 4. 9.	Contenido de humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo de dos variedades de tomate cherry en otoño (A) y primavera (B).	112
Figura 4. 10.	Potencial hídrico de hoja (A y B) e integral de estrés (C y D) durante los dos ciclos del cultivo	114
Figura 4. 11.	Evolución de parámetros de crecimiento de la planta: altura (A y B), hojas (C y D) e inflorescencias (E y F), de dos variedades de tomate cherry en otoño y primavera	118
Figura 4. 12.	Evolución de la primera (A, B, C y D), tercera (E, F, G y H) y quinta inflorescencia (I, J, K, L), en función del número de botones, flores abiertas y cuajadas en el cultivo de dos variedades de tomate cherry en otoño y primavera	119
Figura 4. 13.	Evolución de la producción (A y B) y producción total (C y D) en los dos ciclos de cultivo otoño y primavera	123
Figura 4. 14.	Contenido de fitoeno (I), luteína (K), licopeno (L), β -caroteno (M) y carotenoides totales (N) todos ellos expresados en μ g/g PS en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), en tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y en dos ciclos de cultivo de 'Lazarino'	125
Figura 4. 15.	Contenido de fitoeno (I), luteína (K), licopeno (L), β -caroteno (M) y carotenoides totales (N) todos ellos expresados en μ g/g PS en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), en tres índices de	126

Figura 4. 16.	madurez (IM1, IM3 y IM4) y en dos ciclos de cultivo de 'Summerbrix' Contenido de ácidos benzoicos (O), ácidos hidroxicinámicos (P), flavonoles (Q) y compuestos fenólicos totales (T) todos ellos expresados en mg/100 g PS en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y dos ciclos de cultivo de 'Lazarino'	134
Figura 4. 17.	Contenido de ácidos benzoicos (O), ácidos hidroxicinámicos (P), flavonoles (Q) y compuestos fenólicos totales (T) todos ellos expresados en mg/100 g PS, en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y dos ciclos de cultivo de 'Summerbrix'	135
Figura 4. 18.	Peso medio de fruto (A), contenido de sólidos solubles (B) y color (C, D, E) en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y dos ciclos de cultivo de 'Lazarino'	141
Figura 4. 19.	Peso medio del fruto (C), contenido de sólidos solubles (D) y color (E, F y G), en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y dos ciclos de cultivo de 'Summerbrix'	142
Figura 4. 20.	Contenido de fitoeno (I), fitoflueno (J), luteína (K), licopeno (L), β -caroteno (M) y carotenoides totales (N) todos ellos expresados en mg/100 g PS en tres posiciones del fruto en el ramillete (PI, PII y PIII) en dos variedades cherry	154
Figura 4. 21.	Contenido de ácidos benzoicos (O), ácidos hidroxicinámicos (P), flavonoles (Q) y compuestos fenólicos totales (T) todos ellos expresados en mg/100 g PS en dos variedades cherry en tres posiciones del fruto en el ramillete	157
Figura 4. 22.	Peso medio del fruto (A), sólidos solubles (B) y color (C, D y E) de dos variedades cherry en tres posiciones del ramillete	160
Figura 4. 23.	Número de especies por familias florales estudiadas	164
Figura 4. 24.	Extracción media de carotenoides después de pétalos de Calendula x hybrida con cuatro tipos diferentes de mezclas extractantes	167
Figura 4. 25.	Frecuencia relativa (A) y gráfico de caja y bigotes (B) considerando el contenido en carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$) de las flores estudiadas	168
Figura 4. 26.	Número de especies con el mismo carotenoides mayoritario (A) y gráfico de caja y bigotes (B) por cada carotenoide mayoritario identificado en las flores estudiadas	174
Figura 4. 27.	Frecuencia acumulada y gráfico de caja y bigotes por contenido de compuestos fenólicos totales (mg/g) en flores estudiadas	176
Figura 4. 28.	Número de especies y gráfico de caja y bigotes por compuesto fenólico identificado en flores estudiadas	180
Figura 4. 29.	Distribución de las muestras de pétalos de flores en el plano a*b*	184

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 1. 1.	Estructuras químicas de diversas xantófilas	7
Tabla 1. 2.	Compuestos fenólicos extraíbles (FE)	11
Tabla 1. 3.	Compuestos fenólicos no extraíbles (FNE)	12
Tabla 1. 4.	Producción, área y rendimiento mundial del cultivo de tomate en el año 2014 según la FAO	16
Tabla 1. 5.	Descripción, origen y usos de flores de la misma especie y con variedades de diferente color	42
Tabla 1. 6.	Descripción, origen y usos de flores de la misma familia y diferente especie	45
Tabla 1. 7.	Descripción, origen y usos de flores de diferente familia y diferente especie	50
Tabla 3. 1.	Calendario de los tres ciclos de cultivo	68
Tabla 3. 2.	Cantidad de agua total suministrada en control y RDC en los tres ciclos de cultivo	70
Tabla 4. 1.	Resumen del análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego (RDC y control) y la posición del ramillete en el contenido de carotenoides, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad. Valores de p	90
Tabla 4. 2.	Resumen del análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego y la posición del ramillete en el contenido de compuestos fenólicos, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad. Valores de p	96
Tabla 4. 3.	Resumen del análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego y la posición del ramillete en la calidad comercial, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad. Valores de p	103
Tabla 4. 4.	Contenido de agua de la planta en primavera en dos variedades cherry	113
Tabla 4. 5.	Porcentaje promedio de flores cuajadas por ramillete	122
Tabla 4. 6.	Daños ocasionados sobre el fruto de tomate en dos ciclos de cultivo	124
Tabla 4. 7.	Resumen de los análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego, del nivel de desarrollo del ramillete y del índice de madurez sobre el contenido de carotenoides en dos variedades cherry en otoño y primavera, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad y ciclo de cultivo. Valores de p	127
Tabla 4. 8.	Resumen de los análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego, del nivel de desarrollo del ramillete y del índice de madurez sobre el contenido de carotenoides en dos variedades cherry en otoño y primavera, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, índice de madurez, variedad y ciclo de cultivo. Valores de p	136
Tabla 4. 9.	Resumen de los análisis de varianza con el estudio del efecto del	143

tratamiento de riego, del nivel de desarrollo del ramillete y del índice de madurez sobre el contenido de carotenoides en dos variedades cherry en otoño y primavera, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad y ciclo de cultivo. Valores de p

Tabla 4. 10.	Resumen del análisis factorial en relación a la posición del fruto en el ramillete y la variedad sobre el contenido de carotenoides. Valores de p	156
Tabla 4. 11.	Resumen del análisis factorial en relación a la posición del fruto en el ramillete y la variedad sobre el contenido de compuestos fenólicos. Valores de p	158
Tabla 4. 12.	Resumen del análisis factorial en relación a la posición del fruto en el ramillete y la variedad sobre la calidad comercial. Valores de p	161
Tabla 4. 13.	Contenido en carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$), compuestos fenólicos totales (mg/g), carotenoide mayoritario ($\mu\text{g/g}$) y compuesto fenólico mayoritario (mg/g). Datos referidos a peso seco. Flores de la misma especie y con variedades de diferente color	171
Tabla 4. 14.	Contenido en carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$), compuestos fenólicos totales (mg/g), carotenoide mayoritario ($\mu\text{g/g}$) y compuesto fenólico mayoritario (mg/g). Flores de la misma familia y diferente especie	172
Tabla 4. 15.	Contenido en carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$), compuestos fenólicos totales (mg/g), carotenoide mayoritario ($\mu\text{g/g}$) y compuesto fenólico mayoritario (mg/g). Flores de diferente familia y diferente especie	173
Tabla 4. 16.	Parámetros de color en flores de la misma especie y con variedades de diferente color	182
Tabla 4. 17.	Parámetros de color en flores de la misma familia y diferente especie	183
Tabla 4. 18.	Parámetros de color en flores de diferente familia y diferente especie	184

ABREVIATURAS

a*	Coordenada de color a
$A_{1\text{ cm}}^{1\%}$	Coefficiente de absorción molar
Abs	Absorbancia medida en el espectrofotómetro
b*	Coordenada de color b
C* _{ab}	Croma (parámetro de color)
CT	Carotenoides totales
DAD	Detector con arreglo de diodos
DIF	Integral térmica
DPV	Déficit de presión de vapor
ET	Evapotranspiración
ET _o	Evapotranspiración del cultivo de referencia
ET _c	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones estándar
ET _{caj}	Evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar
E.T.S.I.A.	Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica
FAO	Food and Agriculture Organization de las Naciones Unidas
FE	Compuestos fenólicos extraíbles
FNE	Compuestos fenólicos no extraíbles
FDR	Reflectometría en el dominio de las frecuencias
FT	Fenoles totales
EAG	Equivalentes de ácido gálico
h _{ab}	Angulo de color (parámetro de color)
K _c	Factor para cultivo bien regado
K _s	Factor para cultivo bajo estrés hídrico

L*	Intensidad de color
nd	No disponible
PF	Peso fresco
PI	Posición de la fruta cercana al tallo
PII	Posición de la fruta en la posición media del ramillete
PIII	Posición de la fruta alejada del tallo
PRD	Riego parcial de la zona de la raíz
PRI	Posición del ramillete I
PRII	Posición del ramillete II
PRIII	Posición del ramillete III
PS	Peso seco
RI	Primer ramillete
RIII	Tercer ramillete
RV	Quinto ramillete
RDC	Riego deficitario controlado
RDS	Riego deficitario sostenido
RRLC	Cromatografía de rápida resolución
SS	Sólidos solubles
TDR	Reflectometría en el dominio del tiempo
UHPLC	Cromatografía ultra líquida
UV	Luz ultra violeta
Ψ_h	Potencial hídrico de hoja
Ψ_o	Potencial osmótico
Ψ_p	Potencial de turgencia

RESUMEN

Numerosos estudios demuestran que una dieta apropiada y rica en compuestos bioactivos como carotenoides y compuestos fenólicos, entre otros, puede disminuir el riesgo de desarrollar enfermedades. En este contexto, en la actualidad el consumo de alimentos funcionales sigue ganando importancia. Los alimentos funcionales, además de aportar nutrientes aportan otros compuestos que afectan beneficiosamente a algunas funciones disminuyendo el riesgo de padecer enfermedades o mejorando el estado de salud.

Por otra parte, el agua es un bien escaso y el volumen disponible para el aprovechamiento agrícola es muy limitado en algunas regiones. Por ello, el uso eficiente de este recurso debe ser un criterio a considerar en la implantación de nuevos cultivos y el aprovechamiento de los ya implantados. En la actualidad los productos cultivados bajo condiciones de ahorro de agua son llamados productos hidrosostenibles. Algunos estudios indican que el empleo de técnicas de riego deficitario controlado puede contribuir a incrementar ciertos compuestos bioactivos, mejorar algunos atributos sensoriales, no afectar a la productividad del cultivo y, por último, son respetuosos con el medio ambiente debido a la optimización del uso del agua.

En la presente tesis doctoral se evaluaron la calidad comercial y funcional en base al contenido de carotenoides y compuestos fenólicos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en función de diferentes factores agronómicos, y el contenido de compuestos funcionales (carotenoides y compuestos fenólicos) en flores con miras a potenciar su interés en la alimentación.

Con respecto al estudio de tomate se evaluaron la calidad comercial, el contenido de carotenoides y compuestos fenólicos en diferentes grupos varietales en: 1) once variedades de tomate con diversas coloraciones: cinco variedades cherry comerciales disponibles en supermercados de Sevilla ('Cherry amarillo', 'Cherry pera', 'Cherry naranja', 'Minichocmato' y 'Cherry rojo') y seis variedades cultivadas en invernadero bajo condiciones normales de riego ('Green Zebra', 'Sunchola', 'Tigerella', 'Byelsa', 'Palamós' y 'Orange'); 2) dos variedades cherry ('Lazarino' y 'Summerbrix'), y tres comerciales ('Byelsa', 'Palamós' y 'Tigerella') sometidas a riego deficitario controlado (90 % de reducción de agua con un potencial hídrico de hoja que no superó los -1.2 MPa) y además se evaluó la posición del ramillete; 3) dos variedades cherry ('Lazarino' y 'Summerbrix') sometidas a riego deficitario controlado (disminución de agua en un 78 % en el cultivo de otoño con un potencial de hoja que no superó los -0.8 MPa y 80 % en el de primavera con un potencial de hoja que no superó los -1.0 MPa) durante la floración, cuajado y madurez del fruto, además se evaluó el nivel de desarrollo del ramillete, el grado de

madurez y el ciclo de cultivo; 4) la posición de la fruta en el ramillete en dos variedades cherry ('Lazarino' y 'Summerbrix'). Por otra parte, en el estudio de flores se evaluó el contenido de carotenoides y compuestos fenólicos en 141 especies florales clasificadas en: flores de la misma especie y con variedades de diferente color, flores de la misma familia y diferente especie y flores de otras especies no agrupadas en los dos grupos anteriores.

Los resultados obtenidos demuestran que cuando se analizó de forma aislada el factor riego deficitario controlado, este provocó diferencias significativas en algunos casos en el contenido de compuestos bioactivos (carotenoides y compuestos fenólicos) y la calidad comercial, así como también provocó cambios la posición del ramillete, nivel de desarrollo del ramillete e índice de madurez, los cuales dependieron de la variedad y el ciclo de cultivo. Por ejemplo, en las variedades cherry aumentó el contenido de carotenoides, mientras que el contenido fenólico disminuyó; en cambio, en variedades comunes en unos casos se redujo el contenido de carotenoides y se acrecentó el contenido de fenoles, y en otros casos se observó incrementos en los dos compuestos bioactivos, a su vez, el peso del fruto disminuyó e incrementó los sólidos solubles en el estudio de cinco variedades de tomate de diferente tamaño (cosechado completamente rojo), mientras que en el estudio de cherry (se evaluó los diferentes índices de madurez) se mostraron diferencias significativas en todos los casos sin presentar patrones definidos. Por otro lado, el análisis en conjunto de todas los factores considerados en los respectivos estudios reportó que el cambio del contenido de carotenoides no es mayormente afectado por el riego deficitario controlado (RDC) sin embargo los factores como posición del ramillete, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad, ciclo de cultivo, tomaron mayor importancia; el RDC sobre el contenido de compuestos fenólicos si tomó importancia en el estudio de cinco variedades de diferente tamaño, mientras que en el estudio de cherry no fue mayormente importante y tomaron relevancia los otros factores en estudio; en la calidad comercial los SS y C^*_{ab} en el estudio de cinco variedades de diferente tamaño no fueron afectados significativamente por el RDC, mientras que en el resto de casos este factor tuvo igual importancia que el resto de factores considerados en este estudio. A su vez, el RDC sobre la calidad comercial en el estudio de tomate cherry tuvo igual importancia sobre la calidad comercial que el resto de factores de cambio.

El nivel de desarrollo del ramillete y el índice de madurez sí provocaron cambios en la calidad comercial y funcional de los tomates con variaciones que dependieron del ciclo de cultivo. Un ejemplo es que las variedades cherry mostraron altos contenidos de carotenoides en el primer ramillete en primavera del 2015, mientras que en otoño del 2015 y primavera del 2016 el contenido aumentó entre el 50 y el 70 % con respecto al primer ramillete.

Los datos obtenidos en este estudio de tomate reafirman que la regulación de la biosíntesis de metabolitos secundarios, en concreto carotenoides y compuestos fenólicos es muy compleja y que los factores que afectan a su contenido son de muy distinta naturaleza, incluyendo factores geográficos, genéticos, ambientales y agronómicos, entre otros (Poiroux, y otros 2010, Borghesi, y otros 2011, Lea, y otros 2007, Olsen, y otros 2009). Y para analizar beneficios sobre el ahorro de agua en un determinado ciclo de cultivo se debería tener en cuenta otro tipo de factores como el nivel de desarrollo del ramillete e índice de madurez, que son factores que en algunos casos provocan mayores cambios que el riego deficitario considerado como tal.

Con respecto al estudio de las flores, se concluyó que las especies que presentaron los contenidos de carotenoides más altos no mostraron altos contenidos de compuestos fenólicos. En términos cuantitativos, cabe destacar trece flores con concentraciones de carotenoides entre 748.1 y 4140.0 $\mu\text{g/g}$ de peso seco y ocho flores con concentraciones de compuestos fenólicos totales entre 144.5 y 195.2 mg equivalentes de ácido gálico/g de peso seco.

INTRODUCCIÓN GENERAL

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

1.1. Alimentos funcionales

En los últimos años la percepción de la alimentación ha ido evolucionando desde la búsqueda de alimentos que brinden una nutrición suficiente y enfocada a suplir déficits alimenticios hasta alimentos que además proporcionen beneficios para la salud (Silveira-Rodríguez, Monereo-Megías y Molina-Baena 2003). En este sentido muchos estudios indican que ciertas enfermedades pueden ser prevenidas en cierta medida con una dieta equilibrada y sana.

El término alimento funcional aparece en la década de los 80 en Japón, mientras que en otros lugares es relativamente nuevo (Verschuren 2002). En Japón se observó un incremento gradual de algunas enfermedades que tienen relación con el estilo de vida del individuo, provocando que el gobierno japonés tomara en consideración los costes sanitarios ligados a dichas enfermedades y a su impacto en la esperanza de vida de las personas adultas. Así, en 1991 se emitió el primer reglamento que permite la comercialización de “alimentos para uso específico en la salud”, los cuales se denominaron como FOSHU por sus siglas en inglés *Foods for specified health uses* (Soichi, y otros 2001, Howlett 2008).

A partir del establecimiento del primer reglamento el término alimento funcional se extendió por todo el mundo, adaptándose dicho concepto a diferentes sociedades. Así, en la segunda mitad de los años noventa, la Comisión Europea financió un proyecto para establecer la comisión científica de *Ciencia de los alimentos funcionales en Europa* (FUFOSE, por sus siglas en inglés *Functional Food Science in Europe*), que involucró a un gran número de expertos europeos en nutrición y ciencias relacionadas. Esta comisión generó un informe de consenso que se ha utilizado ampliamente como base para la discusión sobre productos funcionales (Howlett 2008).

1.1.1. Concepto de alimento funcional. Delimitaciones

El concepto de alimento funcional aún provoca controversias en la comunidad científica mundial. No existe una definición universalmente aceptada, ya sea por las diferencias culturales, situación de mercado o por la diversidad de formas de entender la nutrición. Así, por ejemplo, el *International Life Science Institute* (ILSI) define a los compuestos funcionales como «aquellos alimentos que proveen beneficios para la salud en virtud de la presencia de componentes fisiológicamente activos» (Binns 2009); la *American Dietetic Association* los define como

«aquellos alimentos que, ha quedado demostrado, que suponen una disminución del riesgo de enfermedades o que proporcionen bienestar al individuo» (Hasler y Brown 2009).

El punto de encuentro de los alimentos funcionales está normalmente en la presencia de compuestos que muestren un comprobado efecto beneficioso sobre una o varias funciones del organismo, provocando una mejora en la salud y la reducción del riesgo de padecer ciertas enfermedades (Rafter 2002, Howlett 2008). Además, para ser considerado alimento funcional estos deben formar parte de los hábitos alimentarios normales de la población y los beneficios deben producirse con niveles de los compuestos alcanzables con una dieta normal (Verschuren 2002, Roberfroid 2002).

Dentro del contexto europeo se considera alimento funcional a (Ministerio-de-la-Presidencia 2009, Cortés, Chiralt y Puente 2005, Roberfroid 2002, Granado-Lorencio y Hernández-Alvarez 2016, Howlett 2008):

- Un alimento natural o procesado.
- Un alimento que proporcione un beneficio documentado clínicamente para la prevención, manejo o tratamiento de enfermedades crónicas.
- Un alimento cuyo(s) componente(s) se ha añadido o retirado de forma tecnológica o biotecnológica y que las concentraciones de dichos compuestos sean definidas y no tóxicas a la vez.
- Un alimento que contiene compuestos biológicamente activos conocidos o desconocidos.
- Un alimento cuyo (s) componente (s) se ha modificado.
- La combinación de varias de las posibilidades mencionadas.

La diversidad de combinaciones que dan la característica de funcional a un alimento abre la posibilidad de disponer de innumerables sustancias con actividad funcional: fibra soluble e insoluble, ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, carotenoides, compuestos fenólicos, vitaminas, fitoesteroles y otros fitoquímicos que cumplen una actividad funcional (Silveira-Rodríguez, Monereo-Megías y Molina-Baena 2003, Granado-Lorencio y Hernández-Alvarez 2016).

Como se desprende de lo comentado anteriormente, la funcionalidad de un alimento en algunos casos está relacionada con algunos compuestos que no son nutrientes esenciales para la salud humana que, sin embargo, poseen cierta actividad biológica que beneficia al organismo. A este grupo de compuestos se les conoce como compuestos bioactivos, dentro de los que se

encuentran los carotenoides y compuestos fenólicos (Serrano-Ríos, Sastre-Gallego y Cobo-Sanz 2005).

1.1.2. Desarrollo y aplicaciones de los alimentos funcionales

Numerosos estudios demuestran que una dieta adecuada puede prevenir, entre otras, enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares, diabetes, cáncer, hiperglicemia e hipercolesterolemia. Por consiguiente, el consumo de alimentos debe considerar el aporte de energía, nutrientes y compuestos bioactivos, ya que son beneficiosos para la salud (Slimestad y Verheul 2009, Perveen, y otros 2015). Así, en los últimos años el desarrollo de los alimentos funcionales ha experimentado un gran auge con el objetivo de mejorar la calidad de vida de los consumidores. Muchos estudios se han enfocado principalmente en la búsqueda de:

- Alimentos para la gestación, que favorezcan el desarrollo y crecimiento fetal. Tanto la madre como el feto requieren mayor cantidad de hierro, ácido fólico, calcio y vitaminas en esta etapa del desarrollo humano (Cortés, Chiralt y Puente 2005).
- Alimentos que favorezcan las funciones gastrointestinales, que sean ricos en fibra, probióticos, prebióticos y simbióticos, ya que, como se ha demostrado, mejoran el equilibrio de la microflora intestinal (Guarner 2007).
- Alimentos que disminuyan los riesgos asociados al síndrome de resistencia a la insulina que está relacionado con la diabetes, hipercolesterolemia, obesidad e hipertensión arterial (Cortés, Chiralt y Puente 2005).
- Alimentos que actúen sobre el metabolismo de xenobióticos, que son compuestos que el organismo metaboliza y acumula como si fuesen compuestos beneficiosos pero que, sin embargo, pueden tener efectos negativos para la salud (Harris, Jang y Tsunoda 2003)
- Alimentos que equilibren los sistemas redox del organismo, cuyos desequilibrios provocan la formación excesiva de agentes oxidantes implicados en ciertas etapas de desarrollo de algunas enfermedades cardiovasculares, enfermedad pulmonar obstructiva y del cáncer, entre otros trastornos (Diplock, y otros 1998, Sies, Berndt y Jones 2017, Halliwell y Whiteman 2004)

No obstante, gran parte de esfuerzos se han centrado en la relación entre los alimentos funcionales y el estrés oxidativo, ya que este se ha correlacionado habitualmente con el proceso de envejecimiento y diferentes enfermedades crónicas (Halliwell y Whiteman 2004). Así, muchos estudios se han centrado en la búsqueda de alimentos que presenten antioxidantes naturales que contribuyan a reforzar las defensas antioxidantes naturales del organismo. En este

grupo de compuestos destacan por su actividad antioxidante los ácidos cítrico, succínico y tartárico, vitamina E, vitamina C, carotenoides y compuestos fenólicos (Lampe 1999, Prior 2003).

Dentro del grupo de compuestos funcionales tienen gran importancia los estudios sobre los efectos beneficiosos de carotenoides y compuestos fenólicos. Algunas investigaciones sugieren que los carotenoides pueden ser beneficiosos en la prevención de enfermedades cardiovasculares, presentan actividad antioxidante y anticarcinogénica, contribuyen a mejorar la salud ósea, ocular y de la piel (Granado-Lorencio y Hernández-Alvarez 2016). Por otra parte, algunos carotenoides son precursores de la vitamina A, que es esencial para la visión nocturna y para mantener sanos los tejidos superficiales y la piel. Puede aportarse a la dieta como retinol o como sus precursores, los carotenoides provitamínicos. Se conocen alrededor de sesenta precursores de vitamina A, como los carotenos α -, β - y γ -caroteno, y las xantófilas α -criptoxantina y β -criptoxantina (Rodríguez-Amaya 1997). Para que un carotenoide pueda convertirse en vitamina A, debe poseer en su molécula al menos un anillo beta no sustituido. Un ejemplo es el β -caroteno que posee 2 anillos β no sustituidos, lo que provoca que, en teoría, su actividad vitamínica sea el doble que la de la β -criptoxantina. En este sentido, se estableció que un equivalente de retinol (1 μg) equivalía a 24 μg de otros carotenoides provitamínicos o 12 μg de (*all-trans*)- β -caroteno (FAO 2002).

Son numerosos los estudios que indican que los compuestos fenólicos pueden proporcionar beneficios para la salud, ya que pueden actuar como antioxidantes (Martínez-Flórez, y otros 2002). Además de poseer actividad neuroprotectora, antiviral, antitumoral, antiinflamatoria y antimicrobiana, favorecen la agregación plaquetaria y la función endotelial. Asimismo algunos estudios indican que podrían promover la función inmune e intestinal y ayudar en los procesos de desintoxicación (Granado-Lorencio y Hernández-Alvarez 2016, Sliemstad y Verheul 2009, Lule y Xia 2005).

1.2. Carotenoides

Debido a su versatilidad y en gran parte al interés por los carotenoides en el contexto de la promoción de la salud y la agroalimentación, la investigación en estos compuestos ha crecido enormemente en los últimos 30 años e incluso se han dedicado libros para cubrir dichas temáticas (A. Meléndez-Martínez 2016). En este sentido, es importante indicar que se trata de compuestos de gran interés para la industria de alimentos y piensos como colorantes, precursores de vitamina A y compuestos funcionales. Asimismo tienen interés para la industria cosmética.

En la actualidad, se estima que el 90 % de los carotenoides empleados por la industria se obtiene a partir de síntesis química y apenas un 10 % proviene de biosíntesis (Yang y Lizhong 2014).

1.2.1. Estructura de los carotenoides

Químicamente, la mayoría de los carotenoides son compuestos tetraterpenoides. Así, normalmente están formado por cuarenta átomos de carbono (C_{40}) y contienen ocho unidades isoprenoides (Kimura y Rodriguez-Amaya 2002). Sin embargo, algunos carotenoides, como por ejemplo, los apocarotenoides poseen un esqueleto de menos de cuarenta átomos de carbono y otros tienen más de cuarenta, como la decaprenoxantina (Hendry y Houghton 1996, Cooper 2004, Britton, Liaaen-Jensen y Pfander 2004).

Los carotenoides también se pueden clasificar según su composición química en carotenos y xantófilas (Rodríguez-Amaya 2001). Los carotenos son hidrocarburos formados por C e H e incluyen al β -caroteno, α -caroteno (ambos carotenoides cíclicos al contener anillos en su estructura) y licopeno (carotenoide acíclico) (Figura 1.1). Por otra parte, las xantófilas contienen átomos de C, O e H. El oxígeno puede estar en forma de grupo hidroxilo, epóxido, carbonilo, metoxilo, carboxilo, etc. (Tabla 1.1) (Britton, Liaaen-Jensen y Pfander, Carotenoids. Handbook 2004).

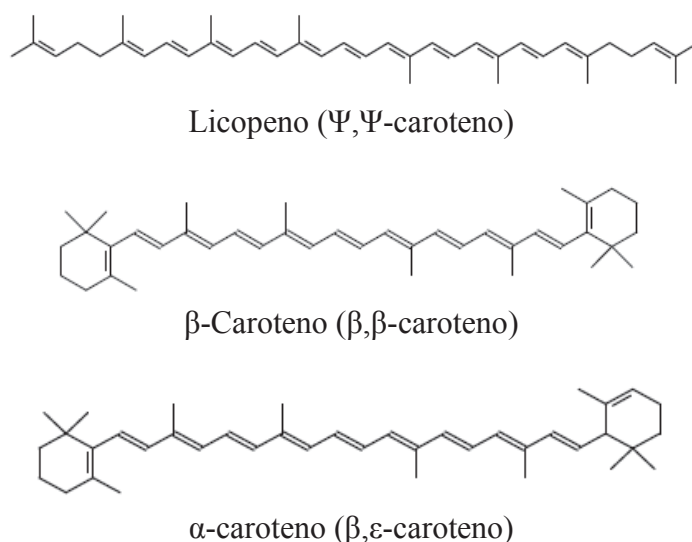
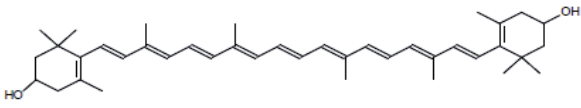
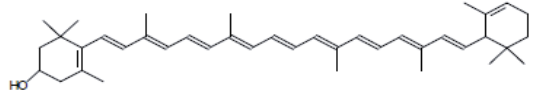
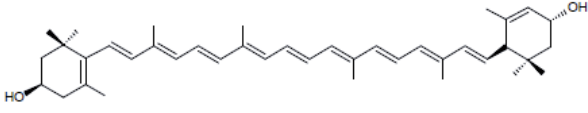
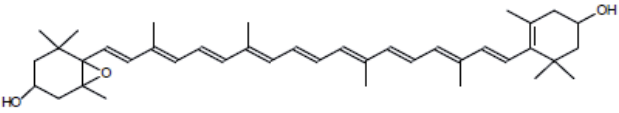
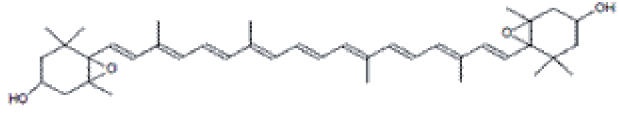
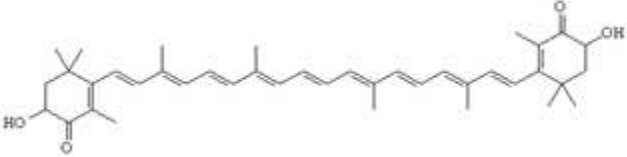
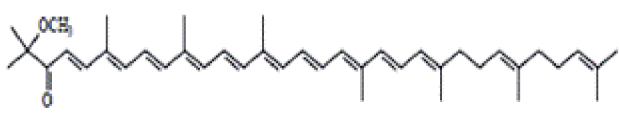
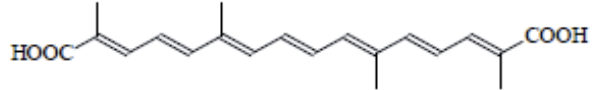


Figura 1. 1. Estructuras químicas de algunos carotenos

Tabla 1. 1. Estructuras químicas de diversas xantófilas

Xantófilas	Compuestos	Estructura química
Grupo hidroxilo	Zeaxantina (β,β -caroteno-3,3'-diol)	
	Zeinoxantina (β,ϵ -caroteno-3-ol)	
	Luteína (β,ϵ -caroteno-3,3'-diol)	
Grupo epóxido	Anteraxantina (5,6-epoxi-5,6-dihidro- β,β -caroteno-3,3'-diol)	
	Violaxantina (5,6:5',6'-diepoxi-5,6,5',6'-tetrahidro- $\beta\beta$ -caroteno-3,3'-diol)	
Grupo carbonilo	Astaxantina (3S,3'S)-3,3'-Dihidroxi- β,β -caroteno-4,4'-dione)	
Grupo metoxilo	Esferoidenona (1-metoxi-3,4-didehidro-1,2,7',8'-tetrahidro-y,y-caroteno)	
Grupo carboxilo	Crocetina (8,8'-di-apocaroteno-8,8'-dioico ácido)	

1.2.2. Biosíntesis de los carotenoides

La biosíntesis de carotenoides constituye una de las ramas de la biosíntesis de isoprenoides. El primer paso de la ruta consiste en la condensación de dos moléculas de geranylgeranyl pirofosfato (molécula compuesta por veinte átomos de carbono formada por cinco unidades de isopreno) para formar fitoeno, caroteno de cuarenta átomos de carbono (Fraser y Bramley 2004). A partir de este caroteno incoloro se forman el resto de carotenoides mediante

reacciones catalizadas por diversas enzimas (Nisar, y otros 2015) como se muestra en la Figura 1.2.

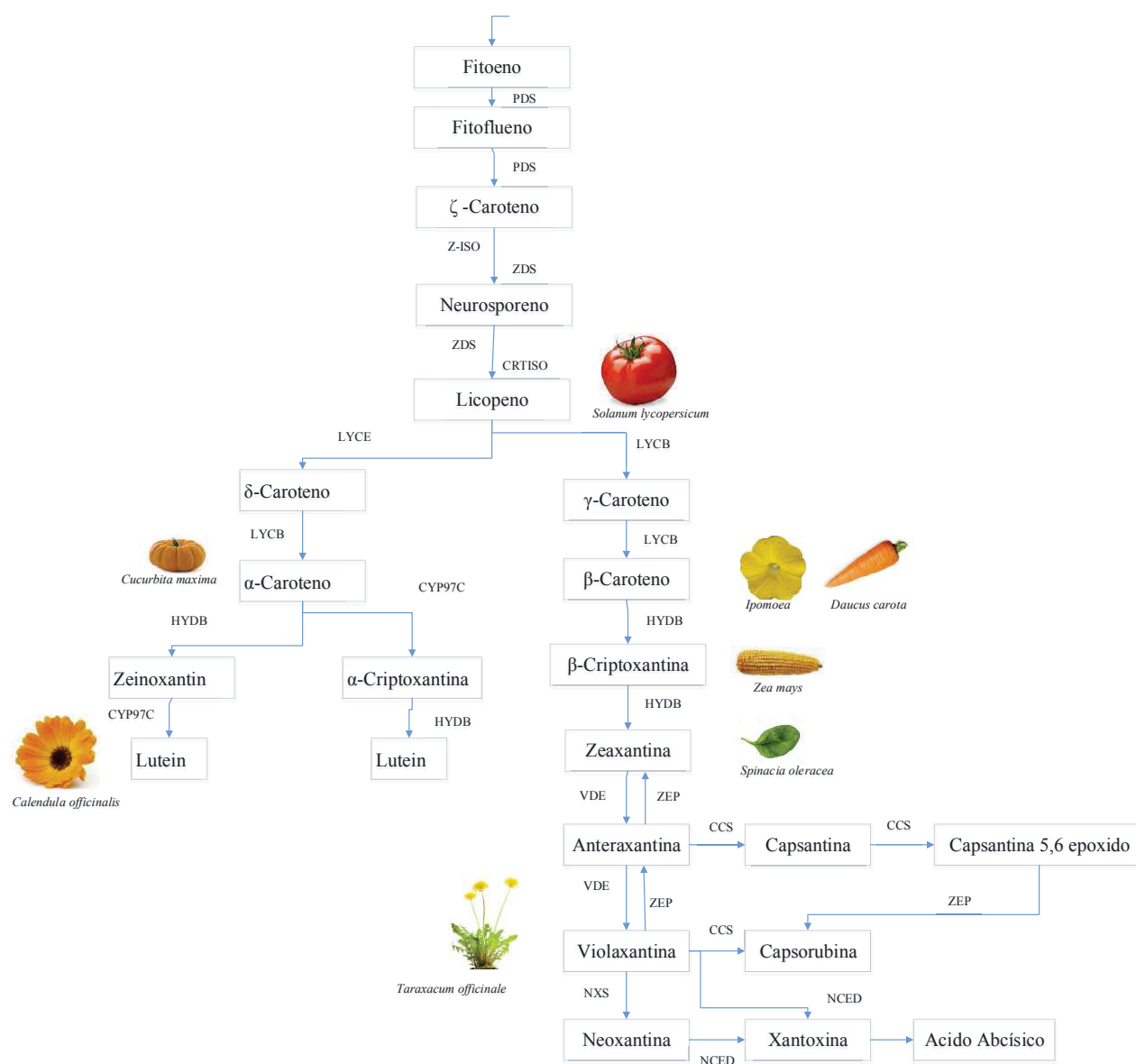


Figura 1. 2. Esquema de la biosíntesis de carotenoides. PDS, fitoeno sintasa; Z-ISO, ζ-caroteno isomerasa; ZDS, ζ-caroteno desaturasa; CRTISO, caroteno isomerasa; LYCE, licopeno ε-ciclasa; LYCB, licopeno β-ciclasa; HYDB, β-caroteno hidroxilasa; CYP97C, caroteno hidroxilasa; VDE, violaxantina di-epoxidasa; ZEP, zeaxantina epoxidasa; NXS, neoxantina sintasa; CCS, capsantina-capsorubina sintasa; NCED, 9-cis-epoxicarotenoide dioxigenasa. (Zhu, y otros 2010).

1.2.3. Distribución de los carotenoides

Los carotenoides son compuestos que están ampliamente distribuidos en el reino animal y vegetal. Son sintetizados por todos los organismos fotosintéticos, así como por algunos organismos no fotosintéticos como algunas bacterias y hongos. Los animales no pueden

sintatizarlos *de novo* pero sí modificarlos (Meléndez-Martínez, Mapelli, y otros 2015, Alvarez, y otros 2015, Rodriguez-Amaya 1999, Moran y Jarvik 2010).

Los carotenoides son responsables de algunas tonalidades amarillas, anaranjadas o rojas de ciertas flores y frutos. En tejidos fotosintéticos su color está enmascarado por la presencia de clorofila (Dutta, Chaudhuri y Chakraborty 2005, Regal, Amorim y Cepeda 2014). Así, típicos ejemplos, son el color de flores como la caléndula (*Calendula officinalis* L.) (Bakó, Deli y Tóth 2001) o frutos maduros como el tomate (*Solanum lycopersicum* L.) (Arias, y otros 2000). Además, también son responsables de la coloración azul, púrpura y verde de la piel de algunos peces y crustáceos formando parte de carotenoproteínas (Yeager 2001, Keyhaninejad, Richins y Connell 2012, Meléndez-Martínez, Vicario y Heredia 2012). La asociación de los carotenoides con las proteínas conduce a la formación de complejos estructuralmente estables y también provoca cambios en sus coloraciones, de forma que algunas carotenoproteínas tienen colores verdes, azules o morados (A. Meléndez-Martínez 2016, Britton 1995, Meléndez-Martínez, Britton, y otros 2007).

1.2.4. Factores que afectan al contenido en carotenoides

Los factores que afectan al contenido de carotenoides de un producto son numerosos y de distinta naturaleza. Así el contenido en productos vegetales depende del estado de madurez, del órgano o parte del órgano que se considere y puede verse afectado por factores genéticos, climáticos y agronómicos, así como por tratamientos industriales y culinarios y las condiciones de almacenamiento y comercialización (Rodriguez-Amaya 2001, Rodriguez-Amaya, Kimura, y otros 2008, Rodriguez-Amaya 1997, Miglio, y otros 2008, Poiroux-Gonord, y otros 2010).

En este sentido, el efecto de condiciones ambientales y agronómicas como la cantidad de radiación disponible (Li, y otros 2013), el pH del suelo, la salinidad, la disponibilidad de nitrógeno (Sánchez-Rodríguez, Wiheimi, y otros 2011), el conjunto de las condiciones edafoclimáticas de cultivo (Eichholz, y otros 2014) y estreses de distinto tipo (temperatura, luz, radiación o falta de agua) (Poiroux-Gonord, y otros 2010, Atkinson, y otros 2011) en el contenido de carotenoides aparece reflejado en la literatura.

1.3. Compuestos fenólicos

Entre los compuestos bioactivos que presentan características funcionales y que han generado gran interés se encuentran los compuestos fenólicos, que al igual que los carotenoides son productos del metabolismo secundario de la planta, tanto en condiciones normales como de estrés, tales como temperaturas extremas, radiación UV, polución o por la actividad de parásitos (Naczk y Shahidi 2004, Naczk y Shahidi 2006).

1.3.1. Estructura de los compuestos fenólicos

Químicamente, los compuestos fenólicos tienen al menos un anillo aromático hidroxilado (Figura 1.3) el cual puede incluir, por ejemplo, grupos funcionales como ésteres, metil ésteres y glicósidos (Martínez-Valverde, Periago y Ros 2000, Duthie y Crozier 2000). Así, se han identificado más de ocho mil compuestos que presentan estructuras variadas y, por tanto, su clasificación resulta compleja (Dey y Harborne 1989).

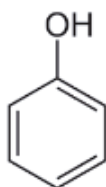


Figura 1. 3. Estructura de la unidad básica de los compuestos fenólicos.

Los compuestos fenólicos según la solubilidad se clasifican en extraíbles (FE) y no extraíbles (FNE). Los FE se caracterizan por presentar solubilidad en disolventes acuosos-orgánicos; así, en este grupo se encuentran los ácidos fenólicos, flavonoides, estilbenos, proantocianidinas extraíbles y taninos hidrolizados tal como se muestra en la Tabla 1.2. Por otra parte, los compuestos fenólicos no extraíbles son los compuestos que se quedan retenidos junto a la matriz tras la extracción y en este grupo se encuentran las proantocianidinas no extraíbles o taninos condensados y compuestos fenólicos hidrolizables (Tabla 1.3) (Arranz 2010).

Los FE son compuestos con bajo peso molecular, mientras que los FNE presentan pesos moleculares elevados o son moléculas pequeñas que se encuentran unidas a la matriz (Sánchez-Rodríguez, Ruiz, y otros 2012). Es importante considerar que los compuestos fenólicos no están uniformemente distribuidos en la planta; así, los FE se encuentran ubicados en las vacuolas de las células vegetales y los FNE en las paredes celulares (Naczk y Shahidi 2004).

Los flavonoides se encuentran extensamente distribuidos en la mayoría de las plantas, de forma que se consideran la familia más importante de compuestos fenólicos (Stinco 2012). Químicamente, son compuestos de bajo peso molecular, formados por dos anillos de fenilos (A y

C) y ligados a través de un anillo de pirano (heterocíclico) (C), tal como se muestra en la Figura 1.4 (Martínez-Flórez, y otros 2002, Stinco 2012).

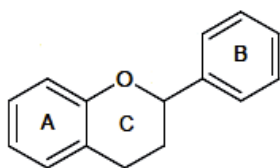


Figura 1. 4. Estructura básica de los flavonoides.

Tabla 1. 2. Compuestos fenólicos extraíbles (FE) (Arranz 2010, Shahidi y Ambigaipalan 2015)

Grupo de compuesto fenólico	Estructura química	Ejemplo de fuente	Compuestos
ÁCIDOS FENÓLICOS	ACIDO BENZOICOS 	 <i>Salix sp.</i>	Ácido <i>p</i> -hidroxibenzoico Ácido gálico Ácido protocatéquico Ácido vanílico Ácido siríngico Ácido elágico Ácido tánico Ácido gentísico Ácido <i>p</i> -cumárico
	ÁCIDO HIDROXICINÁMICOS 	 <i>Eucalyptus globulus</i>	Ácido clorogénico Ácido cafeico Ácido ferúlico Ácido sinápico Ácido <i>trans</i> -cinámico
FLAVONOIDES	FLAVONOLES 	 <i>Fragaria</i>	Rutina Quercetina Miricetina Kaempferol Glicósidos de quercetina Isoramnetin
	FLAVONAS 	 <i>Apium graveolens</i>	Apigenina Crisina Luteolín Rutín
	FLAVANOLES (Catequinas) 	 <i>Camelia sinensis</i>	Catequina Epicatequina Galocatequina Epicatequin galato Epigalocatequin galato Galocatequin galato
	ISOFLAVONAS 	 <i>Glycine max L.</i>	Daicina Genistina Daiceína Genisteína

Tabla 1.2. Compuestos fenólicos extraíbles (FE) (Arranz 2010, Shahidi y Ambigaipalan 2015). Continuación...

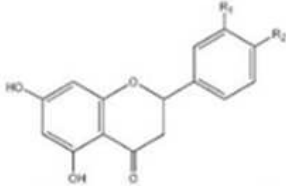

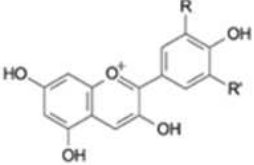

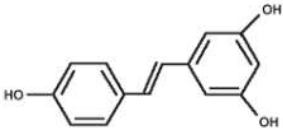

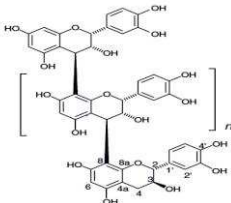


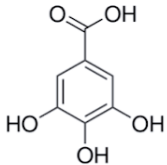

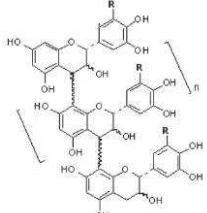

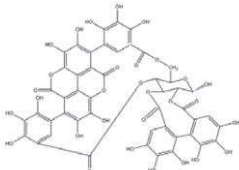

Grupo de compuesto fenólico	Estructura química	Ejemplo de fuente	Compuestos relacionados
FLAVONOIDES	<p>FLAVANONAS</p> 	 <p><i>Citrus x paradisi</i></p>	Eriodictiol Morin Naringenina Naringina Hesperetina Hesperidina Floridicina
	<p>ANTOCIANIDINAS</p> 	 <p><i>Delphinium</i></p>	Malvidina Cianidina Delfinidina Petunidina Glicósidos de antocianidinas
ESTILVENOS		 <p><i>Vitis vinifera</i></p>	Resveratrol
PROANTOCIANIDINAS EXTRAÍBLES		 	Dímeros A, B Oligómeros (GP 3-10) Polímeros
TANINOS HIDROLIZADOS		 <p><i>Rubus sp.</i></p>	Oligómeros de ácidos benzoicos y ácidos hidroxicinámicos

Tabla 1. 3. Compuestos fenólicos no extraíbles (FNE). (Arranz 2010)

Grupo de compuesto fenólico	Estructura química	Ejemplo de fuente	Compuestos relacionados
PROANTOCIANIDINAS NO EXTRAÍBLES O TANINOS CONDENSADOS		 <p><i>Acacia catechu</i></p>	Polímeros de catequina y epicatequina
FENOLES HIDROLIZABLES		 <p><i>Quercus robur</i></p>	Galotaninos Elagitaninos Ácidos benzoicos Ácidos hidroxicinámicos

1.3.2. Biosíntesis de los compuestos fenólicos

Los compuestos fenólicos se pueden sintetizar mediante dos vías: la ruta del ácido shikímico y la ruta del ácido malónico. Esta última es importante en bacterias y hongos, siendo favorecida por la acción de la acetil-coenzima A (acetil-CoA) (Taiz y Zeiger 2006). Por otra parte, la ruta del ácido shikímico, tal como se muestra en la Figura 1.5, se ve favorecida por la acción de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) y es la principal ruta en la generación de fenoles en plantas (Naczki y Shahidi 2004).

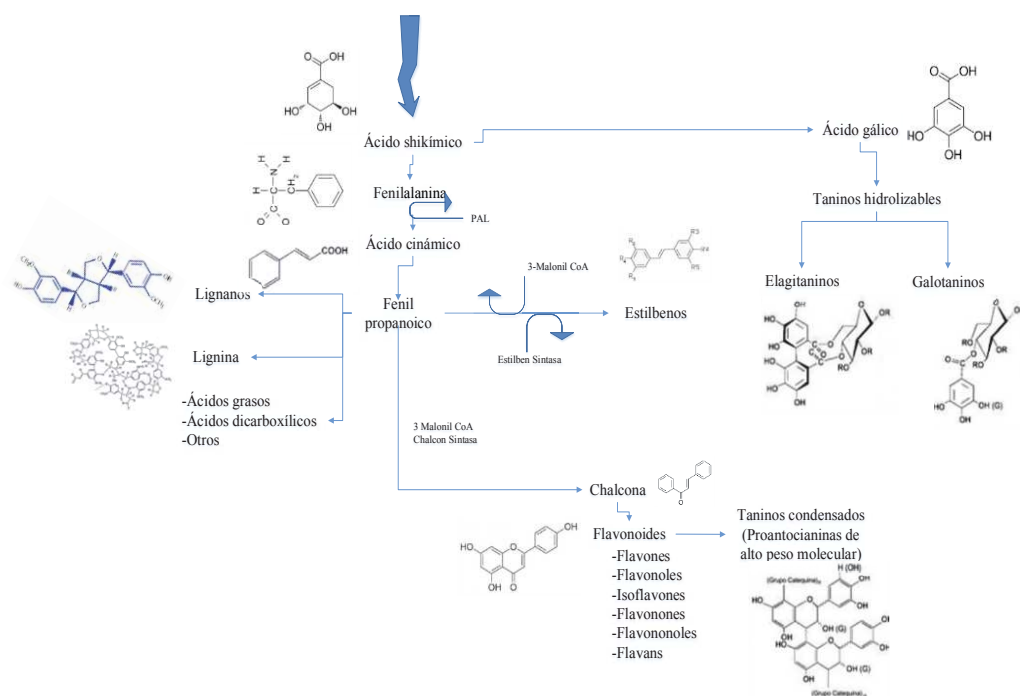


Figura 1. 5. Ruta del ácido shikímico para la producción de flavonoides. (Naczki y Shahidi 2004)

Los compuestos fenólicos están ampliamente distribuidos en el reino vegetal. Su función principal en las plantas es brindar protección contra la luz UV, regular el transporte de hormonas y atraer a polinizadores y dispersores de semillas, además de proporcionar protección al ataque de patógenos o herbívoros (Minutolo, y otros 2013, Olivoto, y otros 2017). Así, los colores amarillos, naranjas, rojos y azules de algunas flores (por ejemplo *Petunia* Juss., *Rosa* L., y *Verbena* L. son fuentes de antocianos) y frutos (por ejemplo *Fragaria* L., *Vitis vinífera* L., *Zea mays* negro son fuentes de antocianos) y *Vaccinium myrtillus* L. fuente de flavonoides y antocianinas) se deben a estos compuestos (Shahidi y Naczki 2004, Tomás-Barberán y Espin 2001, Martínez-Flórez, y otros 2002, Cejudo-Bastante 2017), que también contribuyen a otras características organolépticas de los productos vegetales, como sabores (normalmente amargos y astringentes) y olores, debido a su presencia en aceites esenciales (Cheynier 2005). Además de en plantas (frutas, semillas y flores), los compuestos fenólicos se pueden encontrar en productos

como vino, cerveza, té verde, té negro y soja, los cuales se consumen directamente de forma habitual dentro de la dieta y algunos también como componentes de suplementos nutricionales (Infante 1997, Charalambous y Bruckner 1997, Martínez-Flórez, y otros 2002, Shahidi y Naczki 2004).

1.3.3. Factores que afectan al contenido en compuestos fenólicos

El contenido en compuestos fenólicos se encuentra muy influenciado por la variedad cultivada. Por ejemplo, se investigó el contenido de flavonoles de veinte variedades de tomate (*S. lycopersicum*) en relación a la variedad, tamaño, estación y ciudad de origen y se llegó a la conclusión que la variedad influyó en gran medida (Stewart, y otros 2000). La fertilización y el régimen hídrico también influyen en la acumulación de compuestos fenólicos. El estrés hídrico puede producir un aumento en la concentración de quercetina, se han descrito incrementos en variedades de tomate cherry (PC01) en las que una reducción del riego de un 92% produjo un aumento de más de un 500% en el contenido en quercetina (Pernice, y otros 2010). La limitación de nitrógeno en el suelo también puede provocar un aumento en la concentración de compuestos fenólicos (Lea, y otros 2007, Olsen, y otros 2009). Por ejemplo, se ha descrito un aumento del contenido de antocianinas y flavonoles cuando se retiró el nitrógeno del medio de crecimiento (Lea, y otros 2007).

La luz es otro factor importante que afecta al contenido fenólico; la longitud de onda de la radiación y el fotoperiodo provocan variaciones en la acumulación de flavonoides (Olsen, y otros 2009). La variación estacional y las condiciones edafoclimáticas (lugar de cultivo, tipo de cultivo (aire libre o invernadero), las prácticas culturales convencionales o la producción orgánica, el estado de madurez y las condiciones de almacenamiento también ocasionan variaciones en el contenido fenólico, si bien el efecto de los cambios de temperatura sobre el contenido en estos compuestos no está definido claramente (Dumas, y otros 2003).

En episodios de estrés biológico y ambiental los compuestos fenólicos cumplen una función reguladora. La respuesta al estrés provoca un incremento de su biosíntesis, al parecer especialmente en el caso del ácido clorogénico. Sin embargo, se ha descrito que tras episodios de estrés se produce la oxidación de compuestos fenólicos y, por tanto, una disminución de su contenido (Rhodes y Wooltorton 1978, Lule y Xia 2005).

1.4. Tomate

1.4.1. Importancia del cultivo

El tomate (*Solanum lycopersicum* L.) es uno de los cultivos más importantes en el mundo. Es originario de América del Sur, de las costas y Andes del Perú, Ecuador y norte de Chile, de donde se expandió a toda América, posteriormente a Europa y luego a todo el mundo hace varios siglos. Datos históricos sugieren que el conquistador español Cortés introdujo en Europa una variedad de tomate pequeño de color amarillo y de ahí posiblemente su nombre en Italia de *Pomo d'oro* o *Manzana Dorada* (Rosales 2008, Bergounoux 2014). Debido a las primeras descripciones relacionadas con la toxicidad de la familia *Solanum*, en Europa el tomate era usado con propósitos ornamentales y es a partir del siglo XX cuando se empieza a emplearse como alimento. El aprovechamiento para consumo humano provocó la transformación del tomate silvestre hasta variedades productivas a nivel comercial y posteriormente a la diversificación varietal actual (Vergani 2002).

Por su importancia, forma parte de los programas de mejora de las grandes multinacionales cuyos objetivos son mejorar las características genéticas de nuevos cultivares para que sean atractivos al consumidor, proporcionen altos rendimientos y generen beneficio para los agricultores y la industria (Vergani 2002).

En los últimos años, según datos de la FAO, el tomate ha alcanzado una mayor importancia alimenticia, ocupando en el 2014 el décimo primer lugar en el listado de especies más producidas a nivel mundial, junto a trigo (*Triticum*), maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*), soya (*Glycine max*), patatas (*Solanum tuberosum*), pepinos, pepinillos (*Cucumis sativus*), yuca (*Manihot esculenta*) y coles (*Brassica oleracea*) (FAOSTAT 2016).

La producción mundial del tomate viene aumentando en los últimos años y su comercio internacional alcanza millones de toneladas (Figura 1.6). Según datos reportados por FAOSTAT (Tabla 1.4) China es uno de los primeros productores, seguido de Estados Unidos, India, Turquía, Egipto e Italia. En la actualidad, Asia (China) y América (Estados Unidos) son los principales continentes productores de tomate mientras que hace veinte años lo fueron América y Europa (Bergounoux 2014).

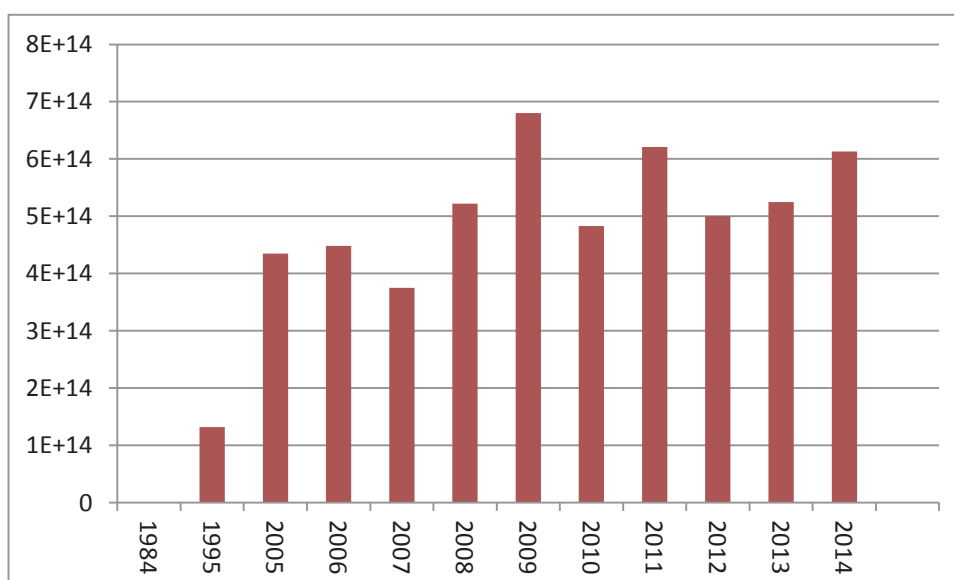


Figura 1. 6. Producción mundial de tomate (ton) según la FAO (*Solanum lycopersicum* L.).

Tabla 1. 4. Producción, área y rendimiento mundial del cultivo de tomate en el año 2014 según la FAO.

Localización	Producción *10 ⁵ (ton)	Área *10 ³ (ha)	Rendimiento *10 ⁴ (hg.ha ⁻¹)
Producción por continente			
Asia	6 000 000 000	4200	1600
América	150 000 000	330	720
Europa	200	390	5500
África	110	1000	1000
Oceanía	3	4	290
TOTAL	6 100 000 000	6000	9600
Países más productores			
China	5 300 000 000	1000	53
India	19 000 000	882	21
Estados Unidos	15 000 000	163	89
Turquía	12 000	319	37
Egipto	83	214	39
Irán	60	159	38
Italia	56	103	55

En Europa, Italia y España han ocupado el primero y segundo lugar en producción de tomate durante los diez últimos años (FAOSTAT 2016). A nivel mundial, España ha ocupado las posiciones octava y décima de un total de 177 países. En los años 2012 y 2013, según datos del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAGRAMA), Andalucía lideró la producción de tomate con 1656 miles de toneladas, seguido de Extremadura con 1082, Murcia con 299 e Islas Canarias con 124. En Andalucía la producción mayoritaria de tomate se

ubica en las provincias de Almería con 963 miles de toneladas, Granada con 311 y Sevilla con 249 (MAGRAMA 2013).

1.4.2. Valor nutricional

Con respecto a las características nutricionales, el tomate se caracteriza por ser una fuente de fibra, proteína, carbohidratos, potasio, fósforo, calcio, magnesio, azúcares, ácidos, vitamina C, vitamina E, tiamina, riboflavina, niacina, ácido pantoténico y vitamina B6 (Ripoll, y otros 2016, Perveen, y otros 2015). Además, es una fuente importante de compuestos antioxidantes como carotenoides y compuestos fenólicos, con especial interés en el licopeno por ser el carotenoide principal encontrado en el tomate rojo (Lahoz, y otros 2016, Perveen, y otros 2015).

A su vez, varias investigaciones demuestran que el 85 % del licopeno presente en la dieta humana proviene del consumo de tomate fresco o procesado, de ahí su importancia. En la actualidad es consumido en forma de puré, pasta, sopa, jugo, salsa, polvo, concentrado y en fresco (Walfisch, y otros 2003, Perveen, y otros 2015).

1.4.3. Agronomía del cultivo

Desde un punto de vista botánico, el tomate (*S. lycopersicum* L.) es una fruta y no un vegetal (Perveen, y otros 2015). Forma parte de la familia *Solanaceae*, la cual contiene más de tres mil especies que incluyen patatas, berenjenas, petunias y pimientos; esta familia se caracteriza por contener solanina que es un alcaloide que puede resultar tóxico en altas cantidades.

El tomate se caracteriza por ser una especie capaz de desarrollarse en diferentes condiciones edafoclimáticas, pero es exigente en temperatura y radiación (Bergougnoux 2014). Las plantas de tomate pueden ser de crecimiento determinado (habitualmente empleadas para procesamiento industrial) o indeterminado (empleadas en la mayoría de los casos para consumo en fresco). Y su crecimiento puede tener alrededor de 1 m de longitud en variedades precoces y hasta 3 m en variedades tardías. En la actualidad los cultivares más vigorosos, especialmente adaptados para el cultivo bajo abrigo en ciclos largos, pueden alcanzar los 10 m de longitud.

En las variedades de crecimiento indeterminado, en las primeras fases del cultivo, las plantas son erguidas, mientras que pronto sus tallos no serán suficientemente rígidos para

sostener hojas, ramas y frutos, por lo que existe la necesidad de colocar estructuras de sostén como tutores o espaldares que ayuden a soportar el peso de la planta (Rosales 2008).

El ciclo de cultivo del tomate, que engloba desde la siembra hasta que inicia la recolección, cambia dependiendo de las condiciones climáticas y especialmente con la variedad (Figura 1.7). Los ciclos cortos suelen estar entre 125 y 140 días, mientras los ciclos medios, entre 140 a 160 días y los ciclos largos, entre 160 a 170 días (Serrano 2014).

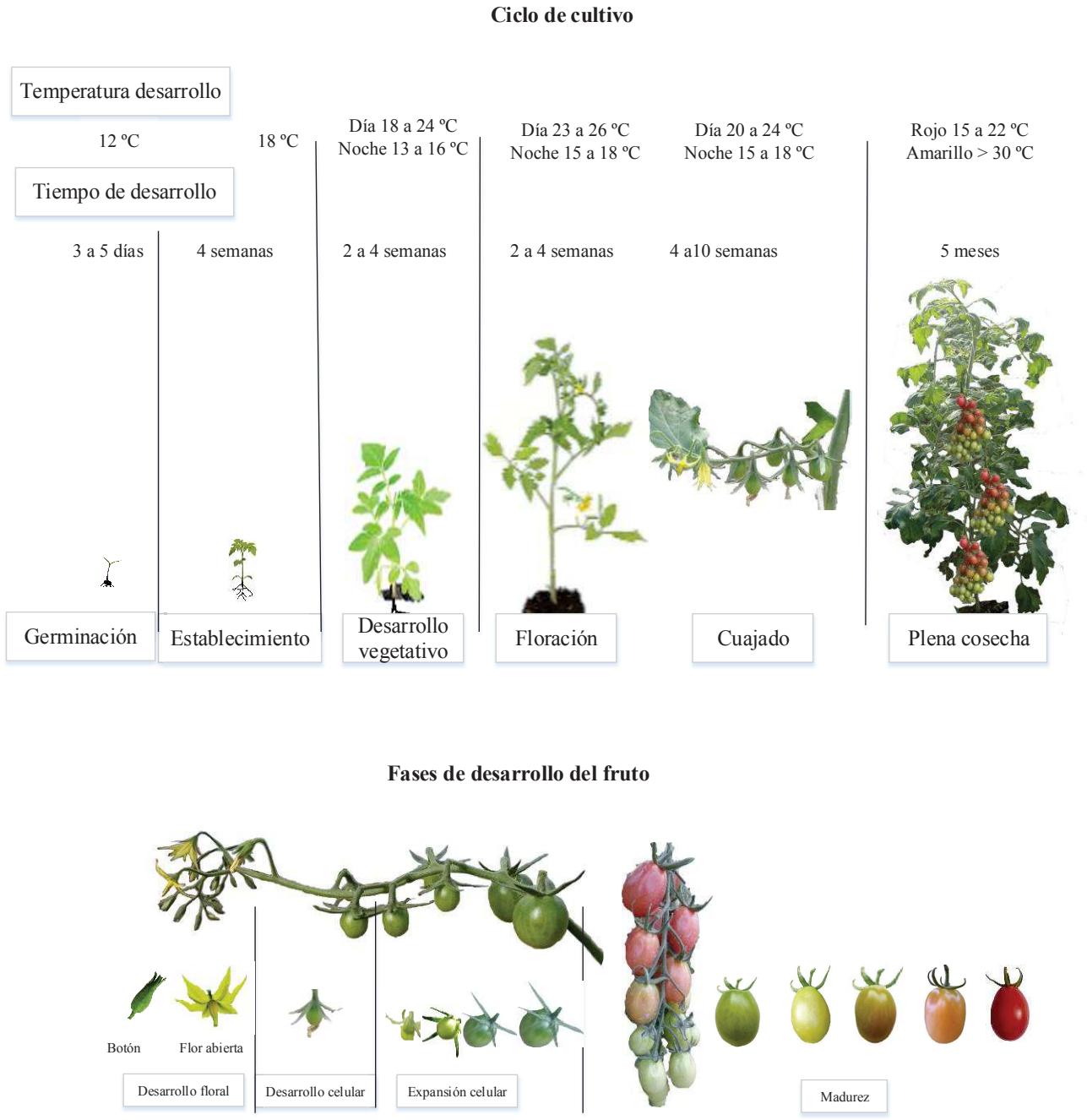


Figura 1. 7. Ciclo de cultivo del tomate y fases de desarrollo del fruto (*Solanum lycopersicum* L.).

La planta de tomate tiene un sistema radicular pivotante, denso y ramificado en los primeros 30 cm y puede alcanzar los 60 cm de profundidad; posee hojas compuestas, alternas y distribuidas a lo largo del tallo con longitudes entre 10 a 25 cm y con folíolos dentados. Las flores de color amarillo son hermafroditas de 1 a 2 cm de largo y se agrupan en inflorescencias formando un racimo. La apertura de las flores y la formación de los frutos no ocurren de forma simultánea, se produce de forma gradual. El fruto es una baya de forma variante (Figura 1.8) que tiene numerosas semillas envueltas en una masa gelatinosa conocida como placenta y está formada por lóculos que cambian dependiendo de la variedad; así, las variedades cherry poseen dos lóculos y las variedades grandes, doce (Rosales 2008, Serrano 2014).

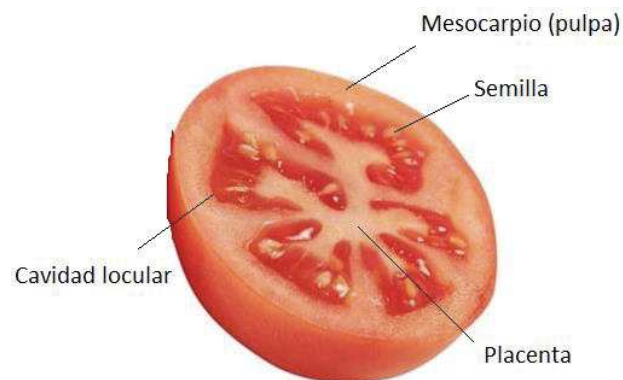


Figura 1. 8. Estructura del fruto de tomate 'Palamós'.

El tamaño del fruto depende del número de células que se generen en la etapa de desarrollo celular y el tamaño final depende de la duración de la etapa de expansión celular (Figura 1.7) (Bergougnoux 2014). Los tomates cherry generalmente se han utilizado como decoración en diferentes platos, aunque en la actualidad están cada vez más presentes en los mercados y su consumo se está extendiendo por sus cualidades organolépticas y variadas formas y colores. Los tomates grandes son usados principalmente para consumo en fresco, e históricamente son las variedades más valoradas por los consumidores y las más cultivadas en nuestro entorno. Para el procesamiento a nivel industrial de tomate en conserva y producción de pasta, debido a su alto rendimiento y a la posibilidad de mecanizar el cultivo, se emplean cultivares de crecimiento determinado, con frutos de tipo pera.

En la actualidad numerosos programas de mejora han generado una gran variedad de híbridos con diferentes tamaños y colores, y con características diferentes para resistir a enfermedades, altas temperaturas, procesos de sequía o mejorar sus características nutricionales (Bergougnoux 2014). La mayor parte de variedades son de color rojo debido a la presencia del

carotenoide licopeno; sin embargo, existen variedades comerciales de color amarillo, naranja y verde gracias a la diversidad genética de la especie (Rosales 2008). Por otra parte, los tomates también presentan diversidad de formas, siendo las más comunes las esféricas, ovaladas, en forma de pera y cilíndricas (Figura 1.9).

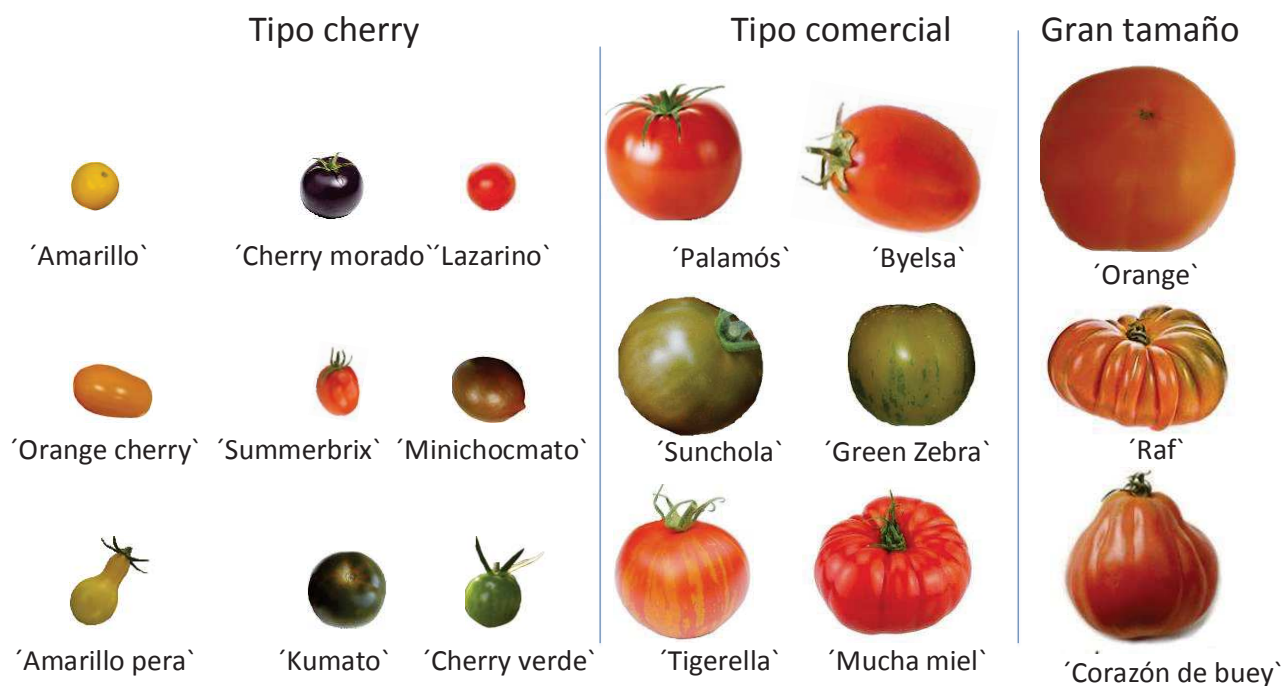


Figura 1. 9. Tomates de diferente tamaño y color, clasificadas según tres grandes tipologías: cherrys, comerciales y de gran tamaño.

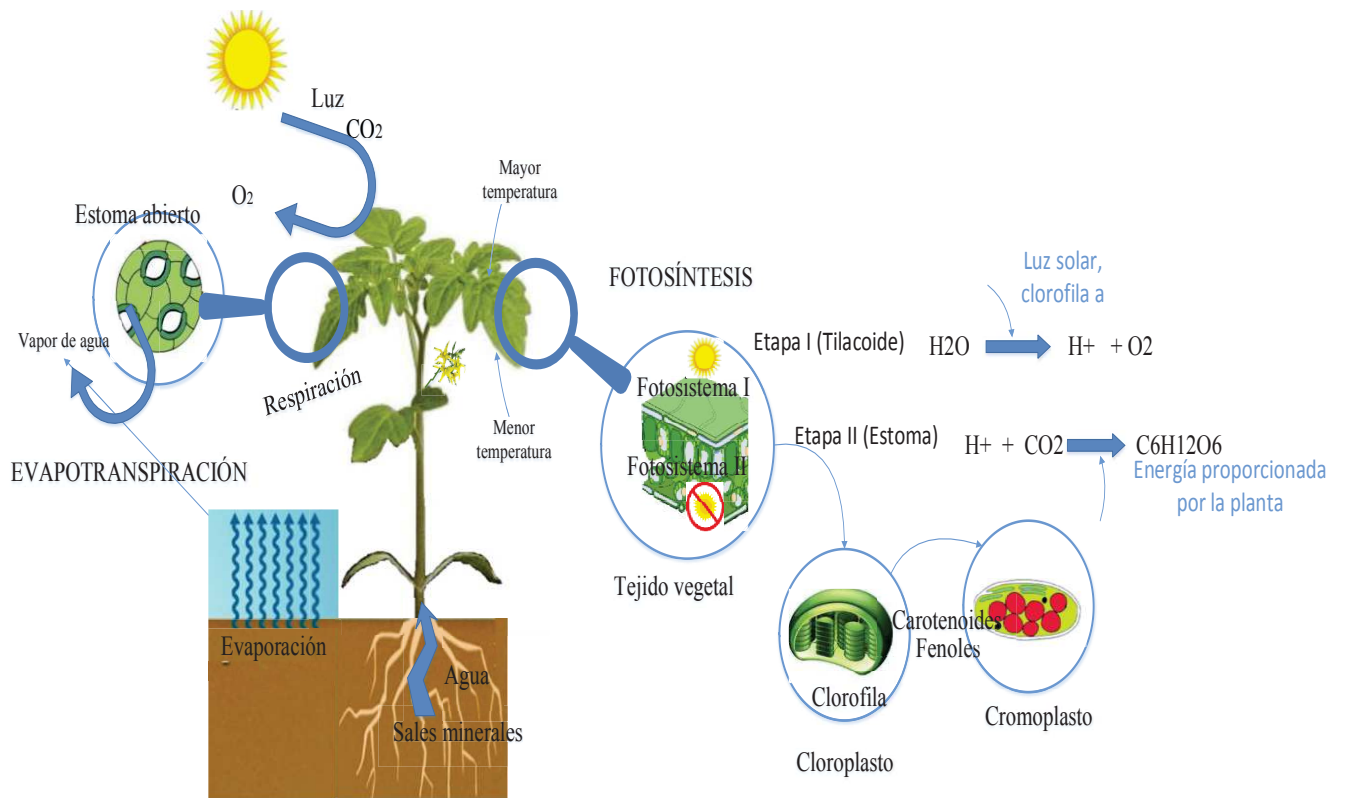
1.4.3.1. Principales factores de cultivo

El cultivo del tomate durante el desarrollo de sus diferentes fases fenológicas (germinación, desarrollo vegetativo, floración, crecimiento y maduración del fruto) se ve afectado por los principales factores ambientales y agronómicos en el que se desarrolle. La temperatura es fundamental para el crecimiento del tomate y la productividad de las cosechas, pero estas también se ven influenciadas por los niveles de radiación, CO₂, humedad del aire, agua, macronutrientes (nitrógeno, potasio, azufre, calcio y magnesio) y micronutrientes (hierro, boro, manganeso, cobre, molibdeno, zinc y cloro). De modo que la localización geográfica del cultivo, la estación del año y si se desarrolla al aire libre o bajo invernadero determinarán el ciclo de cultivo, los rendimientos y la calidad del producto obtenido (Dannehl, Josuttis y Huyskens-Keil 2014). Por tanto, es de vital importancia considerar dichas particularidades al momento de llevar a cabo el cultivo del tomate.

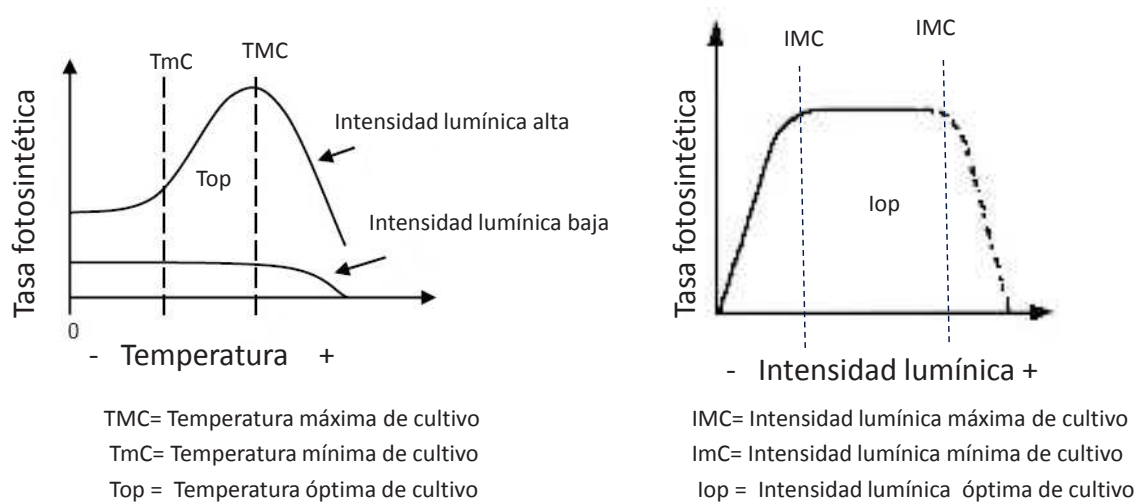
1.4.3.1.1. Temperatura ambiental

El tomate se cultiva en una amplia variedad de condiciones climáticas tanto para consumo en fresco como para procesado industrial. La temperatura es tal vez el factor más importante en el desarrollo de la planta a través de sus etapas fenológicas. Para que germinen las semillas de tomate se requieren temperaturas de suelo de 12 °C, apareciendo el cotiledón transcurridos entre tres y cinco días (Figura 1.7) (Bergougnoux 2014). Una vez que aparece la hoja verdadera, cuando la planta mide aproximadamente 7 cm y ha desarrollado entre tres y cuatro hojas, se puede trasplantar. La temperatura óptima de crecimiento y desarrollo de la planta de tomate fluctúa entre 20 a 24 °C, la temperatura mínima es de 12 °C, y por encima de 36 °C la fotosíntesis se ve afectada, se detiene el crecimiento y la planta no se desarrolla adecuadamente (Rosales 2008). Estas temperaturas afectan especialmente a los frutos que pueden tomar una coloración amarilla. Las temperaturas inferiores a 4 °C provocan la muerte de la planta (Villalba 2007).

El desarrollo de la planta conlleva un conjunto de procesos químicos y biológicos dependientes de las condiciones edafoclimáticas del cultivo. Factores como la radiación, temperatura, humedad relativa del aire, concentración de CO₂, disponibilidad de nutrientes y agua en el suelo, forman un conjunto esencial para la optimización de la fotosíntesis y el óptimo crecimiento y desarrollo vegetal (Figura 1.10-A). En tomate la temperatura óptima varía entre 20 y 25 °C (Camacho, 2003), en estas condiciones la tasa de fotosíntesis es máxima y se alcanzan los niveles óptimos de crecimiento, es lo que también se denomina temperatura máxima de crecimiento (TMC) (Figura 1.10-B). Las plantas expuestas a temperaturas muy elevadas (sobre los 36 °C en el caso del tomate) con un desarrollo vegetativo excesivo pueden provocar frutos pequeños debido a un aumento en las tasas de respiración. La planta es capaz de enfriarse por evaporación y calentarse por irradiación, por tanto, cuando existe mayor temperatura la planta se calienta demasiado, provocando un incremento de la transpiración para lograr enfriarse. Este efecto es controlado por los estomas que se cierran o abren dependiendo del proceso requerido; así, los estomas se cierran por la noche o durante periodos de baja humedad relativa para prevenir la pérdida de agua por parte de la planta. Por otra parte, el ritmo de la fotosíntesis aumenta y disminuye conjuntamente con la temperatura ambiental, este proceso es independiente de la cantidad de luz disponible. Si hay suficiente CO₂ el índice de fotosíntesis aumentará al ritmo de la temperatura, mientras que si existe equilibrio entre luz y temperatura el factor limitante será el CO₂ ambiental (CANNA 2016).



A) Interacción entre los factores de desarrollo de la planta



B) Tasa fotosintética vs. Temperatura e intensidad lumínica

Figura 1. 10. Factores ambientales que interaccionan en el crecimiento de la planta de tomate.

1.4.3.1.2. Humedad ambiental

El cultivo de tomate requiere entre el 60 y el 80 % de humedad ambiental en el cultivo bajo abrigo (Camacho, 2003). Las humedades superiores a las recomendadas provocan reducción de la transpiración y asimilación de nutrientes dificultando la floración y fecundación de flores.

Humedades inferiores a las recomendadas, reducen la capacidad fotosintética de las plantas debido al cierre de estomas, provocando la caída de flores y frutos recién cuajados (Serrano 2014).

La humedad relativa del ambiente depende de la temperatura y de la velocidad del viento; por tanto, las altas temperaturas suponen incrementos de la transpiración debido a que las moléculas de agua se mueven a mayor velocidad, ocasionando un incremento de las funciones metabólicas de la planta (fotosíntesis) con la consecuente pérdida de agua en forma de vapor a través de los estomas y el requerimiento de mayor absorción de nutrientes. Así, el índice de transpiración de la planta depende de la variedad y de las condiciones ambientales como la radiación, temperatura, CO₂ en la atmósfera y humedad relativa (Steidle, Zolnier y Waldir 2010). Además, el proceso de transpiración está estrechamente ligado al déficit de presión de vapor de agua (DPV), que es la diferencia entre la presión del vapor a saturación a la temperatura promedio del aire y la presión del vapor a la temperatura de rocío (Allen, y otros 2006).

El cultivo del tomate requiere un DPV promedio de 0.85 KPa, con un DPV mínimo de 0.3 y máximo de 1.0 KPa (Ramos-Fernández, y otros 2009). Un DPV elevado provoca estrés en la planta debido al incremento de la transpiración, mientras que con un DPV cercano a cero las plantas dejan de transpirar debido a que el aire ambiental está saturado de agua y no existe un gradiente de concentración (Allen, y otros 2006). Sin embargo, un DPV muy elevado genera el cierre de los estomas como respuesta protectora por parte de la planta para evitar la pérdida excesiva de agua disminuyendo así la fotosíntesis. Si esto ocurre por periodos cortos la planta no sufre ningún daño; sin embargo, si el DPV permanece en estos niveles por un periodo largo, la planta no será capaz de recuperarse durante la noche (disminución de la temperatura) y se producirá necrosis foliar de hojas y pétalos.

Por otra parte, en invernaderos, si no existe movimiento del aire que rodea a la planta, este se satura de vapor de agua disminuyendo el proceso de evaporación; al igual que si el aire del ambiente está saturado, provoca la condensación de agua sobre la planta generando un medio propicio para el desarrollo de patógenos. Una alternativa para controlar el DPV dentro del invernadero es influir sobre la temperatura y humedad relativa del ambiente. Así, por ejemplo, con DPV altos se puede incrementar la humedad relativa con mayores volúmenes de riego o disminuir la temperatura; con DPV bajas se puede incrementar la temperatura o descender la humedad relativa con ventiladores que incrementen el movimiento del aire (Allen, y otros 2006).

Además, el DPV sigue aproximadamente el mismo patrón que los niveles de radiación ambiental: se elevan en la mañana cuando empieza a brillar el sol alcanzando un máximo a primeras horas de la tarde y descendiendo al atardecer.

1.4.3.1.3. Radiación y luminosidad ambiental

El cultivo del tomate presenta altas exigencias de luminosidad en el desarrollo vegetativo y la floración. Bajas luminosidades provocan ahilamiento (tallos alargados y débiles) y, además, retardan la apertura de las flores, la fecundación y la maduración de los frutos (Serrano 2014). La intensidad, duración y calidad de la luz afectan fuertemente al crecimiento de la planta (Pearce, Grange y Hardwick 2015) y, en consecuencia, a la formación del ácido ascórbico, carotenoides y compuestos fenólicos (kaempferol y quercetina). Estos compuestos aumentan a medida que lo hace la intensidad lumínica (Rosales 2008).

La combinación entre día y noche es conocida como fotoperiodo. La planta de tomate se desarrolla de manera óptima con la combinación de la luz diurna y oscuridad nocturna, empeorando cuando se cultiva bajo luz constante (M. Dorais 2007). El fotoperiodo afecta tanto a fases determinantes del desarrollo del cultivo: floración y fructificación, como al crecimiento del tomate (Serrano 2014).

Por otra parte, la superficie terrestre recibe radiación del sol dependiendo de la latitud en la que se ubica el cultivo, la época del año y la hora del día. Así, por ejemplo, la radiación máxima en el mes de junio a 40° de latitud norte es de 42 MJ m⁻² día⁻¹ y en el mes de enero, de 14 MJ m⁻² día⁻¹ (Allen, y otros 2006).

La radiación afecta fuertemente al crecimiento de la planta y, en consecuencia, a la absorción de nutrientes y formación de compuestos funcionales. La radiación solar excesiva incluso por pocas horas puede provocar daño fotooxidativo y reducir la síntesis de licopeno, este efecto principalmente se puede observar en los meses de verano en cultivos al aire libre (Prohens, y otros 2004). La Altitud también ha mostrado tener un efecto significativo en el contenido de carotenoides, estudios realizados en *Pinus canariensis* cultivado a 550, 850, 1500 y 1950 m de altitud mostraron un aumento del contenido de carotenoides (Vega y Romero 1999). Esto se debe a que en dichas regiones coinciden temperaturas bajas y alta cantidad de luz visible y UV, provocando la alteración de la fotosíntesis. La planta debe absorber el exceso de luz para proteger a las células de dicho estrés (M. Dorais 2007).

1.4.3.1.4. Integral térmica

Como acabamos de poner de manifiesto, el crecimiento de la planta se ve ampliamente afectado por la temperatura, por tanto, la integral térmica (IT) es uno de los parámetros que relaciona dicho efecto. La IT es la suma de las temperaturas medias diarias (promedio de la

temperatura máxima y mínima diaria) y se expresa como °C/día (°Cd). Las especies vegetativas requieren de cierta integral térmica para completar cada una de las etapas del ciclo fenológico (Figura 1.11). Así por ejemplo, el cultivo de tomate requiere entre 3000 a 4400 °Cd para llegar a la primera cosecha (Villalba 2007, Serrano 2014).

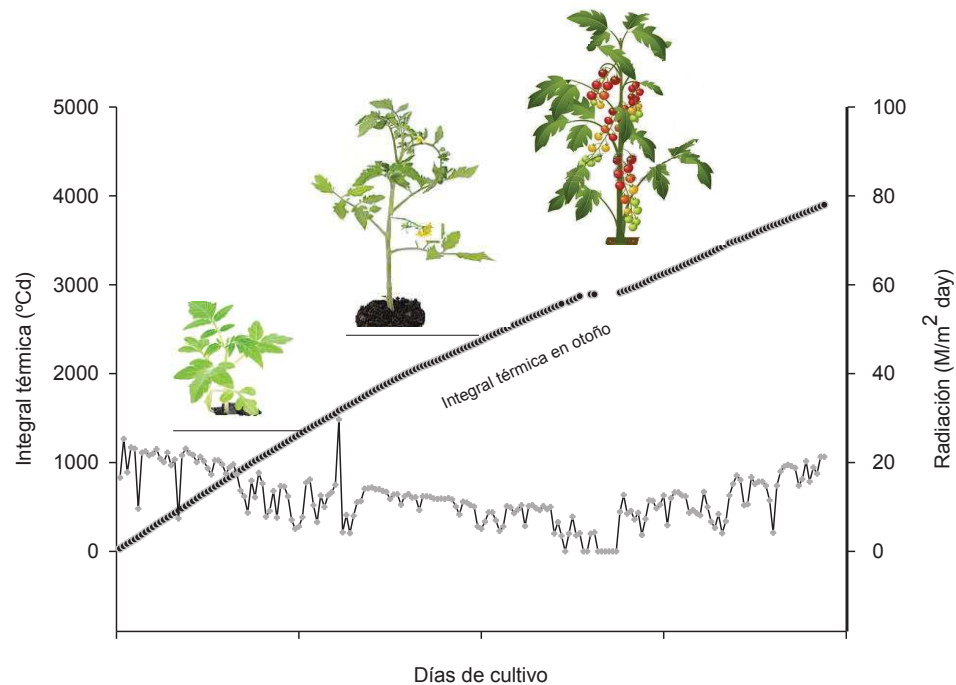


Figura 1. 11. Integral térmica y radiación en el cultivo del tomate. Ejemplo tomado del ensayo en tomates cherry ciclo otoño 2015 en este estudio.

El tomate es además una planta termoperiódica, requiere cierta diferencial entre las temperaturas diurnas y nocturnas. Las plantas desarrolladas con DIF positivo son más altas, elongan sus entrenudos sin que el follaje se vea afectado. Este efecto es especialmente importante en el proceso de división y expansión celular de la planta. Por lo tanto, la DIF genera mayores cambios en las etapas iniciales de crecimiento de la planta (semillero y desarrollo vegetativo) que en las etapas finales (fructificación) (Rawson y Gómez 2001, CANNA 2016).

1.4.3.1.5. Requerimiento de agua

La cantidad de riego que necesita cada cultivo depende de la especie, la variedad y las condiciones edafoclimáticas. En nuestras condiciones de cultivo habituales, ya sea al aire libre o bajo abrigo, coinciden en al menos una parte del cultivo, disponibilidades bajas de agua en el

suelo con altas demandas evapotraspirativas debido a temperaturas ambientales altas y baja humedad relativa del aire, lo que en muchas ocasiones puede suponer condiciones de estrés hídrico para la planta.

Puesto que el agua juega un papel importante dentro del desarrollo de la planta, cuando las precipitaciones no cubren las necesidades hídricas del cultivo, se hace necesario cubrir dichos requerimientos mediante la aplicación de riego, para lo cual se deben considerar el tipo de cultivo, la evapotranspiración que incluye la evaporación del agua del suelo y la transpiración de la planta, el contenido de agua del suelo y el estado hídrico de la planta para proporcionar a la planta cantidades adecuadas de agua sin afectar a su crecimiento (García 2008).

a) Evapotranspiración

Los nutrientes y el agua son absorbidos por la raíz, una parte importante se destina a la transpiración y una pequeña parte es retenida en los tejidos vegetales. Las temperaturas ambientales altas suponen mayor transpiración de la planta, esto ocurre porque las moléculas se mueven más de prisa. El agua evaporada depende de la temperatura de los tejidos a la que afectará de manera importante la radiación incidente y el DPV del aire. La densidad de estomas de los tejidos determina la capacidad de transpiración de cada órgano. De este modo, la temperatura en la parte alta de la planta es superior a la temperatura en la parte baja; la temperatura en el haz de la hoja es mayor que la del envés; la temperatura de las flores es mayor que la de las hojas y esta a su vez es mayor que la del fruto (similar a la temperatura ambiental). Dichas variaciones dan lugar a que la evaporación del agua sea diferente en cada parte de la planta (Minutolo, Amalfitano, Evidente, Frusciante, & Errico, 2013; Rugna, Ricco, Gurni, & Wagner, 2008).

Por otra parte, el agua del cultivo se pierde principalmente por evaporación del suelo en las primeras etapas de crecimiento de la planta y por transpiración, en las finales. La evapotranspiración (ET) es la combinación del proceso de evaporación del agua del suelo y la pérdida de agua por transpiración de la planta (Figura 1.10-A), la cual ocurre de forma simultánea y se expresa en mm por unidad de tiempo. La ET es el método más extendido en agricultura para estimar las necesidades de agua de la planta para su correcto desarrollo (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

La ET depende de las condiciones ambientales como la radiación, temperatura del aire, humedad relativa, velocidad del viento, variedad de cultivo, etapa de desarrollo de la planta,

salinidad y tipo de suelo, ausencia de control de plagas, densidad de cultivo y contenido de agua del suelo (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

La ET relaciona la evapotranspiración del cultivo de referencia (ET_o), la evapotranspiración de cultivo bajo condiciones estándar (ET_c) y la evapotranspiración del cultivo bajo condiciones no estándar (ET_{caj}). Todas las evapotranspiraciones anteriores dependen de las variables climáticas, la ET_c y ET_{caj} dependen del manejo del cultivo y la ET_{caj} depende del manejo del cultivo y las condiciones ambientales. Por otra parte, el cálculo de la ET_o relaciona las variables climáticas como radiación, temperatura, viento y humedad sumadas a las condiciones de un cultivo de referencia (pradera bien regada). La ET_c es el producto de la ET_o por un factor K_c (cultivo bien regado bajo condiciones agronómicas óptimas), el cual varía a medida que las fases fenológicas del cultivo avanzan; la ET_{caj} es el producto de la ET_o por el producto de dos factores K_s y K_c ajustado (estrés hídrico y ambiental) (Allen, Pereira, Raes, & Smith, 2006).

Por tanto, el cálculo de la ET incluye balances de masa y energía, transferencias de masa y energía, y la consideración de factores de cultivo y ambientales. Para poder estimar la ET FAO recomienda el método Penman-Monteith:

$$ET_o = \frac{0.408 \Delta (R_n - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + \gamma (1 + 0.34 u_2)}$$

Donde:

ET_o	evapotranspiración de referencia (mm /día)
R_n	radiación neta en la superficie del cultivo (MJ/ (m ² *día)
G	flujo del calor del suelo (MJ/ (m ² *día)
T	temperatura media del aire a 2 m de altura (°C)
u_2	velocidad del viento a 2 m de altura (m/s)
e_s	presión de vapor de saturación (kPa)
e_a	presión real de vapor (kPa)
$e_s - e_a$	déficit de presión de vapor (kPa)
Δ	pendiente de la curva de presión de vapor (kPa/ °C)
γ	constante psicrométrica (kPa/ °C)

La ET_o calculada bajo los parámetros del método Penman-Monteith permite comparar diversos periodos del año en diferentes regiones y con otros cultivos, relacionando datos climáticos a 2 m de altura sobre una superficie extensa y uniforme de pradera verde sin limitación de agua. Además, permite al agricultor un dato aproximado con el que puede realizar una programación de riego óptima para los diferentes cultivos.

Los coeficientes de cultivo (K_c) propuestos por FAO en su manual 56 son: 0,6 para la fase inicial (10% de cobertura de suelo), 1,15 para el 80% de la cobertura de suelo y 0,7-0,9 para la fase final del cultivo (Allen, y otros 2006).

b) Contenido de agua en el suelo

El contenido de agua en el suelo se puede determinar mediante diferentes técnicas, como por ejemplo, por gravimetría, sonda de neutrones, reflectometría en el dominio del tiempo (TDR), reflectometría en el dominio de las frecuencias (FDR), tensiómetro, psicrómetro de suelo, bloques de resistencia eléctrica y sensores de matriz granular.

Los sensores de dominio de las frecuencias (FDR) permiten una medida continua de la humedad del suelo, ayudan a establecer patrones de consumo de agua del cultivo y detectan cambios de temperatura. Estos pueden ser fijos o portátiles; los fijos permanecen en las parcelas experimentales, admiten varios sensores a diferentes profundidades del suelo y almacenan los datos en un datalogger según la programación establecida para luego ser procesados. Estos sensores pueden adaptarse a un sistema de riego automatizado ya que su medida es automatizable y generan una respuesta muy rápida (García 2008).

c) Estado hídrico de la planta

El estrés hídrico es cualquier limitación de agua que provoca cambios en el funcionamiento óptimo de la planta (Xiukang & Yingying, 2016). En episodios de estrés hídrico las funciones de la planta se desestabilizan, seguidas de una etapa de adaptación a dichas condiciones (esto ocasiona la mejora de la resistencia de la planta) y una vez que cesa dicha condición las funciones de la planta retornan al estado original. En caso de exceder los límites de tolerancia a la falta de agua se puede generar daño en la planta e incluso la muerte, provocando reducciones de rendimiento del cultivo de más del 70 % (Lichtenthaler y Burkart 1999).

El déficit hídrico altera los parámetros hídricos de la hoja y por ello el estado hídrico de la planta, puede ser cuantificado utilizando medidas de contenido hídrico relativo (RWC), potencial

hídrico (Ψ_h) y sus componentes (potencial osmótico, Ψ_o y potencial de turgencia, Ψ_p), además de apreciaciones visuales. La relación entre el contenido de agua de un tejido y su Ψ_h depende del tipo de tejido y de su estado hídrico. Así, el Ψ_h depende del balance de agua en el proceso de transpiración de la planta y puede ser cuantificado mediante la cámara de presión de Scholander (Figura 1.12). Este instrumento consiste en una cámara de acero presurizada con nitrógeno seco, en la cual se ubica la hoja o brote con el pecíolo dispuesto en la válvula de salida del gas que permite generar una especie de tapón; esta presurización permite provocar una salida paulatina del agua presente en la hoja a través del pecíolo cuando se igualan la presión de la cámara con la de la tensión a la que estaba el agua del xilema. La hoja a cuantificar debe estar completamente desarrollada y expandida. Para medir el potencial máximo la medida se realiza cuando la temperatura y la radiación del día han alcanzado su máximo valor (García 2008).

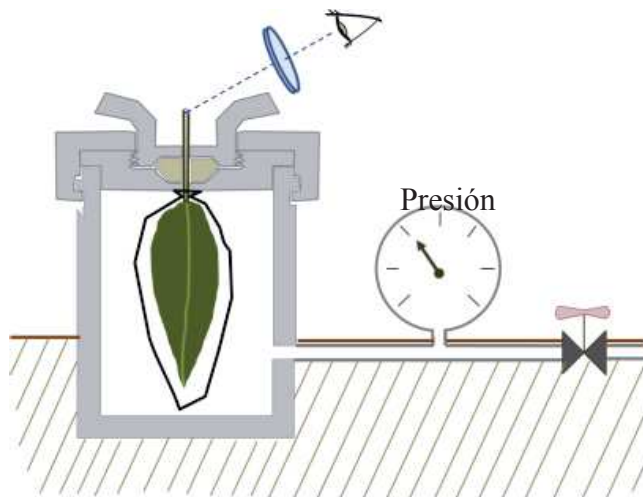


Figura 1. 12. Funcionamiento cámara de presión (Moriana, y otros 2017).

1.4.4. Riego deficitario controlado en tomate

El incremento notable de la población en los últimos años ha provocado un aumento en la agricultura siendo evidente un consumo creciente de agua y una mayor demanda de recursos hídricos (Giuliana, y otros 2011). Una parte importante de las zonas de cultivo hortícolas se han ubicado en zonas con climas cálidos debido a las óptimas condiciones de luz y altas temperaturas que favorecen a los cultivos, pero conllevan altos requerimientos hídricos (Patané, Tringali y Sortino 2011). Por otra parte, el cambio climático y las necesidades de consumo de agua dulce han provocado una disminución sustancial del agua disponible y, a su vez, la dificultad para disponer de ella en algunas regiones secas del mundo (Sepaskhah y Ahmadi 2010, Mutambara, Darkoh y Althopheng 2016). De manera que se hace cada vez más necesario mejorar la eficiencia del uso del agua en la agricultura para intentar salvar el conflicto que supone esta competencia por los recursos hídricos (Chai, y otros 2016, Patané, Tringali y Sortino 2011).

Las políticas de subvención de pago de agua en algunas regiones y la escasa limitación en el empleo del agua no han conseguido transformar la conciencia social sobre la necesidad de realizar un uso eficiente de los recursos hídricos y la importancia de los costes medioambientales ocasionados por la agricultura en la actualidad. En los últimos años se están haciendo esfuerzos por fortalecer estos aspectos, de modo que se han establecido programas para la mejora de las programaciones de riego en base a estimaciones diarias del cultivo y a la adopción de nuevas prácticas agrícolas como la fertirrigación (Mutambara, Darkoh y Althopheng 2016, Xiukang y Yingying 2016) y el uso de fertilizantes y productos fitosanitarios respetuosos con el medio ambiente (Giuliana, y otros 2011).

La aplicación de las diferentes técnicas de ahorro de agua debe considerar el tipo de cultivo, condiciones del suelo, condiciones ambientales y método de irrigación. Dentro de las técnicas utilizadas para disminuir el consumo de agua en la agricultura se encuentra el riego deficitario controlado (RDC) o RDI por sus siglas en inglés, técnica de programación que se desarrolló a comienzos de los ochenta especialmente en cultivos leñosos (Chalmers, Mitchell y Van-Heek 1981), en especies hortícolas está mucho menos desarrollada (Chai, y otros 2016). Este sistema de programación del riego se basa en la existencia de estados fenológicos de la planta más resistentes a las condiciones de estrés hídrico y que, por lo tanto, nos permitirían disminuir la cantidad de agua a aplicar sin afectar a la producción o, a lo sumo, disminuyéndola muy poco (Carbonell-Barrachina, y otros 2015, Kusakabe, y otros 2016, Nangare, y otros 2016). Otras técnicas de ahorro de agua son el riego deficitario sostenido (RDS), que consiste en una reducción sostenida de la lámina de riego a aplicar; el riego parcial en la zona de la raíz (PRD), en el que se alterna el riego en distintas zonas radiculares (Sepaskhah y Ahmadi 2010). El PRD es un desarrollo del RDC, el cual consiste en irrigar solo una parte de la zona de la raíz, permitiendo que la otra parte de la zona radicular se seque a un nivel predeterminado hasta el próximo riego (Sepaskhah y Ahmadi 2010), su inconveniente es que requiere un sistema hidráulico complejo y sus ventajas todavía no son claras.

Las ventajas del RDC se basan en la reducción de la pérdida de agua por transpiración del cultivo, mejorando la eficiencia del uso del agua en los procesos fotosintéticos y aumentando la relación entre las tasas de fotosíntesis y transpiración. En el caso del PRD disminuye la evaporación del agua del suelo con riegos parciales en la zona radicular (Chai, y otros 2016) y en algunos cultivos contribuye a mejorar la calidad del producto (Lahoz, y otros 2016, Ripoll, y otros 2016). Así, por ejemplo, en el pistacho se observó que el RDC no produjo ningún cambio en la producción, peso, tamaño, color, actividad de agua y composición de minerales; sin embargo, sí produjo cambios en las características sensoriales incrementando la satisfacción del

consumidor (Carbonell-Barrachina, y otros 2015). En el cultivo del olivo para la producción de la aceituna de mesa un RDC moderado permitió una cosecha en la que se vieron afectados parámetros de calidad del producto como tamaño de la fruta, color, textura, compuestos volátiles y ácidos grasos, que resultaron atractivos en los estudios a los consumidores incrementando la satisfacción con el producto (Cano-Lamadrid, y otros 2015, Cano-Lamadrid, y otros 2015).

Las frutas y vegetales cultivadas bajo RDC se pueden considerar productos hidrosostenibles, ya que estas técnicas de riego deficitario pueden incrementar el contenido de compuestos bioactivos, aumentar la intensidad de algunos atributos sensoriales y no deben afectar a la productividad de los cultivos (Shao, y otros 2008). Además son productos respetuosos con el medio ambiente debido a la optimización del uso del agua (Cano-Lamadrid, y otros 2015, Cano-Lamadrid, y otros 2015).

Son todavía pocos los trabajos realizados en especies herbáceas sobre RDC; así, se puede mencionar estudios aislados en sorgo, maíz, trigo en invierno, fréjol, algodón y hortalizas como patatas, tomate o pepino (Shao, y otros 2008). Esta técnica se ha desarrollado en mayor medida en árboles frutales como vid, peral, manzano, olivo, melocotonero y cítricos, por poner algún ejemplo (Cano-Lamadrid, y otros 2015, Kusakabe, y otros 2016).

De los estudios realizados en el cultivo del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) bajo riego deficitario destacan los realizados sobre tomate de industria. El cultivo del tomate para procesado industrial es corto comparado con el del tomate para consumo en fresco, ya que se emplean variedades de crecimiento determinado. Las técnicas de cultivo son también diferentes ya que estos cultivos suelen estar mecanizados en todas sus fases. Entre estas particularidades está el riego. En el tomate de industria se emplea tradicionalmente la reducción del riego antes de la recolección para aumentar los sólidos solubles totales en fruto, que es uno de los parámetros de calidad más valorados en la industria del procesado del tomate (Johnstone, y otros 2005). Estudios realizados en California en los últimos años sugieren que las aplicaciones de riego deficitario coincidiendo con el cuajado de los primeros frutos producen precocidad en el cambio de color a rojo y puede mejorar el contenido en los sólidos solubles en la cosecha sin una disminución significativa en el rendimiento (Quadri, y otros 2004).

Diversos estudios han trabajado el empleo del riego deficitario en el tomate en cada una de las fases fenológicas del cultivo, con el fin de mejorar la aplicación de riego deficitario controlado y observar sus efectos sobre la producción final, calidad de la misma y los azúcares acumulados en los frutos. Zegbe y otros (2005) aplicaron una reducción del riego en base a la ETc en tres fases: crecimiento vegetativo, cuajado y crecimiento de frutos y maduración. Sus

resultados mostraron que el estrés hídrico aplicado en la fase de crecimiento vegetativo no afectó a la producción final ni a la calidad de la producción; pero en las siguientes fases: cuajado, crecimiento y maduración de fruto sí se vio afectada la producción. Mejoró la calidad de los frutos el riego deficitario aplicado en la última fase, aumentando los azúcares acumulados.

Estudios más cercanos realizados en Extremadura, de nuevo en tomate de industria, llevados a cabo por el equipo de Fortes (2013) aplicaron riego deficitario, reduciendo en base a las necesidades hídricas (ET_c) en las fases más importantes del cultivo: trasplante, floración y cuajado, crecimiento de frutos y maduración. Concluyeron que las fases más sensibles son la floración y el trasplante, momento en el que niveles de estrés por debajo de -0.8 MPa producen una reducción en los rendimientos del cultivo, aunque supongan un aumento en la acumulación de azúcares en los frutos. También mostraron como la reducción del aporte hídrico y niveles de estrés menores a -1 MPa permiten una disminución importante del agua sin mermar la producción.

Los trabajos realizados en Andalucía hasta la fecha muestran una reducción muy importante en la producción con la aplicación de dotaciones de riego deficitarias de manera sostenida. Es el caso del estudio del equipo de Salvatierra (2007) que reportó descensos importantes en los rendimientos con dosis de riego del 80 % y 70 % de las necesidades máximas del cultivo aplicadas en su caso de manera continua a lo largo del cultivo (Cermeño y Ortega 2007). De igual modo se comportaron los resultados obtenidos en la Red Andaluza de Experimentación Agraria en la que se realizaron varios ensayos en la provincia de Sevilla (Aznalcazar y Lebrija) durante los años 2007 y 2008 con la variedad 'Juncal'. En todos los casos se observó un descenso de los rendimientos con los tratamientos de riego deficitarios, sin una mejora en la calidad de los frutos.

Ha habido recientes trabajos sobre el tomate para consumo en fresco en los que se compara el riego deficitario sostenido (RDS) (100, 80 y 60 % de ET_c) con el riego deficitario controlado (RDC) en las fases fenológicas más importantes que se pueden definir en el cultivo del tomate: desarrollo vegetativo, floración, fructificación y diversas combinaciones entre ellas. Mostraron que el cultivo fue capaz de tolerar interrupciones de riego durante quince días en los estadios fenológicos, provocando una disminución de la productividad entre el 3 y el 7 %. El RDC no afectó al rendimiento de la fruta comercializable cuando se aplicó una dotación de agua del 80 % de la ET_c , además, en esta condición no provocó cambios en el rendimiento comercial del cultivo, mientras que la programación del riego con un 60 % de la ET_c sí provocó una reducción significativa de producción. Todos los tratamientos de RDC permitieron mejorar la calidad por el

incremento de sólidos solubles, ácido ascórbico, acidez e índice de color, sin apreciarse una reducción en la producción total de los frutos (Nangare, y otros 2016). De nuevo, este estudio muestra que la fase más resistente al estrés es el desarrollo vegetativo, además de que la combinación de RDC en esta fase y floración y/o fructificación repercuten en la producción del mismo modo que el RDS.

El análisis de la calidad de la producción fue publicado por este mismo equipo en un segundo trabajo, en el cual estudiaron la acumulación de compuestos funcionales con varias dosis de riego deficitario sostenido: 60, 80 y 100% de la evapotranspiración (ET) y riego deficitario controlado, aplicando las mismas dosis deficitarias en las fases fenológicas más importantes: floración y fructificación. Este estudio mostró un aumento del ratio a^*/b^* y la concentración de vitamina con el RDS del 60 %; la reducción del riego durante el desarrollo del fruto adelantó el cambio de color, incrementando un 52 % y mejoró el contenido del licopeno (10.2 mg/100 g); los compuestos fenólicos totales presentaron rangos entre 16 y 42 mg de ácido gálico equivalente. 100 g^{-1} y los flavonoides, rangos entre 4 a 10 mg de catequina equivalente. g^{-1} , mostrando el RDC valores más elevados de ambos productos cuando se aplicó la reducción del riego en la etapa de fructificación (Kumar, y otros 2015).

En el cultivo de tomate para procesado industrial otros estudios han evaluado la productividad del agua, la biomasa final y el rendimiento de la fruta con diferentes tratamientos de riego deficitario: secano después del establecimiento de la planta, 100% o 50% de la ETc y riego hasta la madurez del fruto, riego del 100% de la ETc hasta la floración. Los resultados mostraron pérdidas en el rendimiento comercial cuando se aplicó RDC en etapas tempranas del desarrollo fenológico debido a elevadas pérdidas de frutos (> 44 %). Sin embargo, se produjo un ahorro de agua entre el 30 y el 46 % y una mejora del contenido de sólidos solubles totales, acidez titulable y contenido de vitamina C (Patané, Tringali y Sortino 2011).

El empleo del RDS puede afectar a las características agronómicas y de calidad del tomate para procesamiento, como han mostrado otros trabajos en los que disminuciones de un 75 % de la ETc, produjeron una reducción media del uso de agua del 28.2 %, mientras que provocó una disminución del 16 % en la producción comercial y el aumento de los sólidos solubles en un 8 % e incrementó en un 2 % en el ángulo de color. Aunque no afectó al contenido de licopeno (Lahoz, y otros 2016).

De los resultados obtenidos hasta la fecha se deduce que la fase vegetativa es la más resistente al estrés, pero no hay apenas datos sobre el estado hídrico del cultivo, de modo que es difícil comparar los diferentes tratamientos de riego empleados y los resultados obtenidos,

aspecto fundamental para poder comparar los datos de unos y otros ensayos. En muchas ocasiones, los coeficientes de cultivo empleados para el cálculo de las necesidades hídricas no se ajustan a las necesidades concretas de los cultivos. A veces se sobreestiman estas necesidades, ya que son estimaciones medias, genéricas y no adaptadas a las diferentes situaciones edafoclimáticas del cultivo del tomate pero son útiles porque permiten aproximaciones certeras. Junto a esto la mayoría de estudios en riego deficitario se han enfocado en la influencia del RDC sobre los parámetros de producción y características comerciales, dejando de lado la influencia sobre las características funcionales (carotenoides y compuestos fenólicos).

1.4.5. Carotenoides en el tomate

En los países desarrollados un número relativamente reducido de frutas y verduras provee entre el 70 y el 90 % de los carotenoides de la dieta (Granado, Blázquez y Olmedilla 2007, Granado, Olmedilla y Blanco 1996). Uno de los carotenoides más estudiados en el contexto de la alimentación y la salud es el licopeno. Se considera que, en general, la principal fuente dietética de este cartenoide es el tomate y sus productos derivados. En concreto, se ha estimado que en España, el tomate contribuye a la ingesta dietética de licopeno en un 68.3 %, mientras que la sandía lo hace con un 31.4 % (Granado, Blázquez y Olmedilla 2007).

El tomate tradicional de color rojo contiene además otros carotenoides como fitoeno, fitoflueno, luteína y β -caroteno, principalmente. El color rojo del tomate en la mayoría de cultivares se debe principalmente al licopeno, que se sintetiza durante la maduración del fruto (Stinco, Rodríguez, y otros 2013, Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010).

Como ya se ha comentado, el contenido en metabolitos secundarios como carotenoides y compuestos fenólicos depende de factores de distinta naturaleza. En el caso del tomate se han realizado muchos estudios en este sentido. Por ejemplo, se conoce bien que el contenido en carotenoides del tomate depende de la variedad y estado de maduración del fruto (Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010), de condiciones ambientales (fotoperiodo, temperatura, calidad del aire ambiental, déficit de presión de vapor y estación) (M. Dorais 2007), de factores agronómicos (nutrientes disponibles en el suelo, cantidad de agua suministrada) (Centeno, y otros 2011) y tratamiento poscosecha (Verheul, Slimestad y Holta 2015).

Dada la importancia del tomate en la dieta y su contenido en compuestos bioactivos como carotenoides, no es sorprendente que se hayan realizado muchos estudios con el objetivo de incrementar las concentraciones de estos compuestos modificando factores ambientales como

radiación y temperatura o sometiendo a la planta a estrés salino e hídrico. En este sentido, se han obtenido algunos resultados de gran interés. Así, se comprobó que el riego con estrés salino moderado (50 mM de NaCl en una solución hidropónica) mejoró en general la calidad del tomate 'House Monotaro'. Los resultados mostraron que el estrés salino provocó un aumento de los sólidos solubles, parámetros de color (debidos fundamentalmente al contenido en carotenoides) y firmeza del fruto, mientras que el tamaño de la fruta disminuyó (Saito, y otros 2008). A modo de otro ejemplo, en un estudio se varió la temperatura del cultivo entre 25 °C (referencia) y 45 °C en función del tiempo de exposición (dos y tres horas). Los resultados mostraron que la relación clorofila/carotenoides cambió dependiendo del cultivar y la condición de estrés. Se observaron en la variedad 'Campbell-28' incrementos graduales del contenido de carotenoides de 8 a 12 mg.g⁻¹ peso fresco cuando el tomate fue expuesto a 45 °C durante 3 h, y una disminución de 8 a 4 mg.g⁻¹ peso fresco cuando fue expuesto a 45 °C durante 2 h, comparados con una referencia de 25 °C (Camejo y Torres 2001).

1.4.6. Compuestos fenólicos en tomate

El fruto del tomate contiene un número considerable de compuestos fenólicos. Se han descrito hasta veinticuatro flavonoides diferentes, siendo generalmente la naringenina, quercetina, rutina y kaempferol los principales. Otro gran grupo de compuestos fenólicos son los ácidos hidroxicinámicos. Dentro de este grupo destacan los ácidos cafeico, *p*-cumárico, clorogénico y gálico (Lule y Xia 2005).

Los compuestos fenólicos contribuyen al color rojo, olor profundo y sabores astringente y ácido que caracterizan al fruto de tomate (Naczki y Shahidi 2004). El contenido en fenoles, como el de otros metabolitos secundarios, varía considerablemente con las técnicas de cultivo, la genética, fisiología y el índice de madurez, entre otros muchos factores. El tomate verde maduro contiene altos niveles de ácido clorogénico (ubicados principalmente en el pericarpio y la pulpa) que disminuyen rápidamente a medida que la fruta madura y vira del verde al rojo (Shahidi y Ambigaipalan 2015), como se muestra en la carta de color de la USDA (Figura 1.13). Así, en una revisión bibliográfica de Sliemstad y Verheul, (2009), los autores concluyeron que en el tomate verde maduro el ácido clorogénico supone un 75 % del total de compuestos fenólicos, mientras que en un tomate rojo de tamaño medio, la contribución fue del orden del 35 % (Sliemstad y Verheul 2009).

Un estudio realizado en doce genotipos de tomate por el equipo de George (2004), evidenció mayores contenidos de compuestos fenolicos en la piel que en la pulpa. También

mostró que las variedades cherry presentaron mayor contenido de compuestos fenólicos totales que las variedades grandes. A su vez dentro de las variedades de cherry se observaron diferencias, alcanzando mayores contenidos los cultivares: 818, BR-124 y T56. Stewart y otros (2000) investigaron los contenidos de flavonoles de 20 variedades de tomate en función de la variedad, tamaño, estación y país de origen, concluyendo que los tomates cherry procedentes de climas cálidos y soleados como España e Israel contuvieron una concentración más alta de flavonoles. Además, esta diferencia de contenido según el tamaño del fruto también fue observado en varios estudios (Wilcox, Catignari y Lazzarus 2003, Crozier, y otros 1997, Slimestad y Verheul 2009).

En cuanto al efecto de las condiciones agronómicas sobre el contenido en compuestos fenólicos una investigación realizada por el equipo de Sánchez-Rodríguez (2012) mostró la importancia del riego deficitario y del empleo de portainjertos resistentes a la sequía para aumentar el contenido de compuestos fenólicos, lo que se tradujo en cambios en la actividad antioxidante *in vitro* del fruto. En otro interesante trabajo se estudió el efecto del riego y el procesado industrial en dos genotipos en una variedad de tomate tipo cherry de pera ('Corbarino') muy empleada en la industria conservera en el sur de Italia. Se aplicaron tres tratamientos de riego, concretamente secano (200 m³/ha cada 15 días, riego deficitario (1200 m³/ha) y el nivel de riego normal en la zona (2400 m³/h). El perfil antioxidante de los frutos y la concentración de los compuestos fenólicos se vieron influenciados por los genotipos, aunque el principal efecto se observó con el régimen hídrico. El contenido de compuestos fenólicos fue significativamente mayor en el tratamiento de riego deficitario frente al normal y al secano. Estas diferencias desaparecieron prácticamente con el procesado industrial, igualándose el contenido de los dos genotipos y los tratamientos de riego (Pernice, y otros 2010). El efecto del procesado de los tomates en los niveles de compuestos fenólicos también ha sido evaluado en varios estudios. Por ejemplo, en un trabajo se evaluó el efecto de dos prácticas habituales en la industria, la eliminación de la cáscara y la de las semillas en el contenido en estos compuestos y otros parámetros. Para ello se consieraron cuatro variedades (Cereja, Chucha, Rama y Redondo). Los resultados mostraron importantes pérdidas de compuestos fenólicos, siendo el pelado el tratamiento más perjudicial ya que causó una disminución de hasta un 32 % (Vinha, y otros 2014). Ante esta variabilidad consideramos necesarios estudios concretos en las variedades comerciales actuales para poder seguir avanzado en la posibilidad de poder ejercer un cierto control sobre el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos. Sería importante controlar al máximo los factores agronómicos en condiciones de cultivo comercial, ya que los estudios en pequeños contenedores y macetas, no suelen ser extrapolables a las condiciones de cultivo en

suelo, especialmente en déficit hídrico. En este sentido, sería deseable poder estudiar la respuesta de la planta con estados hídricos conocidos, y poder comparar los resultados en distintas variedades.

1.4.7. Calidad comercial en el tomate

La calidad del fruto está compuesta por factores morfológicos, visuales y organolépticos que conforman la calidad comercial de un producto. La calidad comercial ha ido evolucionando en los últimos años según las exigencias del mercado y en la actualidad los parámetros de calidad incluyen componentes funcionales y beneficiosos para la salud (Ripoll, y otros 2016).

La calidad del fruto está ligada al destino final del producto, no solo al mercado. Por ejemplo, si el tomate es consumido en fresco, los requerimientos de calidad necesarios consideran frutos sin defectos y con color brillante, uniformidad y madurez, mientras que si se utiliza para procesamiento, el color es uno de los factores primordiales (Domene y Segura 2014).

En general, la calidad externa del fruto puede ser cuantificada por el tamaño, forma del fruto, peso, diámetro ecuatorial y longitudinal, espesor de la pared y curvatura del fruto (Domene y Segura 2014). El tamaño de la fruta varía dependiendo de la variedad y ha cambiado a partir de su domesticación, desde tamaños pequeños (menos de 20 g en variedades cherry) a una gran diversidad de tamaños entre medianos y grandes (hasta 500 g) (Figura 1.9).

En la fase final del cultivo, durante la maduración fisiológica del fruto, es en la que se acumula la mayor parte de los azúcares en el fruto —que se suelen cuantificar como sólidos solubles (°Brix) en la mayoría de los casos—, el color de la fruta vira de verde al color final del tomate (rojo, amarillo, morado o verde) y los compuestos volátiles se desarrollan en su totalidad (Bergougnoux 2014). Esta maduración es propia de una fruta climatérica, por tanto, el tomate es considerado como tal. Dentro de los parámetros agronómicos el contenido de sólidos solubles (°Brix) y el color son los parámetros que marcan la madurez comercial del tomate, conocido como verde maduro (USDA 1975).

El color del tomate es uno de los aspectos principales de aceptación del alimento, junto al sabor y la textura (relacionado con la estructura de la pared celular y el estado de madurez). La textura puede ser cuantificada con texturómetro o penetrómetro, ambos cuantifican la resistencia a la rotura de la epidermis del fruto, que se expresa en unidades de fuerza sobre unidades de área (PCE 2016).

‘El color es una respuesta mental al estímulo que una radiación luminosa visible produce en la retina y que el nervio óptico transmite al cerebro’ (A. Meléndez-Martínez 2005), por lo tanto, el color es considerado como un concepto psicofísico que relaciona la psicología del observador, la fisiología de la visión y la energía radiante espectral de una fuente luminosa (Wyszecki y Stiles 1982, A. Meléndez-Martínez 2005). El color puede ser cuantificado por medio de una evaluación visual y de análisis instrumental.

El análisis visual del color se incluye dentro del análisis organoléptico, que consiste en cualificar por medio de los sentidos las características de un alimento. Otra forma de medir el color visual es usando escalas de color, un ejemplo es la escala de color para tomate comercial propuesta por la USDA (Figura 1.13), siendo muy usada en la industria. En este sentido, es importante mencionar que aunque el ojo humano puede discriminar bastante bien entre colores, la capacidad del cerebro para recordarlos es reducida.

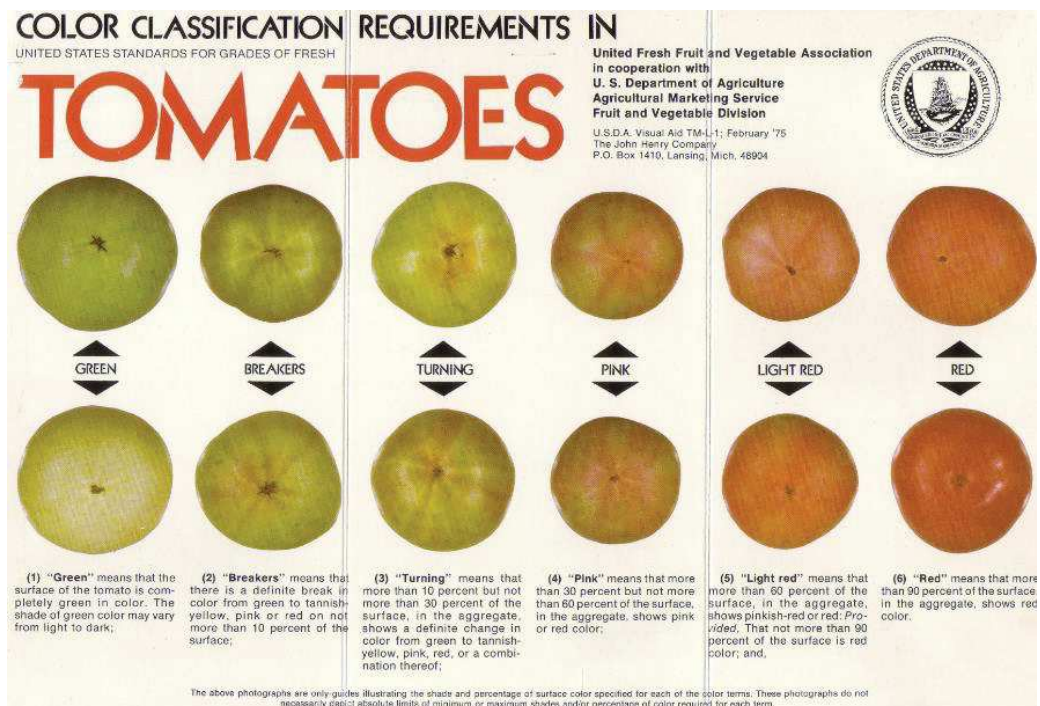


Figura 1. 13. Carta de color de tomate comercial de la USDA. (USDA 1975)

En variedades rojas cultivadas bajo abrigo en Almería (España), los niveles de L* varían entre 31.4 a 39.6; los de a*, entre 18.0 a 21.2; los de b*, entre 20.6 a 23.0; los de h_{ab}, entre 45.8 a 51.9 y los de C*_{ab}, entre 28.8 a 30.7 (Domene y Segura 2014).

Los parámetros de calidad organoléptica antes mencionados pueden verse afectados por la cantidad de agua de riego aportada al cultivo y las condiciones de estrés que haya sufrido la planta. Ciertos niveles de estrés hídrico pueden provocar una disminución del tamaño del fruto e

demanda del consumo de flores ha incrementado debido fundamentalmente al sabor, olor y color característico de las especies florales que contribuyen a una mejor apariencia de los platos y que podrían además tener beneficios potenciales para la salud (MIcek y Rop 2011). Son muchas las especies que pueden tener interés gastronómico. En este sentido, para que una flor sea comestible es importante que no contenga niveles peligrosos de compuestos tóxicos que afecten a la salud de quien las consume (Alasalvar, y otros 2013).

En las Tabla 1.5, 1. 6 y 1. 7 se recoge una recopilación de especies con posible interés en alimentación, las cuales están clasificadas taxonómicamente según familia, especie, y también en función de su color. Según el Código Internacional de Nomenclatura Botánica los taxones se clasifican en: reino, clase, orden, familia, género y especie; además, se pueden permitir categorías intermedias anteponiendo el prefijo *sub-* a la categoría (por ejemplo, subclase o subfamilia) o se pueden aplicar designaciones particulares como tribu, sección o variedad (ICBN 2001).

La familia es una categoría comúnmente usada para identificar al material botánico y está constituida por más de un género. El género engloba especies semejantes, agrupadas por características morfológicas, aspectos genéticos, fisiológicos, ecológicos y lugar de origen, entre otros.

Las especies hasta mediados del siglo XVII fueron designadas con varias palabras, observándose posteriormente la impracticabilidad a medida que aumentaban las especies conocidas. Finalmente se impuso el sistema binominal, que consta de dos palabras. La primera designa el género y la segunda la especie (ICBN 2001). Así, por ejemplo, la nomenclatura de la caléndula es *Calendula officinalis* (Figura 1.15). Además, para identificar con mayor exactitud a la especie, se suele añadir el nombre del botánico que la describió por primera vez. *C. officinalis* fue descrita por Carl Linnaeus, cuya abreviatura en botánica es L. (NRCS 2017, Herbarium 2017), de ahí que se designe como *Calendula officinalis* L.



- Reino: Plantae
- Orden: asterales
- Familia: Asteraceae
- Tribu: Calenduleae
- Género: *Calendula*
- Especie: *C. officinalis*

Figura 1. 15. Identificación taxonómica de la *Calendula officinalis* L. (Anthos 2017)

La clasificación seguida en las tablas, se realizó con el fin de visualizar posibles diferencias dentro de cada grupo seleccionado. En cada grupo se menciona además de una descripción botánica (familia y especie) el nombre común, lugar de origen de la especie, parte de la planta que se usa para fines medicinales o gastronómicos, uso medicinal, parte de la planta consumida y platos típicos en los que se emplea, cuidados especiales y otras generalidades referentes a la importancia dentro de un país determinado.

Tabla 1. 5. Descripción, origen y usos de flores de la misma especie y con variedades de diferente color

Tabla1.5. Descripción, origen y usos de flores de la misma especie y con variedades de diferente color. Continuación...





	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

Tabla 1.5. Descripción, origen y usos de flores de la misma especie y con variedades de diferente color. Continuación...







	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

Tabla 1. 6. Descripción, origen y usos de flores de la misma familia y diferente especie








	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

Tabla 1.6. Descripción, origen y usos de flores de la misma familia y diferente especie. Continuación...















	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

Tabla 1.6. Descripción, origen y usos de flores de la misma familia y diferente especie. Continuación...



		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		
		

Tabla 1.6. Descripción, origen y usos de flores de la misma familia y diferente especie. Continuación...











	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	
	

Tabla 1.6. Descripción, origen y usos de flores de la misma familia y diferente especie. Continuación...

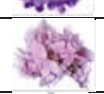
nd: No disponible

Tabla 1. 7. Descripción, origen y usos de flores de diferente familia y diferente especie

nd: No disponible

Tabla 1.7. Descripción, origen y usos de flores de diferente familia y diferente especie. Continuación...



Las flores comestibles provienen de noventa y siete familias. Entre ellas se encuentran las familias *Malvaceae*, *Ranunculaceae*, *Rosaceae*, *Caprifoliaceae*, *Liliaceae*, *Asteraceae*, *Cactaceae*, *Magnoliaceae*, *Oleaceae* y *Nymphaeaceae* con especies florales como *Hibiscus rosa sinensis*, *Rosa chinensis*, *Rosa rugosa*, *Chrysanthemum indicum*, *Jasminum sambac*, *Magnolia denudata* y *Jasminum sambac*. Muchas de las especies comestibles son originarias de Asia, África y Europa (Lu, Li y Yin 2016) , y se usan en brebajes, tés, mermeladas, tortas, suplementos alimentarios, extractos de sabor, condimentos, bebidas, vino y directamente en diversos platos (Hopkins, y otros 2013, Lai, y otros 2007).

Como ya se ha comentado, las flores comestibles tienen interés en alimentación funcional por su contenido en ciertos compuestos beneficiosos, como carotenoides y compuestos fenólicos, entre otros. Las posibles acciones beneficiosas para la salud de estos compuestos presentes en flores comestibles son variadas y podrían deberse a distintos mecanismos (acción antioxidante, antiinflamatoria, anticarcinogénica, etc.). Por ejemplo, hay estudios que sugieren que el crisantemo tiene acción antiinflamatoria (Lee, y otros 2009). Por otra parte, flores comestibles como el propio crisantemo, la rosa y el jazmín podrían tener efectos anticarcinogénicos (Chang, y otros 2005, Lin, y otros 2005). Otras como *Hibiscus rosa-sinensis* L., *Chrysanthemum spp.*, *Dahlia coccinea* Cav, *Citrullus lanatus* (Thunb.) Matsum. Et Nakai podrían brindar protección frente a enfermedades ligadas a la obesidad (como por ejemplo, la apnea del sueño, hipertensión, hiperlipidemia y diabetes tipo 2), neurológicas (Alzheimer y Parkinson) (Kim, y otros 2009) y afecciones hepáticas y gastrointestinales (Alarcón-Alonso, y otros 2012). En cualquier caso, sería importante evaluar si las cantidades ingeridas de dichas flores serían suficientes para que se produjesen los efectos deseados.

1.5.2. Carotenoides en flores

Los carotenoides son a menudo responsables de las coloraciones rojas a amarillas de las flores. Esta característica permite atraer a polinizadores y a otros animales involucrados en el esparcimiento de semillas (Zhu, y otros 2010).

El estudio del contenido en carotenoides en flores está bien representado en la literatura científica. Así, entre las especies estudiadas en este contexto se encuentran ‘gardenia amarilla’ (Park, y otros 2013), *Lycium barbarum*, *Gentiana lutea* (Ji, y otros 2009), *Chrysanthemum* (McMahon y Kelly 1995), *Coriandrum sativum* (Barbosa, DeAlmeida y Mancini 2005), *Solanum lycopersicum* (Ariizumi, y otros 2014), *Calendula officinalis* (Kishimoto y Ohmiya 2009,

Bakó, Deli y Tóth 2001, Pinteá, y otros 2003, Kishimoto, Maoka y Sumitomo, y otros 2005), *Osmanthus fragans* (Baldermann, y otros 2012), *Adonis aestivalis y annua* (Maoka, y otros 2011), *Inula helenium* (Nan, y otros 2012), *Mimulus lewisii* (LaFountain, Frank y Wu 2015), *Cucurbita maxima* (Seroczynska, y otros 2006), *Momordica charantia* (Anh, y otros 2011), *Boronia megastigma* (Mactavish, Davies y Menary 2000), *Fagopyrum tataricum* (Anh, y otros 2011), *Brassica oleraceae* (Sotelo, y otros 2014), *Capparis spinosa* (Tlili, y otros 2009), *Tagetes erecta* (Riaz, y otros 2013), *Solanum lycopersicum*, *Narcissus pseudonarcissus*, *Tagetes erecta*, *Gentiana lutea*, *Ipomoea sp.*, *Lilium spp.*, *Chrysanthemum morifolium Ramt*, *Cucumis sativus* (Zhu, y otros 2010). De forma general, puede afirmarse que entre los carotenoides más frecuentes en las flores se encuentran la violaxantina, neoxantina, fitoeno, β -caroteno, zeaxantina, luteína, anteraxantina y β -criptoxantina; aunque los perfiles de carotenoides dependen, evidentemente, en gran medida de la especie y variedad (Zhu, y otros 2010).

1.5.3. Compuestos fenólicos en flores

En general, se considera que los flavonoles son los principales compuestos fenólicos encontrados en las flores comestibles. Dentro de este grupo se encuentran la quercetina, kaempferol y miricetina, así como sus derivados. Dichos flavonoles se pueden encontrar en pétalos de flores como la rosa (Zhang, y otros 2014), crisantemo (Wu, y otros 2010) y magnolia (H. Yoon 2014), entre muchas otras.

Otro grupo importante de compuestos fenólicos presentes en las flores comestibles son las flavonas y dentro de ellas, la luteolina, apigenina, acacetin, crysoeriol y sus glucósidos. En la familia *Asteraceae* pueden encontrarse flores comestibles con gran cantidad de flavonas (Sugawara y Igarashi 2009). Por otra parte, en algunas flores comestibles se pueden detectar antocianinas, ácidos fenólicos (como ácido cafeico, ácido clorogénico y ácido gálico) (Lu, Li y Yin 2016) y flavanoles (como catequina, epicatequina, epicatequina galato y epigalocatequina galato) (Zhang, y otros 2014). Los ácidos fenólicos están ampliamente distribuidos en las diferentes familias de flores comestibles. Por otra parte, la rosa contiene una importante cantidad de flavanoles (Lu, Li y Yin 2016). Por último, cabe indicar que varios estudios señalan que el crisantemo es una fuente especialmente interesante de compuestos fenólicos al haberse identificado en esta especie quince ácidos cafeoilquínicos, 15 flavonoides y otros identificados provisionalmente (Lin y Hanly 2010).

Consideramos interesante la caracterización de especies de utilidad en alimentación, cuyo contenido en carotenoides y color se ha estudiado escasamente, sobre todo en España. La presencia de compuestos fenólicos en flores y su actividad antioxidante *in vitro* están mejor representados en bibliografía, pero centrado en un grupo pequeño de especies (como por ejemplo caléndula, tagetes, crisantemo, dalia y rosa). Por ello nos parece interesante evaluar el contenido en estos compuestos beneficiosos para la salud en un amplio número de flores autóctonas o comúnmente cultivadas en España, como base de cara a profundizar más adelante en su valor en el contexto de la alimentación funcional.

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Los principales objetivos de esta tesis doctoral fueron dos.

- Evaluar la calidad comercial y funcional en base al contenido de carotenoides y compuestos fenólicos del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en función de diferentes factores agronómicos.
- Analizar el contenido de compuestos funcionales (carotenoides y compuestos fenólicos) en flores con miras a potenciar su interés en la alimentación.

Para ello se plantearon los siguientes objetivos específicos:

- Evaluar la calidad comercial, el contenido de carotenoides y compuestos fenólicos en variedades de tomate de diferente color y tamaño disponibles comercialmente en Sevilla.
- Estudiar la influencia del riego deficitario controlado y la posición del ramillete en la planta en tomates de diferentes variedades, tamaños y colores en su calidad comercial, contenido de carotenoides y compuestos fenólicos.
- Analizar la importancia de la posición del fruto en el ramillete en la calidad comercial y funcional en dos variedades de tomate cherry.
- Comprobar la influencia del riego deficitario controlado en la calidad comercial y el contenido de carotenoides y compuestos fenólicos en dos variedades de tomate cherry, en diferentes ciclos de cultivo, niveles de desarrollo de la planta y estados de maduración del fruto.
- Clasificar las flores estudiadas en función de su contenido en carotenoides y compuestos fenólicos, identificando las de especial interés potencial en alimentación funcional por su perfil cuantitativo y/o cualitativo de estos compuestos con miras a profundizar en dichas especies en futuras investigaciones.

MATERIAL Y MÉTODOS

3. MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. Descripción de las muestras

Para la realización de esta tesis doctoral se analizó el contenido de carotenoides y compuestos fenólicos en polvo liofilizado en dos tipos de muestras: tomates y flores.

Se estudiaron dos grupos de tomates: cinco variedades de tomate cherry comerciales disponibles en el momento de los análisis en supermercados de Sevilla capital ('Cherry amarillo', 'Cherry pera', 'Cherry naranja', 'Minichocmato' y 'Cherry rojo') y variedades cultivadas en los invernaderos de la Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica (ETSIA) de la Universidad de Sevilla. Estas últimas incluyeron dos variedades de tomate cherry ('Lazarino' y 'Summerbrix'), cinco variedades de tomate común (Tipo "Daniela") ('Green Zebra', 'Sunchola', 'Tigerella', 'Byelsa' y 'Palamós') y una variedad grande ('Orange').

Se analizaron flores de 141 especies diferentes, recolectadas en "el Real Jardín Botánico de Córdoba" (<http://www.jardinbotanicodecordoba.com/>) y en dos viveros comerciales: "Viveros Projardín" de Madrid capital (<http://www.viverosprojardin.com/>) y "Plantas El Pino" de Sevilla (<http://www.plantaselpino.com/servicios>). Las muestras se dividieron en tres grupos:

- Grupo 1: Flores de la misma especie y variedades de diferente color
- Grupo 2: Flores de la misma familia y diferente especie
- Grupo 3: Otras especies

3.1.1. Preparación de las muestras

Las muestras de tomate se prepararon retirando el interior de los lóculos del fruto, y eliminando la parte gelatinosa que contenía las semillas. El resto de fruto se cortó en trozos pequeños de 0.5 cm aproximadamente y se colocaron en tubos falcon de 50 mL.

Los pétalos de las flores de todas las especies fueron dispuestos directamente en los tubos falcon.

Los tubos de ambos tipos de muestras fueron congelados a -80 °C y posteriormente liofilizados (Cryodos -80, Telstar, Madrid, España). La muestra liofilizada fue molida, guardada en frascos ámbar bajo atmósfera de nitrógeno y congelada a -21 °C hasta el momento del análisis de carotenoides y compuestos fenólicos. Estos análisis se realizaron por triplicado.

3.2. Análisis de carotenoides

3.2.1. Análisis de carotenoides en tomate

3.2.1.1. Extracción de carotenoides en tomate

La determinación de carotenoides en tomate se realizó siguiendo la metodología descrita por Borghesi *y otros*, (2011) con algunas modificaciones. Aproximadamente 20 mg de polvo liofilizado de tomate fue sometido a un proceso de extracción con 250 μL de metanol, 500 μL de triclorometano y 250 μL de agua desionizada obtenida de un purificar de agua (NANOpure DlamondTM system, Barnsted Inc, Dubuque, USA). La mezcla se agitó en un vortex (Genius 3, IKA, Staufen, Alemania) y luego en un baño de ultrasonido durante 2 min con el fin de mejorar la extracción. La fase coloreada fue separada por centrifugación a $14\ 000 \times g$, durante 3 min a 4 °C en una ultracentrífuga (Microfuge 22-R, Beckman-Coulter, Vernon Hills, USA). La fase orgánica fue separada y recolectada. El extracto acuoso fue nuevamente extraído con 500 μL de triclorometano. Esta operación se repitió las veces que fueron necesarias hasta que la fase orgánica no tuvo color (Borghesi, *y otros* 2011). La fase orgánica recolectada fue evaporada hasta su completa deshidratación en un concentrador al vacío (Plus Vacufuge, Eppendorf, Hopkinton, Alemania) a temperaturas no superiores a 30 °C. Los extractos secos se conservaron bajo atmósfera de nitrógeno a -20 °C y en ausencia de luz, hasta el análisis por cromatografía líquida (Stinco, Rodríguez, *y otros* 2013).

3.2.1.2. Análisis por cromatografía líquida de alta resolución de carotenoides en tomate

Para llevar a cabo los análisis, los extractos se disolvieron en 40 μL de acetato de etilo grado HPLC y se centrifugaron a $14\ 000 \times g$, durante 3 min a 4 °C. Se tomó 20 μL del sobrenadante y se introdujo en un micro-insert. El análisis cromatográfico de carotenoides individuales se realizó siguiendo la metodología descrita por Stinco, *y otros* (2014). Así, la muestra fue pinchada en un cromatógrafo RRLC (Rapid resolution liquid chromatography) acoplado a un detector de arreglo de diodos (DAD) (RRLC 1260, Agilent Technologies, Palo Alto, Ca. USA) y provisto de una columna C_{18} (2.7 μm , 5 cm \times 4.6 mm). Los volúmenes de inyección dependieron de la concentración del extracto de tomate y variaron entre 1 a 5 μL . El flujo de la fase móvil fue de 1 mL/min. La temperatura se fijó a 30 °C y se usó un gradiente lineal de acetonitrilo (A), metanol (B) y etil acetato (C) grado HPLC: 85 % A + 15 % B, 0 min; 60 % A + 20 % B + 20 % C, 5 min; 60 % A + 20 % B + 20 % B, 7 min; 85 % A + 15 % B, 9 min; 85 % A + 15 % B, 12 min (Stinco, Benítez-González, *y otros* 2014).

Para la cuantificación e identificación de los carotenoides individuales se usó el software ChemStation. Los cromatogramas se obtuvieron a 285 nm para el fitoeno, 350 nm para el

fitoflueno y 450 nm para la luteína, licopeno y β -caroteno. Un ejemplo del cromatograma resultante se muestra en la (Figura 3.1).

La identificación de los carotenoides presentes en cada muestra de tomate se llevó a cabo por comparación de su comportamiento espectroscópico y cromatográfico con su respectivo estándar. El de β -caroteno fue adquirido (Sigma-Aldrich, Taufkirchen, Alemania) y el resto de estándares fueron obtenidos de fuentes naturales de acuerdo a metodologías clásicas (Rodríguez-Amaya 2001, A. Meléndez-Martínez 2005).

Los carotenoides individuales se cuantificaron mediante calibración externa. El contenido de carotenoides totales en el tomate se calculó como la suma de los compuestos individuales.

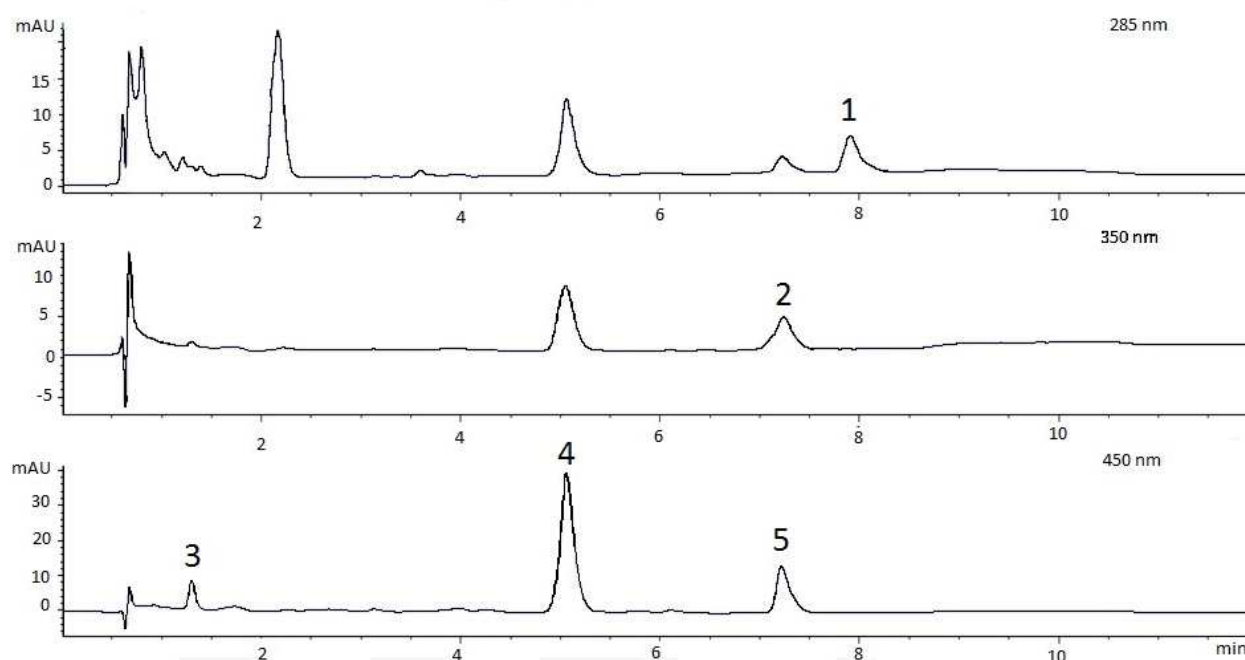


Figura 3. 1. Cromatogramas a diferentes longitudes de onda correspondientes a extractos de carotenoides de tomate 'Tigerella'. 1.Fitoeno; 2. fitoflueno; 3. luteína; 4. licopeno; 5. β -caroteno

3.2.2. Análisis de carotenoides en flores

3.2.2.1. Extracción de carotenoides en flores

Como ya se mencionó anteriormente, no existe un método consensuado de extracción de carotenoides. A la hora de elegir uno es importante tener en cuenta la matriz y los compuestos a extraer (Xu, y otros 2017). Entre los disolventes que se han usado para la extracción de carotenoides de flores se encuentra la acetona empleada en la extracción de *Calendula officinalis* L. (Kishimoto, y otros 2005); metanol en caléndula (Bakó, Deli y Tóth 2001); etanol en *Adonis aestivalis* (Takashi, y otros 2011); mezcla de acetona y metanol (2:1) en *Lycium barbarum* (Ji, y otros 2009) y mezcla de etil acetato, metanol y éter de petróleo (1:1:1) en *Inula Helenium* (Nan, y otros 2012). Para decidir el disolvente más adecuado para la extracción de carotenoides en los

pétalos analizados en este trabajo se llevó a cabo un estudio previo. En concreto se analizó la aptitud de distintas mezclas de disolventes para extraer carotenoides de polvo liofilizado de *Calendula x hybrida*. Esta prueba permitió, la selección de la mezcla de extracción más adecuada, que se usó para las extracciones de todas las muestras de flores.

Las mezclas de disolventes considerados en este estudio previo fueron: hexano: acetona (1:1); metanol, acetona, diclorometano (1:1:2); acetona: metanol (2:1) y etil acetato, metanol, éter de petróleo (1:1:1). Con el disolvente seleccionado, en concreto acetona: metanol (2:1), se realizó la cuantificación del porcentaje de recuperación empleando todo-*trans*- β -apo-8'-carotenal como estándar interno. Para este fin se preparó una solución madre de estándar interno (1.2 mg/mL), de la que se tomaron varias alícuotas para realizar la curva de calibración por RRLC. Además, se adicionó diferentes volúmenes de la solución madre en cantidades conocidas de polvo liofilizado de *C. x hybrida* y se realizó la extracción de carotenoides como se indica a continuación. El porcentaje de recuperación se calculó relacionando la muestra con el estándar interno y sin él.

Aproximadamente 20 mg de polvo liofilizado de *C. x hybrida* fue sometido a un proceso de extracción con cada una de las mezclas de disolventes en estudio. Al polvo liofilizado se adicionó 500 μ L del disolvente, se agitó en un vortex (Genius 3, IKA, Staufen, Alemania) y se colocó en un baño de ultrasonido durante 2 min con el fin de mejorar la extracción. La fase coloreada fue separada por centrifugación a $14\ 000 \times g$ durante 3 min a 4 °C en una ultracentrífuga (Microfuge 22-R, Beckman-Coulter, Vernon Hills, USA). La fase orgánica fue separada y recolectada. El extracto acuoso fue nuevamente extraído con 500 μ L del mismo disolvente. Esta operación se repitió varias veces hasta que la fase orgánica no presentó color. La fase orgánica recolectada fue evaporada hasta obtener un extracto seco en un concentrador al vacío (Plus Vacufuge, Eppendorf, Hopkinton, Alemania) a temperaturas no superiores a 30 °C. Los extractos secos se conservaron bajo nitrógeno a -20 °C y en ausencia de luz hasta el análisis (Stinco, Rodríguez, y otros 2013).

3.2.2.2. Saponificación de extractos de flores

Los extractos secos se disolvieron en 500 μ L de KOH metanólico al 30 %. Esta mezcla se mantuvo en la oscuridad en una atmósfera de nitrógeno y con agitación durante una hora. Pasado este tiempo se añadieron 500 μ L de diclorometano a la mezcla saponificada y se agitó en un vortex. Posteriormente los extractos se lavaron con aproximadamente 800 μ L de una solución de

NaCl al 5 % y varios lavados con agua desionizada (siete u ocho veces) hasta eliminar los restos de álcali. Para ello se centrifugó a $14\ 000 \times g$, durante 3 min a $4\ ^\circ\text{C}$ y se retiró la fase no coloreada con una pipeta Pasteur. El proceso de lavado se repitió hasta que el pH de la fase no coloreada fue neutro (pH=7). Por último, se evaporó hasta obtener un extracto seco en un concentrador al vacío a temperatura inferior a $30\ ^\circ\text{C}$. Los extractos secos saponificados se conservaron a $-20\ ^\circ\text{C}$ con atmósfera de nitrógeno y en ausencia de luz hasta el momento del análisis.

3.2.2.3. Cuantificación de carotenoides totales en flores por espectrofotometría

Los extractos secos se disolvieron en 2 mL de etanol grado HPLC y luego se colocaron en una celda de cuarzo de 10 mm de paso de luz. La absorbancia de esta solución fue medida a 450 nm en un espectrofotómetro UV-Vis modelo HP 8453 (Hewlett-Packard, Palo Alto, Ca. USA). La concentración de carotenoides totales expresados como β -caroteno, fue calculada con la ecuación de Lambert-Beer descrita a continuación, empleando un coeficiente de absorción molar de 2620 (Rodríguez-Amaya 2001).

$$CT = \frac{(Abs * V * 10\ 000)}{A_{1\ cm}^{1\ \%} * 100 * P_m}$$

Donde:

CT es la concentración de carotenoides totales ($\mu\text{g/g}^1$), *Abs* la absorbancia, *V* el volumen (mL), $A_{1\ cm}^{1\ \%}$ es el coeficiente de absorción molar y P_m es el peso de la muestra (g).

3.2.2.4. Análisis por cromatografía líquida de alta resolución de carotenoides en flores

El análisis cromatográfico se realizó de forma similar al análisis de carotenoides del tomate descrita anteriormente (sección 3.2.1). Los volúmenes de inyección dependieron de la concentración del extracto de pétalos de flores y variaron entre 1 a 5 μL . El todo-*trans*- β -apo-8'-carotenal fue adquirido (Sigma-Aldrich, Taufkirchen, Alemania). Un ejemplo de cromatograma resultante se muestra en la Figura 3.2.

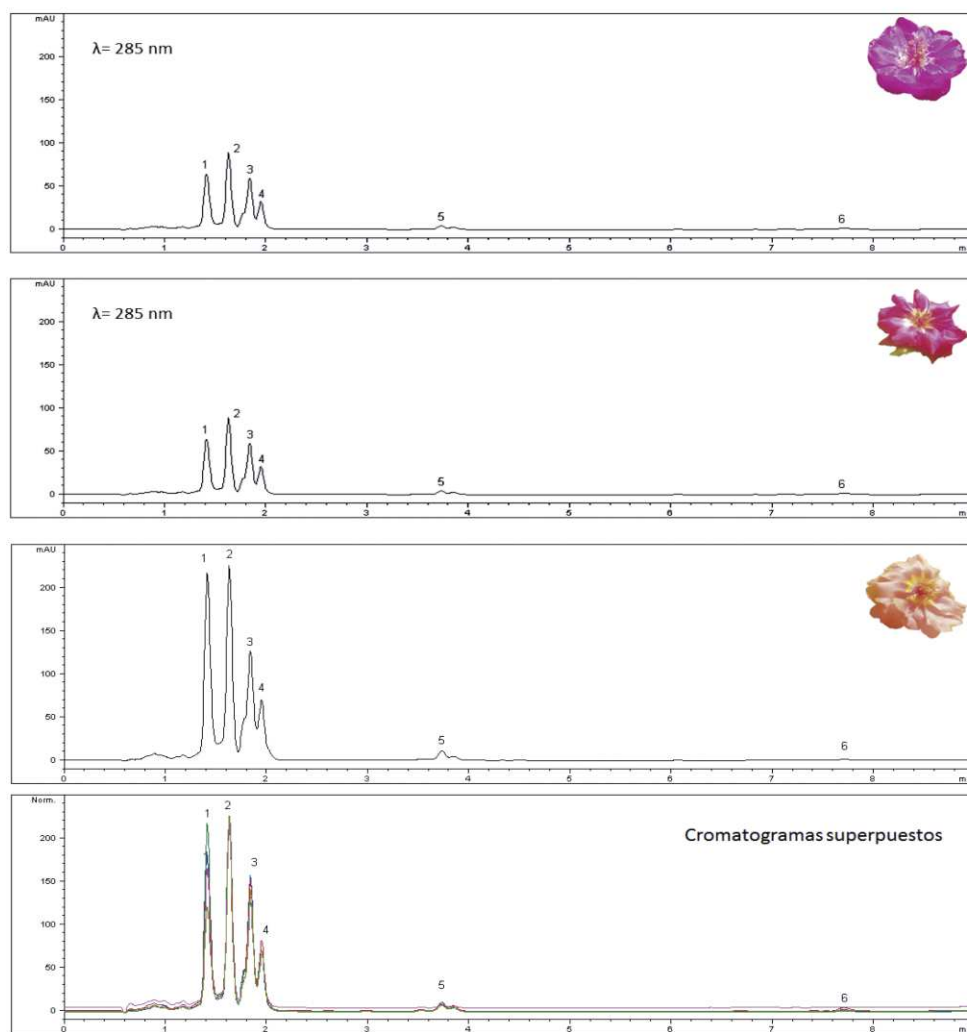


Figura 3. 2. Cromatogramas individuales y superpuestos ($\lambda = 450 \text{ nm}$) correspondientes a extractos de carotenoides de *Portulaca oleracea*. 1. luteína; 2. *cis*-anteraxantina (identificación tentativa); 3. isómero de anteraxantina (identificación tentativa); 4. isómero de zeinoxantina (identificación tentativa); 5. zeinoxantina; 6. β -caroteno

3.3. Análisis de compuestos fenólicos

3.3.1. Análisis de compuestos fenólicos en tomate

3.3.1.1. Extracción de compuestos fenólicos en tomate

La determinación de compuestos fenólicos en tomate se realizó siguiendo la metodología descrita por Martínez-Valverde y otros (2002) con algunas ligeras modificaciones. Aproximadamente 0,5 g de polvo liofilizado de tomate fue sometido a un proceso de extracción con 15 mL de una solución metanol: acetona (75:25) acidificada con 0.1 % de HCl (Martínez-Valverde, y otros 2002). La mezcla se agitó en un vortex (Genius 3, IKA, Staufen, Alemania) y luego en un baño de ultrasonido durante 15 min con el fin de mejorar la extracción. Los sólidos fueron separados por centrifugación a $4000 \times g$, durante 7 min a $4 \text{ }^\circ\text{C}$ en una centrífuga (Allegra X-12-R, Beckman-Coulter, Vernon Hills, USA). El extracto metanólico fue separado y

recolectado. Los sólidos fueron nuevamente extraídos con 5 mL de la solución metanólica. La mezcla se agitó en un vortex, luego en un baño de ultrasonido durante 7 min y se centrifugó para separar los sólidos. Este proceso fue repetido una vez más.

El extracto metanólico fue filtrado con filtros de nylon de 13 mm × 0.45 μm (Millipore, Billerica, MA, USA) y almacenado a -20 °C hasta su cuantificación por cromatografía líquida.

3.3.1.2. Análisis por cromatografía líquida de alta resolución de compuestos fenólicos en tomate

La cuantificación cromatográfica de los compuestos fenólicos se realizó siguiendo la metodología descrita por Jara-Palacios, *y otros* (2015). Así, el extracto metanólico fue pinchado en un cromatógrafo apropiado para UHPLC (*ultra-high performance liquid chromatography*) acoplado a un detector de arreglo de diodos (DAD) (UHPLC 1290, Agilent Technologies, Palo Alto, CA, USA) y provisto de una columna Eclipse Plus C18 (1.8 μm, 2.1 × 5 mm). Los volúmenes de inyección dependieron de la concentración del extracto de tomate y variaron entre 1 a 5 μL. El flujo de la fase móvil fue de 1 mL/min. La temperatura de la columna se ajustó a 30 °C y se usó un gradiente lineal de una solución acuosa de ácido fórmico 0.01% (A) y acetonitrilo grado HPLC (B): 100 % A, 0 min; 95 % A + 5 % B, 5 min; 50 % A + 50 % B, 20 min y 2 min de una etapa de lavado (Jara-Palacios, Hernanz y Cifuentes, *y otros* 2015).

La cuantificación e identificación de los compuestos fenólicos individuales se realizó mediante el software ChemStation. Los cromatogramas se monitorizaron a 280 nm para flavanonas y 320 para los ácidos hidroxicinámicos y flavonas. La identificación de los compuestos fenólicos presente en el tomate se llevó a cabo por comparación de su comportamiento espectroscópico y cromatográfico con sus respectivos estándares. El contenido de compuestos fenólicos totales en el tomate correspondió a la suma de compuestos individuales. Para las curvas de calibración de compuestos individuales se consideraron estándares de ácido gálico, ácido *p*-hidroxibenzoico, ácido siríngico, ácido cafeico, ácido *m*-cumárico, ácido *p*-cumárico, ácido clorogénico, ácido ferúlico, naringina, naringenina, etil galato, quercetina, kaempferol y crisina, los cuales fueron adquiridos (Sigma-Aldrich, Madrid, España). Un ejemplo del cromatograma resultante se muestra en la Figura 3.3. Los compuestos fenólicos individuales fueron clasificados en diferentes grupos: ácidos benzoicos (ácido *p*-hidroxibenzoico, ácido gálico y ácido *p*-cumárico), ácidos hidroxicinámicos (ácido clorogénico, ácido cafeico y ácido ferúlico) y flavonoles (quercetrina y quercetina).

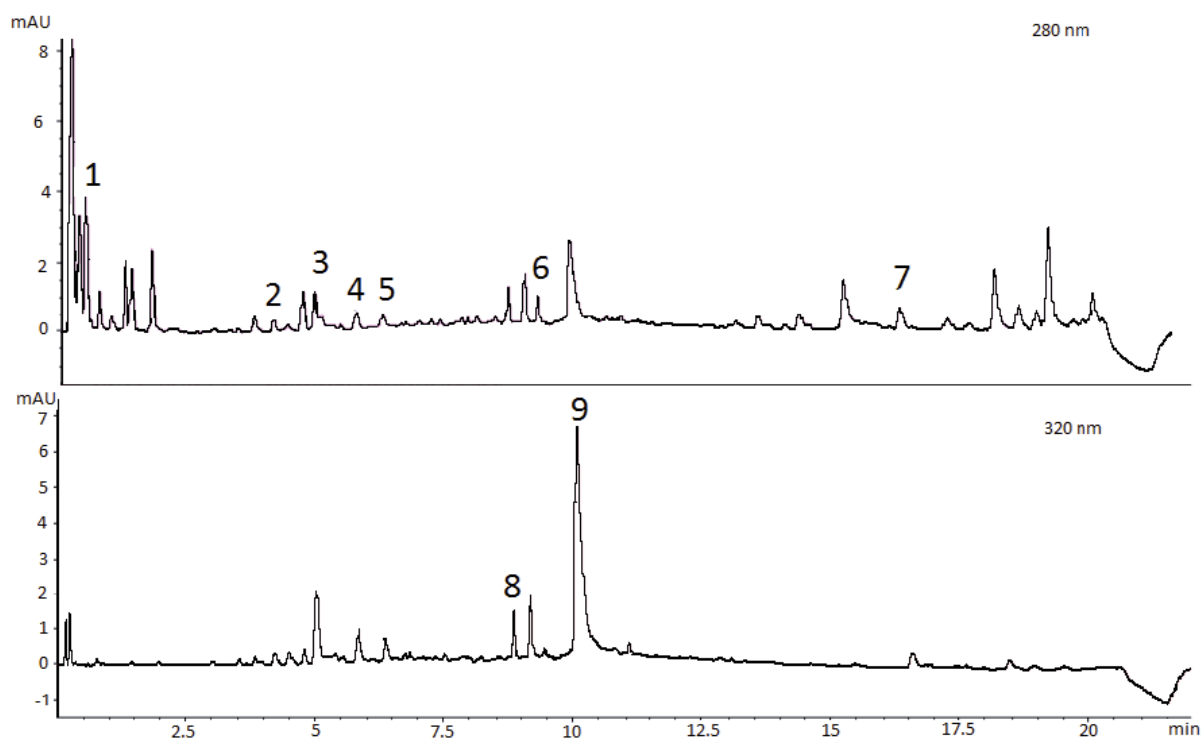


Figura 3. 3. Cromatogramas a diferentes longitudes de onda de compuestos fenólicos correspondientes a extractos de carotenoides del tomate. 1. ácido *p*-hidroxibenzoico; 2. ácido cafeico; 3. ácido clorogénico; 4. ácido *p*-cumárico; 5. ácido ferúlico; 6. naringina; 7. crisina; 8. quercetrina, 9. quercetina

3.3.2. Análisis de compuestos fenólicos en flores

3.3.2.1. Extracción de compuestos fenólicos en flores

La determinación de compuestos fenólicos en polvos liofilizados de flores se realizó siguiendo la metodología descrita por Jara-Palacios, *y otros* (2014). Para ello se realizó un re-escalado de todas las condiciones para trabajar con cantidades pequeñas de muestra (Jara-Palacios, Hernanz y González-Manzano, *y otros* 2014). Aproximadamente 40 mg de polvo liofilizado de pétalos de flores fue sometido a un proceso de extracción con 2.5 mL de una solución metanol:acetona (75:25) acidificada con 0.1 % de HCl. La mezcla se agitó en un vortex (Genius 3, IKA, Staufen, Alemania) y luego en un baño de ultrasonido durante 5 min con el fin de mejorar la extracción. Los sólidos fueron separados por centrifugación a 4000× *g*, durante 5 min a 4 °C en una centrifugadora (Allegra X-12-R, Beckman-Coulter, Vernon Hills, USA). El extracto metanólico fue separado y recolectado. Los sólidos fueron nuevamente extraídos con 1 mL de la solución metanólica. La mezcla se agitó en un vortex, luego en un baño de ultrasonido durante 2 min y se centrifugó para separar los sólidos. Este proceso fue repetido una vez más.

El extracto metanólico fue filtrado con filtros de nylon de 13 mm × 0.45 μm (Millipore, Billerica, MA, USA) y almacenados a -20 °C hasta el respectivo análisis.

3.3.2.2. Cuantificación de compuestos fenólicos totales en flores por espectrofotometría

El extracto metanólico obtenido fue cuantificado por el método de Folin-Ciocalteu y expresado como equivalentes de ácido gálico (EAG) tal como describen varios autores (Georgé, y otros 2005, Shahidi y Ambigaipalan 2015). Así, a 150 μL del extracto metanólico se añadió 250 μL del reactivo Folin-Ciocalteu y 750 μL de una disolución de carbonato de sodio (Na_2CO_3) al 20 % y se aforó a 5 mL con agua desionizada. Esta mezcla se dejó reposar durante 2 h y luego se midió la absorbancia a 765 nm en una cubeta de 10 mm de paso de luz.

Para la realización de rectas de calibrado se pesó 0.5 g de ácido gálico y se aforó a 100 mL. A partir de esta solución madre, se prepararon seis diluciones tomando 0, 1, 2, 3, 5 y 10 mL de la solución madre y se aforó a 100 mL. Con cada disolución se procedió de la misma forma que para la determinación de compuestos fenólicos en el extracto metanólico.

La concentración de compuestos fenólicos totales se calculó con los valores de absorbancia medidos a 765 nm y la recta de calibrado según la expresión siguiente:

$$FT = OA + (m * Abs)$$

Donde *FT* es la concentración de compuestos fenólicos totales, *OA* es la ordenada al origen de la recta de calibrado, *m* es la pendiente de la recta de calibrado y *Abs* la absorbancia medida en el espectrofotómetro a 765 nm.

3.3.2.3. Análisis por cromatografía líquida de alta resolución de compuestos fenólicos en flores

El análisis cromatográfico de los compuestos fenólicos se realizó básicamente siguiendo la metodología descrita por Jara-Palacios, y otros (2015), tal como se mencionó anteriormente en la sección 3.3.1. Un ejemplo de cromatograma se muestra en la Figura 3.4.

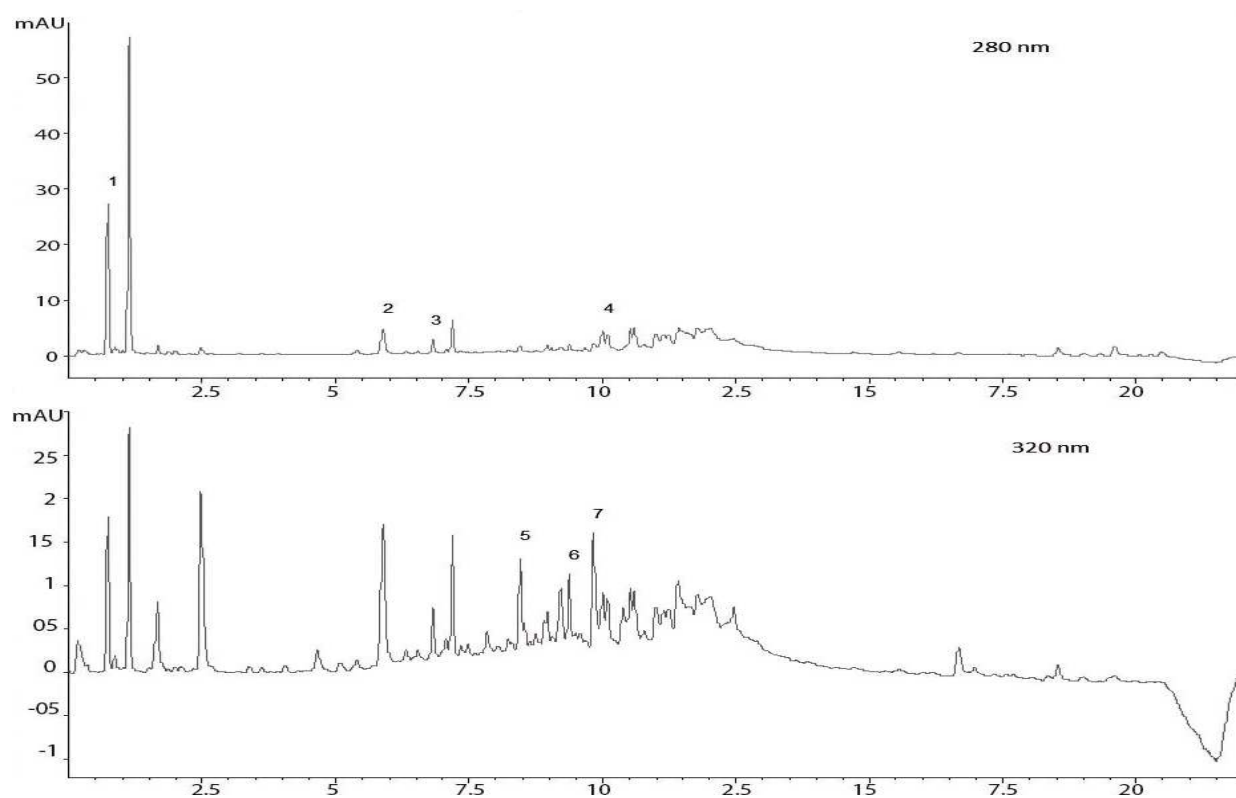


Figura 3. 4. Cromatogramas a diferentes longitudes de onda de compuestos fenólicos correspondientes a extractos de *Pelargonium domesticum*. 1. ácido gálico; 2. ácido sirínigico; 3. ácido *m*-cumárico; 4. naringina; 5. quercetrina; 6. mirecitina; 7. Quercetina

3.4. Aplicación de riego deficitario controlado en tomate

3.4.1. Cultivo

Se realizaron tres ensayos: durante los meses de febrero a julio del 2015 (primavera 2015), septiembre del 2015 a marzo del 2016 (otoño) y enero a julio del 2016 (primavera 2016). Las fechas de obtención de planta, trasplante y recolección se pueden ver en la Tabla 3.1.

3.4.1.1. Tomates comunes y cherry

Se realizó un ensayo de riego deficitario controlado (RDC) previo, con dos variedades de tomate cherry ('Lazarino' y 'Summerbrix'), cinco variedades comerciales ('Green Zebra', 'Sunchola', 'Tigerella', 'Byelsa' y 'Palamós') y una variedad grande ('Orange'). Estas variedades fueron cultivadas durante los meses de febrero a julio del 2015 (primavera 2015).

3.4.1.2. Tomates cherry

Se realizaron dos ciclos de cultivo, uno de otoño y otro de primavera, de las dos variedades de cherry (Lazarino y Summerbrix) durante los meses de septiembre del 2015 a marzo del 2016 (otoño) y enero a julio del 2016 (primavera 2016).

Tabla 3. 1. Calendario de los tres ciclos de cultivo.

	Siembra	Trasplante	Recolección
Primavera 2015	15/12/2014	9 /02/ 2015	21/06/2015
Otoño	31/08/2015	22 /09/ 2015	08/01/2016 a 11/03/2016
Primavera 2016	10/12/2015	15/01/2016	20/06/2016 a 24/06/2016

Los invernaderos en el que se realizaron los ensayos estuvieron ubicados en la ETSIA de la Universidad de Sevilla situada en Ctra. Utrera, km 1, 41013 en el sur-este de España, 37° 21' 9" latitud norte, 5° 56' 10.5" longitud oeste a 33 m sobre el nivel del mar. Los invernaderos estuvieron cubiertos de plástico transparente con un 67 % de transmisibilidad de la radiación y ventilación a través de bandas laterales y arcos.

Las plantulas de tomate para el cultivo se obtuvieron en la ETSIA, las semillas fueron donadas por la empresa obtentora (FITO). La fase de vivero se realizó en un invernadero, con control de temperatura, durante 30 días. La siembra se realizó en bandejas de poliespan, con alvéolos de 46,7 cc de capacidad. El sustrato empleado para la obtención de planta fue una mezcla de turba rubia y negra (1:1) corregida.

Cuando las plantas desarrollaron la tercera o cuarta hoja verdadera fueron trasplantadas en el suelo de los invernaderos, este fue un suelo franco arcilloso con un 21.5 % de arena gruesa, 4.5 % de arena fina, 42.5 % de limo y 31.8 % de arcilla; además presentó un pH de 8.11, 2.5 % de materia orgánica, 1050.0 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ de conductividad eléctrica, 0.25 % de N, 126.0 $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ P, 0.73 % Ca, 0.25 % Mg, 0.04 % Na y 0.13 % K.

El cultivo de las plantas se llevó a cabo con las técnicas culturales habituales en el cultivo de tomate en bajo abrigo. Se aporcaron las plantas al inicio del cultivo, se entutoraron cuando estuvieron establecidas en el suelo, y la poda se realizó a un tallo. El despunte se llevó a cabo cuando las plantas alcanzaron la máxima altura del sistema de entutorado (2 m de altura). Para mantener un adecuado estado sanitario y facilitar la aireación dentro del cultivo, se practicó el deshojado de las partes más bajas de la planta a medida que fue necesario. Las variedades empleadas, son de crecimiento indeterminado en las que las distintas fases fenológicas del cultivo se solapan, coincidiendo el desarrollo vegetativo con floración, cuajado y maduración de

frutos en distintos niveles de desarrollo (las diferentes inflorescencias van apareciendo en la planta a distintas alturas).

3.4.2. Medidas relativas al agua en la planta

El diseño experimental fue de bloques al azar con tres repeticiones por tratamiento (Figura 3.5). Cada parcela estuvo formada por 30 plantas repartidas en tres líneas con una densidad de 2 plantas.m⁻², con una separación de 50 cm entre plantas y 1 m entre líneas. Se tomaron las medidas de las 7 plantas del interior de la parcela, el resto se consideraron líneas borde o guarda.

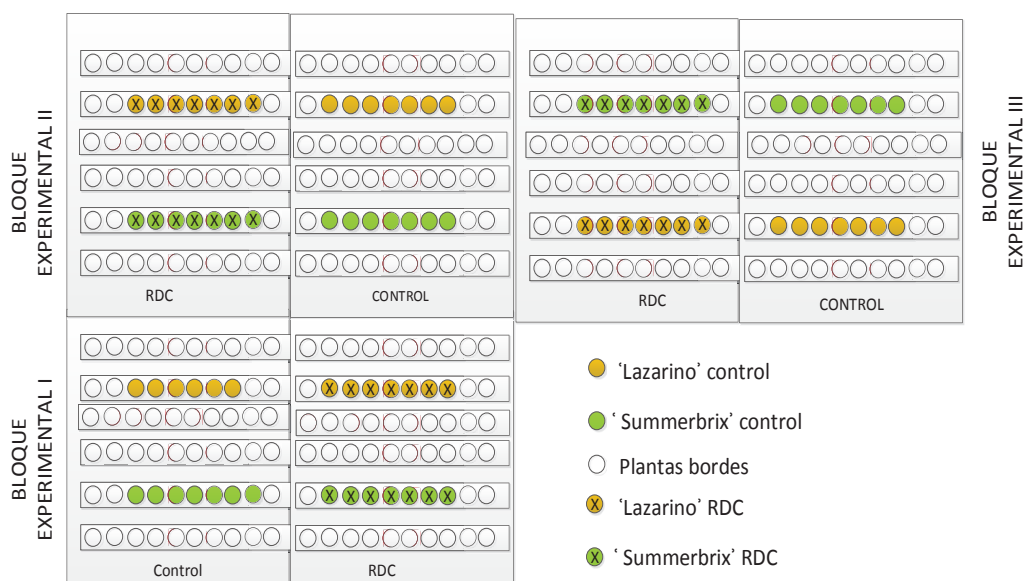


Figura 3. 5. Croquis de cada bloque experimental.

Durante la fase de establecimiento del cultivo (dos semanas después del trasplante) el aporte hídrico fue del 100 % de la evapotranspiración de cultivo (ET_c). Transcurrido el tiempo de establecimiento del cultivo se diferenciaron los dos tratamientos de riego:

- Control (C): 100 % de la evapotranspiración potencial del cultivo (ET_c) según el método de Penman-Monteith de la FAO (Allen, y otros 2006).
- Potencial hídrico (Ψ_h): tratamiento de riego deficitario controlado en función de las medidas del potencial hídrico de la hoja, al medio día solar. Se estableció un único umbral de riego de -1 MPa.

El riego se decidió en función de la medida del potencial hídrico de la hoja (Ψ_h) en cada parcela y la distancia al umbral establecido.

- Si la reducción era menor al 10%, se empleó una dosis de riego del 25% del riego control.
- Si la medida se encontraba entre el 10 y 30 %, se aportaba una dosis del 50% del tratamiento control.

La cantidad de agua suministrada en el tratamiento control y el RDC aparecen resumidas en la Tabla 3.2.

Tabla 3. 2. Cantidad de agua total suministrada en control y RDC en los tres ciclos de cultivo

Ciclo de cultivo	Variedad	Control (mm)	RDC (mm)
Primavera 2015	'Lazarino', 'Summerbrix', 'Tigerella', 'Palamós' y 'Byelsa'	532.2	55.1
Otoño*	'Summerbrix'	536.7	82.7
	'Lazarino'	536.7	82.7
Primavera 2016*	'Summerbrix'	582.7	89.3
	'Lazarino'	582.7	84.3

* Cantidad de agua total en la cosecha del quinto ramillete

3.4.3. Medidas de parámetros fisiológicos y de producción

En el primer ensayo de variedades cherry y comunes se aplicó RDC como se mencionó anteriormente y se cuantificó el potencial hídrico de la hoja (Ψ_h) en la cosecha. Además, se analizó la calidad de la cosecha como se detalla más adelante.

En los dos ensayos de variedades cherry (otoño y primavera 2016), se realizó un seguimiento más pormenorizado del cultivo, con las siguientes medidas en planta:

- Altura de la planta (cm)
- Número de hojas
- Número de inflorescencias
- Desarrollo fenológico de la inflorescencia:
 - Número de botones
 - Número de flores abiertas
 - Número de frutos cuajados
- Producción
 - Número de frutos por planta (frutos.planta⁻¹)
 - Gramos.planta⁻¹

- kg.m^{-2}
- Se midió semanalmente el potencial hídrico de la hoja (Ψ_h) al medio día solar con una cámara de presión (Pressure Chamber Instruments 670, PMS Instrument Company, USA).
- Se registraron:
 - Medidas de contenido de agua en el suelo con una sonda de reflectometría en el dominio de las frecuencias (FDR) (ECH₂O HS10, Decagon Devices, USA).
 - Condiciones ambientales en el inverandero: temperatura y humedad relativa, y se calculó el déficit de presión de vapor (DPV). Para ello se empleó un dataloger (CR10X con AM 416 multiplexer, Campbell Sci. Ltd., Logan, USA); las medidas fueron tomadas cada minuto y se registró el promedio de dichas medidas cada 15 min.
- Se realizaron medidas gravimétricas de humedad en el suelo a 20, 40 y 60 cm de profundidad en tres ocasiones para analizar el perfil completo.

3.4.4. Análisis de la calidad comercial

Se analizó la calidad comercial de cada cosecha, durante el periodo de recolección de cada ciclo de cultivo. La calidad comercial se analizó siguiendo la metodología descrita por Coyago-Cruz, *y otros* (2017).

- Peso de cada fruto (g), en una balanza digital (Mettler Toledo, Barcelona, España).
- Sólidos solubles (SS) (°Brix), se realizó la medida habitual en campo. Se cortó en dos partes el tomate y se dispuso algunas gotas de jugo en el lente de un refractómetro de mano (RHC-200 ATC, Huake, China).
- Parámetros de color L^* , a^* , b^* , C^*_{ab} , h_{ab} . Se empleó un colorímetro (Minolta CM-700d, Minolta, Bremen, Alemania), que registró el espectro comprendido entre 380 a 770 nm, obteniéndose los parámetros colorimétricos correspondientes al espacio uniforme CIELAB (CIE 1978). En el espacio de color CIELAB se definen tres coordenadas colorimétricas: L^* (claridad o luminosidad), que toma valores entre 0 (negro) y 100 (blanco); a^* , que toma valores positivos para colores rojizos y negativos para verdosos; y b^* , que toma valores positivos para colores amarillentos y negativos para los azulados (Figura 3.6).

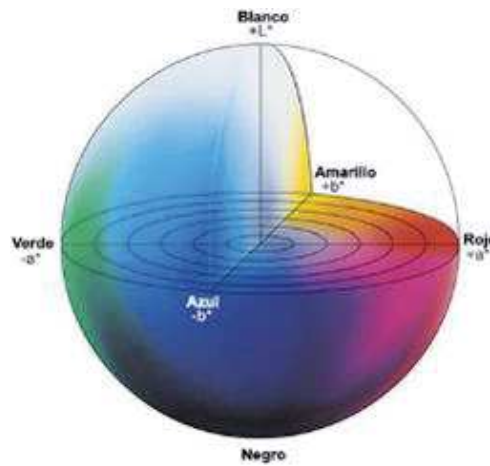


Figura 3. 6. Presentación espacial de las coordenadas CIELab (KONICA-MINOLTA 2016, Stinco 2012)

A partir de las coordenadas a^* y b^* se definen dos magnitudes colorimétricas, el tono (h_{ab}) y el croma (C^*_{ab}), las cuales se pueden calcular con las siguientes ecuaciones:

$$C^* = \sqrt{a^2 + b^2}$$

$$H^o = \tan^{-1}\left(\frac{a}{b}\right)$$

El tono es el atributo cualitativo del color y permite distinguir un color con respecto al gris de igual luminosidad. El croma es el atributo cuantitativo del color y permite determinar para cada tono su grado de diferencia en comparación con un color gris con la misma luminosidad (Melendez-Martinez, y otros 2011). El iluminante considerado fue el estándar D_{65} , relacionado con una temperatura de color aproximadamente de 6504 K. Se tomó también como referencia el Observador Estándar Colorimétrico Suplementario 1964 u Observador de 10° . El colorímetro se programó para registrar el promedio de tres medidas consecutivas, las cuales fueron tomadas a lo largo del diámetro ecuatorial de la fruta.

3.4.4.1. Tomates de diferente color y tamaño

El análisis de calidad de once variedades de tomate de diferentes grupos varietales, con diversas coloraciones: cherrys, *money maker*, pera y coloreados (Figura 3.7) se realizó diferenciando dos grupos: cinco variedades cherry comerciales disponibles en supermercados en la actualidad en Sevilla ('Cherry amarillo', 'Cherry pera', 'Cherry naranja', 'Minichocmato' y 'Cherry rojo') y seis variedades cultivadas en invernadero bajo condiciones normales de riego ('Green Zebra', 'Sunchola', 'Tigerella', 'Byelsa', 'Palamós' y 'Orange'). Estos dos grupos

permitieron conformar un bloque variado de tomates de diferente color disponibles en la actualidad en el mercado.

Por otra parte, para la cuantificación de los parámetros de calidad (explicados en el anterior apartado) en las variedades cherry, se dispuso de un lote de cuarenta tomates adquiridos de un mismo supermercado, el cual aseguró, dentro de lo que cabe, la homogeneidad de la muestra. En el otro caso, se dispuso de veintiún frutos de siete plantas diferentes (tres frutos por cada planta) seleccionados al azar, las cuales fueron cultivadas en primavera del 2015 (primavera 2015) en los invernaderos de la ETSIA.

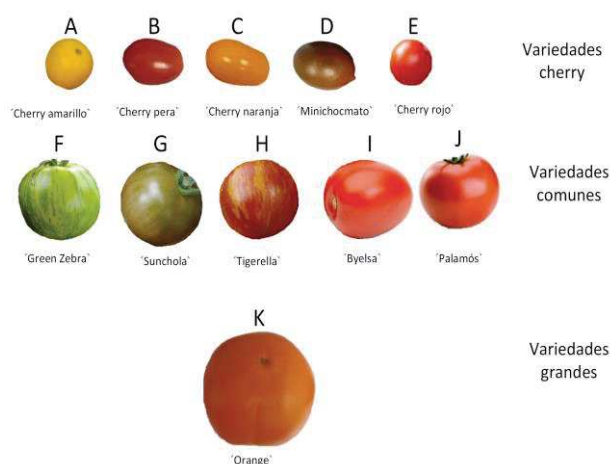


Figura 3. 7. Fotografías de variedades estudiadas de tomates cherry, comunes y grande, de diferentes colores

3.4.4.2. Variedades comunes y cherry sometidas a RDC

El análisis de las cinco variedades de tomate de diferentes grupos varietales (Figura 3.8) se realizó diferenciando dos grupos: tres variedades comerciales ('Byelsa', 'Palamós' y 'Tigerella') y dos variedades cherry ('Lazarino' y 'Summerbrix'), las cuales fueron cultivadas en los invernaderos de la ETSIA, tal como se señaló en la sección 3.4.1.

Para la cuantificación de los parámetros de calidad se recolectaron tomates completamente rojos de siete plantas en cada tratamiento (control y RDC). En los tomates cherry se recolectaron veintiún frutos seleccionados de siete plantas (tres frutos por cada planta), mientras que en tomates comunes fue un fruto por planta. Además para estudiar el efecto de la posición del ramillete se recolectaron tomates de tres niveles de desarrollo diferentes: PRI correspondió a frutos del primero y segundo ramillete; PRII, frutos del tercer y cuarto ramillete y PRIII, frutos del quinto y sexto ramillete.

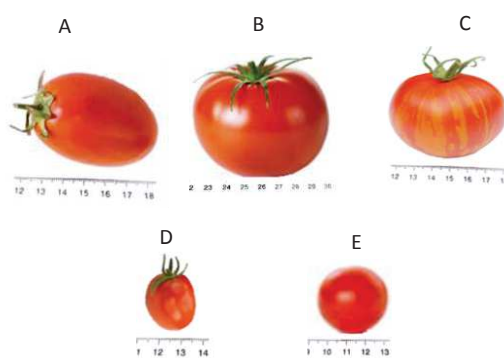


Figura 3. 8. Fotografía de tomates comunes: 'Byelsa' (A), 'Palamós' (B) y 'Tigerella'(C); variedades cherry: Summerbrix (D) y Lazarino (E)

3.4.4.3. Variedades cherry sometidas a RDC

En el ensayo de tomate cherry ('Lazarino' y 'Summerbrix') se emplearon frutos cultivados en los invernaderos de la ETSIA tal como se señala en la sección 3.4.1. La muestra incluyó tomates seleccionados de siete plantas, de tres ramilletes diferentes: primero (posición del ramillete I, PRI), tercero (PRII) y quinto (PRIII). Con tres índices de madurez: M1 (25 % rojo), M3 (75 % rojo) y M4 (100 % rojo), como se muestra en la Figura 3.9. Además el muestreo consideró el tomate recolectado de cada bloque experimental (tres bloques) y de plantas crecidas bajo los dos tratamientos (control y RDC).

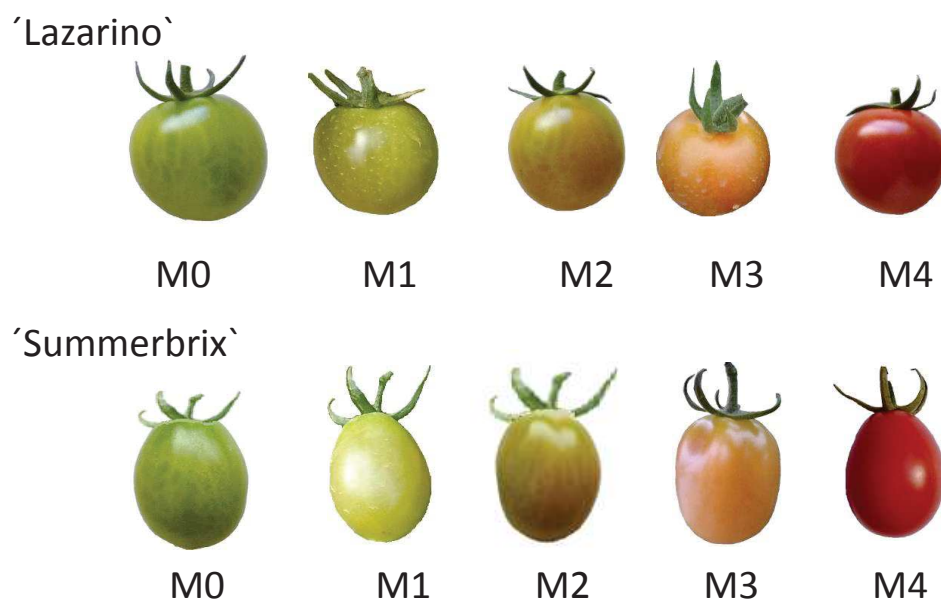


Figura 3. 9. Fotografía de tomates cherry con diferentes índices de madurez. M0: 0 % de rojo, M1: 25 % de rojo, M2: 50 % de rojo, M3: 75 % de rojo, M4: 100 % de rojo

3.4.4.4. Posición del fruto en el ramillete en variedades cherry

Para el análisis de la influencia de la posición del fruto en el ramillete se cosechó tomate de siete plantas del cuarto ramillete ubicadas en tres posiciones diferentes (Figura 3.10). La posición I (PI) correspondió al fruto situado en el ramillete cerca del tallo; la posición II (PII), al fruto ubicado en la parte central del ramillete y la posición III (PIII), al fruto ubicado en el ramillete en la posición distal o alejada del tallo. Además, el muestreo consideró tomate recolectado de cada bloque experimental (tres bloques). Este muestreo se realizó con los frutos en el mismo estado de maduración (Índice de madurez 4) para poder comparar sus características óptimas.

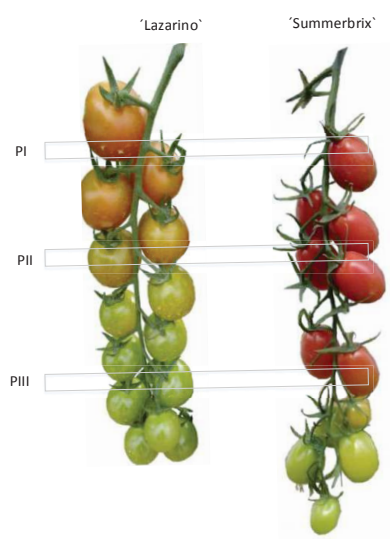


Figura 3. 10. Fotografía de la posición del fruto en ramillete en dos variedades cherry. PI, posición cercana al tallo; PII, posición media en el ramillete; PIII, posición alejada del tallo

3.5. Medidas instrumentales del color de pétalos de flores

Los pétalos se separaron de la corola y se dispusieron cuidadosamente sobre una lámina de color blanco para no provocar daño en la estructura ni alterar los parámetros de color. Se seleccionaron veintiún pétalos con tamaños superiores a 8 mm, dichos tamaños permitieron cubrir completamente el lente de medida del colorímetro.

Las medidas de los parámetros de color se realizaron básicamente siguiendo la metodología descrita para el análisis de la calidad comercial de tomate (Coyago-Cruz, y otros 2017), descrita anteriormente en la sección 3.4.4.

3.6. Análisis de datos.

El análisis estadístico se llevó a cabo con el programa STATGRAPHICS Centurion XVII. Se realizó un análisis de varianza simple (ANOVA) para el estudio del efecto del tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, posición del fruto en el ramillete e índice de madurez. A su vez, se realizó un análisis ANOVA factorial para la comparación de la variedad, el tratamiento de riego, la estación, el nivel de desarrollo del ramillete y el índice de madurez.

Se consideraron diferencias estadísticamente significativas a partir de un 90 % de nivel de confianza. Diferencias altamente significativas, para: $p < 0.001$, medias con un $p < 0.01$ y bajas con $p < 0.1$. En algunos casos, cuando existieron diferencias significativas, se realizó un test de separación de medias de Tukey's, con un nivel de confianza del 95 %.

En los gráficos que incluyeron el análisis estadístico, la separación de medias se representó por diferentes letras sobre las barras en comparación o mediante asteriscos, * $p < 0.1$; ** $p < 0.01$ y *** $p < 0.001$.

Igualmente se efectuó un estudio de las relaciones entre variables mediante análisis de regresión y correlación para los parámetros de calidad comercial (peso, SS, L*, a*, b*, C*_{ab}, h*_{ab}), contenido de carotenoides (fitoeno, licopeno, β -caroteno, luteína y carotenoides totales) y contenido de compuestos fenólicos (ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos, flavonoles y compuestos fenólicos totales).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Como ya se mencionó anteriormente, esta tesis doctoral tuvo dos objetivos principales. Por una parte, evaluar la calidad comercial y funcional en base al contenido de carotenoides y compuestos fenólicos del tomate en función de diferentes factores agronómicos. Por otra, evaluar el contenido de carotenoides y compuestos fenólicos en flores con miras a potenciar su interés en la alimentación.

De ahí que la presentación de resultados y su discusión se encuentren divididas en dos grandes bloques:

- Bloque I: Estudio de la agronomía y la calidad funcional del tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en función de la aplicación de riego deficitario controlado, el cultivar, el ciclo de cultivo y el nivel de desarrollo en el contexto de alimentos hidrosostenibles y alimentos funcionales.
- Bloque II: Estudio del contenido en compuestos bioactivos (carotenoides y compuestos fenólicos) en flores en el contexto de la alimentación funcional.

Dentro del bloque I se abordarán cuatro apartados, que corresponden a los diferentes ensayos realizados:

- Estudio de la calidad funcional en once variedades de tomate de diferente color y tamaño.
- Estudio del riego deficitario controlado y la posición del ramillete sobre la calidad funcional de cinco variedades de tomate.
- Efecto del riego deficitario controlado, ciclo de cultivo y nivel de desarrollo del ramillete sobre la calidad comercial y funcional de dos variedades de tomate cherry.
- Efecto de la posición de la fruta en el ramillete sobre la calidad funcional de dos variedades de tomate cherry.

BLOQUE I

Agronomía y calidad funcional del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Efecto del riego deficitario controlado, el cultivar, el ciclo de cultivo y el nivel de desarrollo del ramillete

4.1. Agronomía y calidad funcional del tomate (*Solanum lycopersicum* L.). Efecto del riego deficitario controlado, el cultivar, el ciclo de cultivo y el nivel de desarrollo del ramillete

4.1.1. Calidad comercial y funcional en once variedades de tomate de diferentes variedades, colores y tamaños

4.1.1.1. Contenido de carotenoides de once variedades de tomate



Figura 4. 1. Cromatogramas ($\lambda=450$ nm) correspondientes a extractos de carotenoides de diferentes variedades de tomates cherry en una columna C18. 1. luteína; 2. licopeno; 3. β -caroteno.

En la Figura 4.2 se muestran los contenidos de los principales carotenoides individuales encontrados en este estudio y el contenido total como la suma de sus compuestos individuales.



Figura 4. 2. Contenido de fitoeno, fitoflueno, luteína, licopeno, β -caroteno y carotenoides totales (mg/100 g PS) de tomates de diferente color y tamaño.

Las letras A, B, C, D, E en el eje x representan variedades cherry: 'Cherry amarillo', 'Cherry pera', 'Cherry naranja', 'Minichocmato', 'Cherry rojo', respectivamente; las letras F, G, H, I, J, K señalan tomates comunes: 'Green Zebra', 'Sunchola', 'Tigerella', 'Byelsa' y 'Palamós' y 'Orange', respectivamente. Las barras verticales indican el error estándar. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

4.1.1.2. Contenido de compuestos fenólicos de once variedades de tomate



Figura 4. 3. Contenido en compuestos fenólicos (mg/100 g PS) de tomates de diferentes colores.

Las letras A, B, C, D, E en el eje x representan variedades cherry: 'Cherry amarillo', 'Cherry pera', 'Cherry naranja', 'Minichocmato', 'Cherry rojo', respectivamente; las letras F, G, H, I, J, K señalan tomates comunes: 'Green Zebra', 'Sunchola', 'Tigerella', 'Byelsa' y 'Palamós' y 'Orange', respectivamente. Las barras verticales indican el error estándar. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

4.1.1.3. Calidad comercial de once variedades de tomate



Figura 4. 4. Peso medio de fruto (A), contenido en sólidos solubles (B) y Color (C y D): L*, a* y b*, en 11 variedades de tomate de diferentes colores.

Las letras A, B, C, D, E en el eje x representan variedades cherry: 'Cherry amarillo', 'Cherry pera', 'Cherry naranja', 'Minichocmato', 'Cherry rojo', respectivamente; las letras F, G, H, I, J, K señalan tomates comunes: 'Green Zebra', 'Sunchola', 'Tigerella', 'Byelsa' y 'Palamós' y 'Orange', respectivamente. Cada punto es la media de 40 datos en variedades cherry y 21 en variedades comunes. Las barras verticales indican el error estándar. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Tukey, $p < 0.05$.

4.1.1.4. Conclusiones del estudio de once variedades de tomate

4.1.2. Efecto del riego deficitario controlado y la posición del ramillete sobre la calidad funcional y comercial de cinco variedades de tomate de diferentes tamaños y colores¹

La aplicación del riego deficitario controlado en cultivos destinados a la alimentación puede resultar interesante ya que en ocasiones las dotaciones de agua son insuficientes para cubrir las necesidades del cultivo. Al tiempo que estas técnicas consiguen ahorrar agua durante el desarrollo del cultivo permiten mantener o incluso mejorar parámetros relacionados con la calidad global del producto, que los consumidores están dispuestos a valorar, pagando un valor añadido por un alimento certificado como hidrosostenible (Noquera-Artiaga, y otros 2016).

4.1.2.1. Contenido de carotenoides de cinco variedades de tomate

En la Figura 4.5 se muestra el contenido de los principales carotenoides individuales encontrados en este estudio y el contenido total como la suma de compuestos individuales de tres variedades comunes (Byelsa, Palamós y Tigerella) y dos variedades cherry (Lazarino y Summerbrix) cultivadas bajo condiciones de riego deficitario controlado y un riego control. Además, se presenta el contenido de carotenoides en tres posiciones del ramillete a lo largo de la planta (PRI, PRII y PRIII).

En la Tabla 4.1 se resumen primero los datos de los ANOVAS simples realizados por separado para cada factor estudiado: tratamiento de riego (RDC y control) y las diferentes posiciones del ramillete (PRI, PRII y PRIII), en cada una de las variedades sobre el contenido de carotenoides. Y en segundo lugar, el análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad.

De forma general, cuando se compararon todas las variedades, se observó que 'Summerbrix' y 'Tigerella' presentaron mayores contenidos de fitoeno y fitoflueno; 'Tigerella', mayor contenido de luteína; 'Tigerella' y 'Byelsa', mayor contenido de licopeno y 'Tigerella', mayor contenido de β -caroteno. Por otra parte, 'Tigerella', 'Summerbrix' y 'Byelsa' presentaron los mayores contenidos de carotenoides totales.

• ¹ El contenido de esta sección ha sido publicado: Coyago-Cruz, Elena, Mireia Corell, Carla Stinco, Dolores Hernanz, Alfonso Moriana, y Antonio Meléndez-Martínez. «Effect of regulated deficit irrigation on quality parameters, carotenoids and phenolics of diverse tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.).» *Food Research International* 96 (2017): 72-83.

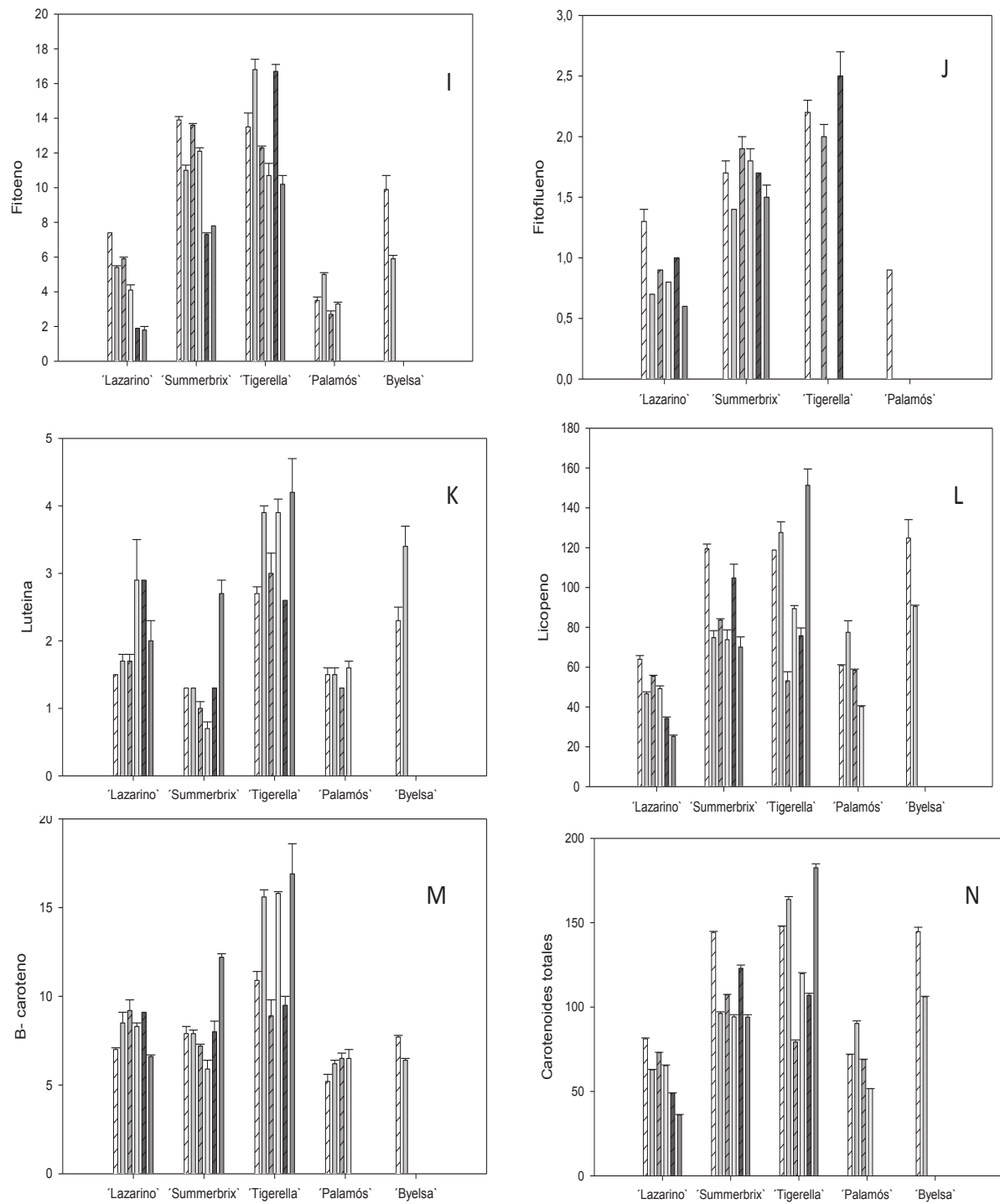


Figura 4. 5. Contenido de fitoeno (I), fitoflueno (J), luteína (K), licopeno (L), β -caroteno (M) y carotenoides totales (N) todos ellos expresados en mg/100 g PS de tomates de diferentes variedades en tres posiciones del ramillete.







Las barras  representan datos correspondientes a la posición del ramillete I (PRI) en RDC;  control en PRI;  posición del ramillete II (PRII) en RDC;  control en PRII;  posición III (PRIII) en RDC;  control en PRIII.

Tabla 4. 1. Resumen del análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego (RDC y control) y la posición del ramillete en el contenido de carotenoides, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad. Valores de p

‘Lazarino’							
		Fitoeno	Fitoflueno	Luteína	Licopeno	β -caroteno	CT
RDC-C	PRI	0.0000	0.0000	0.0050	0.0001	0.0090	0.0000
	PRII	0.0000	0.0030	0.0130	0.0020	0.4600	0.0040
	PRIII	0.5400	0.0000	0.0000	0.0001	0.0001	0.0000
Posición	RDC	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
Ramillete	C	0.0000	0.0000	0.0008	0.0000	0.0036	0.0000
‘Summerbrix’							
		Fitoeno	Fitoflueno	Luteína	Licopeno	β -caroteno	CT
RDC-C	PRI	0.0001	0.0100	0.0010	0.0001	0.0050	0.0000
	PRII	0.0002	0.1400	0.0050	0.0300	0.0001	0.0100
	PRIII	0.0920	0.0200	0.0240	0.0020	0.0770	0.0030
Posición	RDC	0.0000	0.0200	0.0080	0.0001	0.0600	0.0000
Ramillete	C	0.0000	0.0007	0.0052	0.0001	0.0005	0.8100
‘Tigerella’							
		Fitoeno	Fitoflueno	Luteína	Licopeno	β -caroteno	CT
RDC-C	PRI	0.0050		0.0010	0.0480	0.0020	0.0090
	PRII	0.0120		0.0001	0.0002	0.0000	0.0000
	PRIII	0.0001		0.0010	0.0001	0.0002	0.0000
Posición	RDC	0.0002	0.0090	0.0004	0.0000	0.0006	0.0000
Ramillete	C	0.0000		0.6400	0.0000	0.2500	0.0000
‘Palamós’							
		Fitoeno	Fitoflueno	Luteína	Licopeno	β -caroteno	CT
RDC-C	PRI	0.0081		0.3270	0.0000	0.0020	0.0000
	PRII	0.0002		0.0080	0.0070	0.2000	0.0050
	PRIII						
Posición	RDC	0.0048		0.0157	0.0060	0.0041	0.0150
Ramillete	C	0.0000		0.0010	0.0004	0.3200	0.0000
‘Byelsa’							
		Fitoeno	Fitoflueno	Luteína	Licopeno	β -caroteno	CT
RDC-C	PRI	0.0008		0.0002	0.0030	0.0001	0.0014
	PRII						
	PRIII						
ANOVA factorial							
		Fitoeno	Fitoflueno	Luteína	Licopeno	β -caroteno	CT
Tratamiento de riego		0.0050	0.0000	0.0000	0.5300	0.0008	0.5800
Posición del ramillete		0.0000	0.6100	0.0034	0.0008	0.2500	0.0007
Variedad		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

RDC-C señala la diferencia estadística entre el tratamiento —RDC y control (C)—; PRI, PRII, PRIII indican la posición de los ramilletes I, II y III respectivamente; CT, los carotenoides totales. Los valores en color rojo no representan diferencias significativas con $p > 0.1$.

En las muestras del tratamiento de riego control, los niveles de fitoeno oscilaron entre 1.8 (PRIII en ‘Lazarino’) y 16.8 mg/100 g de peso seco (PS) (PRI en ‘Tigerella’). Los de fitoflueno en variedades cherry oscilaron entre 0.6 (PRI en ‘Lazarino’) y 1.8 mg/100 g PS (PRII en ‘Summerbrix’), mientras que en algunos casos no pudieron ser detectados en las variedades comunes. El contenido en luteína osciló entre 0.7 (PRII en ‘Summerbrix’) y 4.2 mg/100 g PS (PRIII en ‘Tigerella’), mientras que el del licopeno, el carotenoide mayoritario en todas las

variedades, osciló entre 25.2 (PRIII en ‘Lazarino’) y 151.3 mg/100 g PS (PRIII en ‘Tigerella’). El β -caroteno fue el segundo carotenoide más importante en términos cuantitativos y mostró rangos entre 5.9 (PRII en ‘Summerbrix’) y 16.9 mg/100 g PS (PRIII en ‘Tigerella’). Estos datos fueron comparables con otros estudios en los que se reportaron rangos entre 10 y 300 μ g/g PS de fitoeno en ciertas variedades comunes (Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010, Perveen, y otros 2015) y 0.67 a 0.69 mg/100 g peso fresco (PF) en variedades cherry (Pernice, Parisi, y otros 2010); rangos entre 10 a 60 μ g/g PS de luteína en variedades comunes (Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010); rangos entre 100.0 a 370.0 μ g/g PS de licopeno en tomate rojo (Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010, Cortés-Olmos, y otros 2014, Choi, y otros 2014, Verheul, Slimestad y Holta 2015) y rangos entre 5.0 a 160 μ g/g PS de β -caroteno en tomate rojo (Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010, Cortés-Olmos, y otros 2014).

Como se esperaba, la mayor contribución a los carotenoides totales estuvo marcada por la concentración de licopeno. Por otra parte, a pesar de su reducido tamaño, ‘Summerbrix’ presentó importantes cantidades de carotenoides totales comparado con las variedades grandes.

4.1.2.1.1. Carotenoides y tratamiento de riego (RDC vs control) de cinco variedades de tomate

El régimen hídrico influyó en el contenido de fitoeno en todos los casos, excepto en ‘Lazarino’ en la posición de ramillete III (PRIII). Así, el tratamiento hídrico provocó una disminución del contenido de fitoeno del 30 % en PRI y del 18 % en PRII en ‘Palamós’, y un aumento entre el 11 % en PRII en ‘Summerbrix’ y el 40 % en PRIII en ‘Tigerella’ y PRI en ‘Byelsa’. Este hecho señala que la disminución o aumento del contenido de fitoeno producida por el riego deficitario fue también dependiente de la variedad, así como de la posición del ramillete como se expondrá más adelante.

El contenido de fitoflueno fue influenciado por el tratamiento en todos los casos, excepto en ‘Summerbrix’ en la posición de ramillete II (PRII) y a su vez en ‘Byelsa’ y PRII en ‘Palamós’ que presentó límite no detectable en el contenido de las muestras control y RDC. Así, el tratamiento de riego deficitario provocó un aumento del contenido de fitoflueno con incrementos entre el 11 (PRII) y el 46 % (PRI) en ‘Lazarino’, e incrementos del 12 (PRIII) al 21 % (PRI) en ‘Summerbrix’ y un aumento del 100 % en todas las posiciones en ‘Tigerella’ y PRI en ‘Palamós’.

El contenido de luteína fue influenciado por el tratamiento en todos los casos excepto en 'Summerbrix' y 'Palamós' en PRI. Así, en la mayoría de los casos se observó una disminución del contenido de luteína, que osciló entre el 19 (PRII en 'Palamós') y el 52 % (PRIII en 'Summerbrix').

El tratamiento de riego deficitario controlado afectó al contenido de licopeno en todos los casos; así, las variedades cherry y 'Byelsa' presentaron un aumento del contenido de licopeno con incrementos entre el 12 % (PRII en 'Summerbrix') y el 37 % (PRI en 'Summerbrix'), mientras que 'Tigerella' presentó una disminución del contenido de 7 % en PRI, 41 % en PRII y 50 % en PRIII.

El contenido de β -caroteno también se vio afectado por el tratamiento deficitario en todos los casos, excepto en la PRII de 'Lazarino' y 'Palamós'. Así, el tratamiento de riego provocó una disminución del contenido de β -caroteno en 'Tigerella' del 30 % en PRI y del 44 % en PRII y PRIII y, a su vez, un aumento en 'Byelsa' del 17 % y en el resto de variedades se observaron aumentos y disminuciones que dependieron de la posición del ramillete.

Estudios anteriores ya han mostrado variaciones del contenido de diferentes carotenoides según los cultivares empleados. Un estudio italiano, centrado en variedades de pequeño tamaño para procesado industrial describió un aumento de un 36 % en fitoeno, 46 % en fitoflueno, 37 % en licopeno y 30 % en β -caroteno con una reducción del riego de un 92 %, en una de las variedades (PC01). Sin embargo, en otra de las variedades estudiadas (PC05) bajo las mismas condiciones se observó una disminución del contenido de fitoeno de un 9 %. Con una reducción de un 50 % en la cantidad de agua también se produjo una reducción del contenido de β -caroteno en un 31 % en 'PC01' (Pernice, Parisi, y otros 2010), no conocemos el estado hídrico del cultivo, solo la reducción de lámina de agua aplicada. Otros autores también observaron un aumento del contenido de licopeno de un 20% en variedades cherry cultivadas en primavera y de un 19 % en invierno cuando fue reducida la cantidad de agua en un 33 % (Wang, y otros 2011). En otro estudio en variedades de tomate para procesamiento, se observó una disminución del contenido de β -caroteno en un 26 % cuando la cantidad de agua fue reducida en un 94 % (Favati, y otros 2009). Así, en nuestro estudio con una reducción de la cantidad de agua del 90 %, en variedades cherry, se lograron aumentos en la mayoría de los casos en todos los carotenoides individuales con variaciones entre el 10 % (PRII, en β -caroteno, en 'Lazarino') y 46 % (PRI, en fitoeno, en 'Lazarino'); en el estudio de Pernice en 'PC01' (variedad tipo pera parecida a 'Summerbrix') con una reducción de agua del 92 % en el cultivo de primavera-verano del 2003 se lograron aumentos de entre el 36 % (fitoeno) y 49 % (fitoflueno); en el estudio de Wang en

variedades cherry con una reducción del 33 % se lograron aumentos entre el 19 y 20 % en dos ciclos de cultivo; por lo tanto nuestras condiciones de cultivo provocaron un aumento intermedio del contenido de carotenoides individuales, lo cual pudo estar relacionado con diferencias en el estado hídrico de los cultivos, producidas por el aporte de agua (90 % de reducción en nuestro estudio, 92 % en el estudio de Pernice y 33 % en el estudio de Wang) y las condiciones edafoclimáticas en cada cultivo, así como las técnicas empleadas (invernadero de plástico en nuestro estudio y el del equipo de Wang y en campo en el estudio de Pernice). Estas consideraciones han podido provocar diferentes niveles de estrés. Uno que cabría destacar es la radiación, ya que la protección del invernadero (plástico) provoca disminución de la incidencia de la radiación que en nuestro estudio fue del 25 %. Otro factor importante es el cultivar, estudios como el de Dumas y otros (2003), en una revisión sobre la influencia de factores agronómicos y ambientales sobre el contenido de licopeno en tomate, destacan la componente varietal unida al régimen hídrico, ya que la falta de agua reduce el contenido de licopeno en algunas variedades, pero aumenta en otras. El contenido de β -caroteno sufre modificaciones similares.

4.1.2.1.2. Carotenoides y posición del ramillete de cinco variedades de tomate

En general, el contenido de fitoeno, fitoflueno y licopeno se vió afectado por la posición del ramillete en todos los casos, el de luteína en algunos casos. Mientras el β -caroteno varió con la posición del ramillete, en todos los casos excepto en los frutos de plantas control de 'Tigerella' y 'Palamós'.

El mayor contenido de fitoeno en variedades cherry fue observado en 'Summerbrix' en la PRI (11.0 mg/100 g PS) y PRII (12.1 mg/100 g PS) en plantas control; en las variedades comunes se observó en 'Tigerella' en las mismas posiciones, con un contenido de 10.2 mg/100 g PS en PRI y 16.8 mg/100 g PS en PRII.

En la mayoría de los casos se observaron altos contenidos de licopeno en la PRI, especialmente, en las plantas crecidas bajo RDC y se observaron aumentos y disminuciones del contenido de β -caroteno, lo que dependió de la variedad. En otro estudio se observaron contenidos de licopeno en frutos de plantas control de 11.29 mg/100 g PF en el segundo ramillete y de 7.58 mg/100 g PF en el quinto ramillete en un cultivo de variedades de tamaño medio y un contenido de β -caroteno de 0.87 mg/100 g PF en el segundo ramillete y de 0.57 mg/100 g PF en el quinto ramillete (Atkinson, Dew, y otros 2011).

Por otra parte, el contenido de carotenoides totales se vió afectado por la posición del ramillete en todos los casos, excepto en las plantas control de 'Summerbrix'. Así, se detectaron niveles altos de carotenoides totales en plantas control en la PRI (1638.3 mg/100 g PS) y PRIII (1826.2 mg/100 g PS) de 'Tigerella'. En las plantas desarrolladas bajo RDC se observaron valores de 1441.8 mg/100 g PS en la PRI de 'Summerbrix', de 1478.3 mg/100 g PS en 'Tigerella' y de 1446.7 mg/100 g PS en 'Byelsa'.

4.1.2.1.3. Carotenoides y la interacción entre el tratamiento de riego, la posición del ramillete y la variedad de cinco variedades de tomate

En general, el análisis de ANOVA factorial que incluyó la variedad, el tratamiento de riego aplicado y la posición del ramillete (Tabla 4.1), reportó que el tratamiento hídrico afectó en menor medida al contenido de licopeno y carotenoides totales; la posición del ramillete afectó en menor medida al contenido de β -caroteno, y la variedad provocó mayor influencia en todos los carotenoides en estudio. Así, el contenido de carotenoides cuando se aplicó una reducción de agua del 90 % provocó en la mayoría de los casos cambios que dependieron de la variedad y la posición del ramillete. Sin embargo, al considerar todos los factores en este estudio, el riego deficitario controlado aplicado resultó tener menor importancia que la posición del ramillete y la variedad.

4.1.2.2. Contenido de compuestos fenólicos de cinco variedades de tomate

Los principales compuestos fenólicos encontrados en las variedades de tomate consideradas en este estudio fueron: ácido *p*-hidroxibenzoico, ácido *p*-cumárico, ácido cafeico, ácido clorogénico, ácido ferúlico, ácido gálico, quercetrina y quercetina, siendo los predominantes el ácido *p*-hidroxibenzoico, ácido clorogénico y quercetina.

En la Figura 4.6 se muestra el contenido de los principales grupos de compuestos fenólicos (ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoles) y el contenido total como la suma de sus compuestos individuales en tres posiciones del ramillete (PRI, PRII y PRIII).

La Tabla 4.2 resume primero los resultados de los ANOVAS simples realizados por separado para cada factor estudiado: tratamiento de riego (RDC y control) y las diferentes posiciones del ramillete (PRI, PRII y PRIII), en cada una de las variedades sobre el contenido de

compuestos fenólicos. En segundo lugar el análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad.

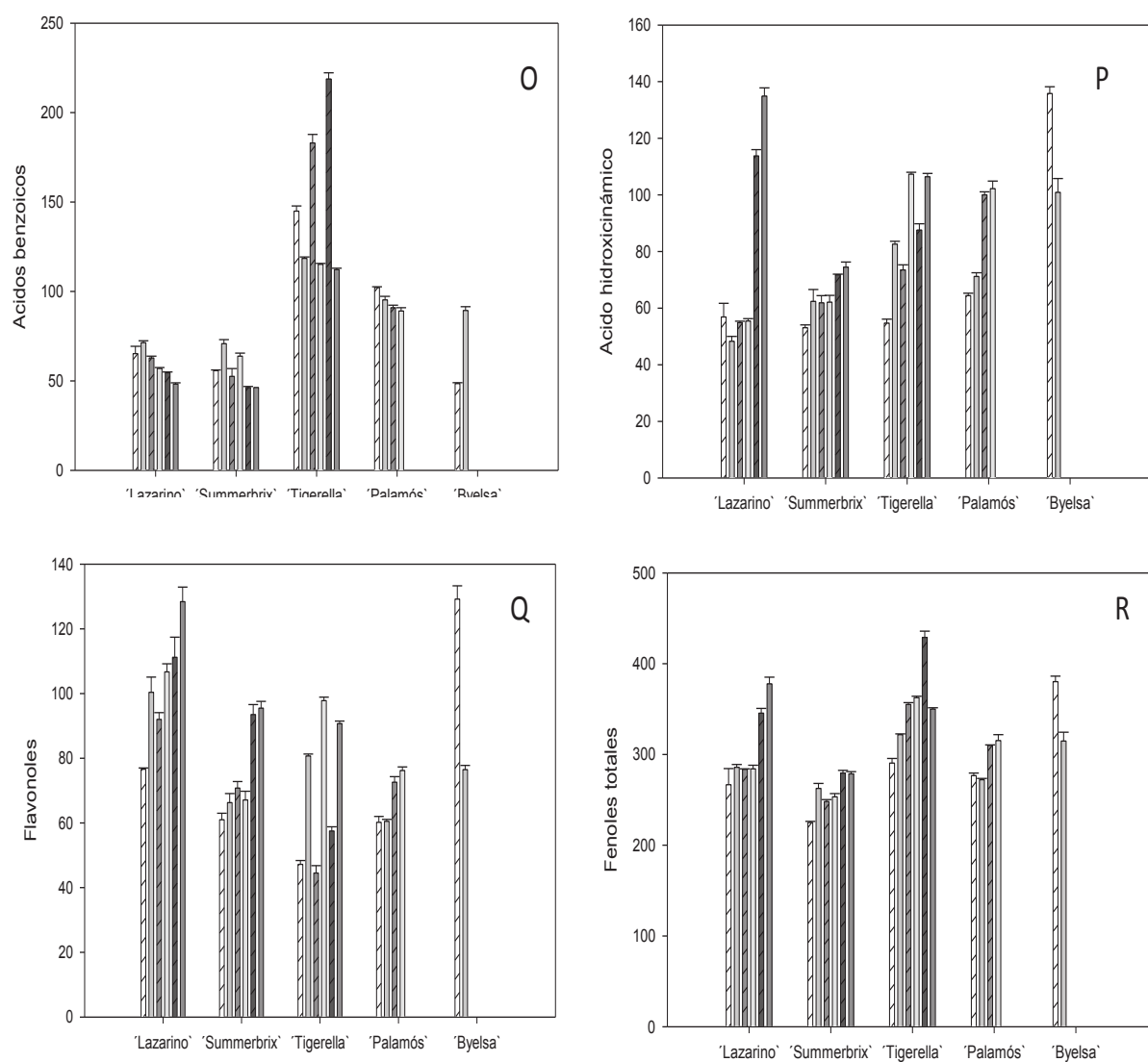


Figura 4. 6. Contenido de ácidos benzoicos (O), ácidos hidroxicinámicos (P), flavonoles (Q) y compuestos fenólicos totales (R), todos ellos expresados en mg/100 g PS de tomates de diferentes variedades en tres posiciones del ramillete.







Las barras  presentan datos correspondientes a la posición de ramillete I (PRI) en RDC;  control en PRI;  posición II (PRII) en RDC;  control en PRII;  posición III (PRIII) en RDC;  control en PRIII.

Tabla 4. 2. Resumen del análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego y la posición del ramillete en el contenido de compuestos fenólicos, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad. Valores de p

‘Lazarino’					
		Á. benzoicos	Á. hidroxicinámicos	Flavonoles	FT
RDC-C	PRI	0.2285	0.0366	0.0000	0.0012
	PRII	0.0002	0.1641	0.0010	0.1046
	PRIII	0.0000	0.0005	0.0108	0.0020
Posición	RDC	0.2161	0.0000	0.0000	0.0000
Ramillete	C	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
‘Summerbrix’					
		Á. benzoicos	Á. hidroxicinámicos	Flavonoles	FT
RDC-C	PRI	0.5870	0.0012	0.0010	0.0024
	PRII	0.1544	0.9193	0.0801	0.0744
	PRIII	0.0014	0.0052	0.3462	0.5560
Posición	RDC	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Ramillete	C	0.0028	0.0000	0.0000	0.0000
‘Tigerella’					
		Á. benzoicos	Á. hidroxicinámicos	Flavonoles	FT
RDC-C	PRI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
	PRII	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
	PRIII	0.0000	0.0001	0.0000	0.0006
Posición	RDC	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000
Ramillete	C	0.0003	0.0000	0.0000	0.0000
‘Palamós’					
		Á. benzoicos	Á. hidroxicinámicos	Flavonoles	FT
RDC-C	PRI	0.0024	0.1683	0.5991	0.4099
	PRII	0.0113	0.3400	0.0360	0.3314
	PRIII				
Posición	RDC	0.0008	0.0716	0.0003	0.6005
Ramillete	C	0.0112	0.0117	0.0000	0.0268
‘Byelsa’					
		Á. benzoicos	Á. hidroxicinámicos	Flavonoles	FT
RDC-C	PRI	0.0004	0.0004	0.0000	0.0001
	PRII				
	PRIII				
ANOVA factorial					
		Á. benzoicos	Á. hidroxicinámicos	Flavonoles	FT
Tratamiento de riego		0.0020	0.4000	0.2500	0.8800
Posición del ramillete		0.2800	0.0200	0.5900	0.0000
Variedad		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

RDC-C señala la diferencia estadística entre el tratamiento —RDC y control (C)—; PRI, PRII, PRIII indican la posición de los ramilletes I, II y III respectivamente; FT, compuestos fenólicos totales. Los valores en color rojo no señalan diferencias significativas con $p > 0.1$

De forma general, cuando se compararon todas las variedades se observó que ‘Tigerella’ presentó mayor contenido de ácidos benzoicos (valor medio de 148.8 mg/100 g PS); ‘Byelsa’ (valor medio de 118.4 mg/100 g PS) mayor contenido de ácidos hidroxicinámicos; ‘Byelsa’ (101.3 mg/100 g PS) y ‘Lazarino’ (102.4 mg/100 g PS), mayor contenido de flavonoles y

'Tigerella' (351.5 mg/100 g PS) y 'Byelsa' mayor contenido de compuestos fenólicos totales (347.5 mg/100 g PS).

El contenido de ácidos benzoicos presentó rangos entre 46.3 (PRIII en muestras control y RDC de 'Summerbrix' y 219.0 mg/100 g PS (PRIII en RDC de 'Tigerella'), con una contribución mayoritaria del ácido *p*-hidroxibenzoico; los ácidos hidroxicinámicos, rangos entre 48.3 (PRI del control de 'Lazarino') y 135.8 mg/100 g PS (PRI en RDC de 'Byelsa'), con una contribución mayoritaria del ácido clorogénico; los flavonoles, rangos entre 44.5 (PRII en RDC de 'Tigerella') y 129.2 mg/100 g PS (PRI en RDC de 'Byelsa'), con una contribución mayoritaria de la quercetina. Los datos referentes a los flavonoles estuvieron en consonancia con los reportados en otro estudio que concluyó que la quercetina en tomates cherry con riego normal presentó rangos entre 1.1 en 'PC01' y 1.7 mg/100 g PF en 'PC05' (Pernice, Parisi, y otros 2010), mientras que otros autores presentaron valores más bajos de quercetina, el flavonoide más representativo en tomate en este estudio, que osciló entre 0.46 y 1.1 mg/100 g PF (Dumas, y otros 2003).

4.1.2.2.1. Compuestos fenólicos y tratamiento de riego (RDC vs control) de cinco variedades de tomate

En general, el tratamiento de riego empleado influyó en el contenido de los ácidos benzoicos, excepto en las variedades cherry; en los ácidos hidroxicinámicos excepto en 'Palamós', y en los flavonoles, excepto en la PRIII de 'Summerbrix' y en la PRI de 'Palamós'.

El tratamiento hídrico provocó el aumento del contenido de los ácidos hidroxicinámicos en 'Tigerella' (18 % en PRI, 37 % en PRII y 49 % en PRIII) y en 'Palamós' (7 % en PRI y 2 % en PRII) y una disminución del 46 % en 'Byelsa'. A su vez, el contenido de los ácidos hidroxicinámicos aumentó el 26 % en 'Byelsa' y disminuyó en 'Tigerella' (34 % en PRI, 32 % en PRII y 18% en PRIII). En relación con este efecto cabe mencionar que existen estudios que indican que el ácido clorogénico, como mayor contribuyente de los ácidos hidroxicinámicos, aumenta en respuesta a una etapa de estrés y disminuye cuando finaliza (Lule y Xia 2005).

A su vez, el tratamiento hídrico provocó una disminución del contenido de flavonoles en 'Lazarino' (24 % en PRI, 14 % en PRII y 13 % en PRIII), en 'Tigerella' (42 % en PRI, 54 % en PRII y 37 % en PRIII) y en 'Palamós' (5 % en PRII); un aumento del contenido en 'Byelsa' del 41 % y en 'Summerbrix' aumentos y disminuciones que dependieron de la posición del ramillete. Estos resultados estuvieron en consonancia con los de otros autores que describieron

un aumento de la concentración de quercetina entre 1.07 a 5.62 mg/100 g PF en 'PC01' y 1.71 a 2.17 mg/100 g PF en 'PC05' (ambas variedades cherry) cuando la cantidad de agua fue reducida de 2400 a 200 m³/ha, y en este mismo estudio, también se observó un aumento de la concentración de quercetina cuando se disminuyó la cantidad de agua de 2400 a 1200 m³/ha (Pernice, Parisi, y otros 2010). Así una disminución de agua del 90 % en este estudio provocó aumentos del 5 % (PRII) y disminuciones del 8 % (PRI) en 'Summerbrix', cantidades bajas comparadas con en el estudio de Pernice que presentaron aumentos del 81 % en 'PC01' y 21 % en 'PC05' cuando se disminuyó el contenido de agua en un 92 %, en variedades cherry similares a nuestra variedad en comparación. Como ya se mencionó anteriormente, los bajos valores pudieron deberse a las diferentes condiciones edafoclimáticas y estados hídricos del cultivo, en nuestro caso, los compuestos fenólicos resultaron menos afectados por la aplicación de riego deficitario controlado que el estudio con el que se compara.

A su vez, otros estudios señalaron que el mayor cambio del contenido fenólico estuvo ligado a la variedad, si bien también es conocido que los niveles de estos compuestos pueden variar considerablemente debido a factores agronómicos y ambientales (Lea, y otros 2007, Olsen, y otros 2009, Dumas, y otros 2003).

El tratamiento de riego influyó sobre el contenido de compuestos fenólicos totales en la mayoría de los casos. Se observó una reducción del contenido total en 'Lazarino' (7 % en PRI y 9 % en PRIII) y en 'Summerbrix' (14 % en PRI, 2 % en PRI) y un aumento del 17 % del contenido en 'Byelsa'. En otro estudio se ha reportado un aumento del contenido de compuestos fenólicos totales de 40.91 a 55.68 mg EAG/100 g PF en variedades comunes cuando se aplican riegos deficitarios sostenidos, con reducciones del 40 % de la ETc durante todo el cultivo (Kumar, y otros 2015). Así, el porcentaje de aumento en variedades comunes en nuestro estudio fue menor que en el estudio de Kumar (26 %). Esto pudo deberse a la diferencia de metodologías empleadas para la cuantificación (cromatografía en nuestro estudio y espectrofotometría en el suyo), a diferencias en el estado hídrico del cultivo, producidas por la aplicación de riego (riego deficitario controlado en nuestro estudio y riego deficitario sostenido en el estudio de Kumar), datos que no conocemos por que en el estudio no se incluyen. Solo es posible comparar las láminas de agua aplicadas, que en nuestro caso pudieron provocar mayor estrés en la planta. En el momento de la recolección las medidas de potencial hídrico de hoja observadas fueron de -1 MPa en el RDC y -0.6 MPa en control para 'Palamós' y 'Byelsa'; -1.2 MPa en el RDC y -0.7 MPa en control en 'Tigerella', lo que pudo provocar la disminución del contenido de compuestos fenólicos producida por estrés hídrico, tal como sugieren otros autores (Lule y Xia 2005, Rhodes y Woollorton 1978).

4.1.2.2.2. Compuestos fenólicos y posición del ramillete de cinco variedades de tomate

Por lo general, la posición del ramillete provocó cambios en todos los casos en el contenido de los flavonoles, así como también en los ácidos hidroxicinámicos y ácidos benzoicos, con alguna excepción puntual.

Los niveles de ácidos hidroxicinámicos fueron en la mayoría de los casos altos en la PIII. Estos valores altos en los ramilletes superiores de la planta también fueron reportados por otros autores, cuyo contenido de ácido clorogénico como mayor contribuidor de los ácidos hidroxicinámicos en frutos de plantas control fueron de 1.08 mg/100 g PF en el segundo ramillete y de 1.59 mg/100 g PF en el quinto ramillete en un cultivo de variedades de tamaño medio (Atkinson, Dew, y otros 2011).

Los niveles de flavonoles aumentaron de la posición de ramillete I a la III en 'Lazarino' (31 % en RDC y 22 % en control) y en 'Summerbrix' (35 % en RDC y 31 % en control). El incremento de los niveles de flavonoles con la altura de la planta pudo estar relacionado a la cantidad de radiación incidente. Esta fue mayor en la parte superior de la planta, lo que pudo provocar un aumento del contenido de flavonoles en frutos ubicados en esta posición. Este comportamiento se ha descrito en trabajos de otros autores, en los que se observaron altos valores de compuestos fenólicos totales en la parte superior de la planta de tomate (hojas, peciolo y tallos). En este sentido, se concluyó que la tendencia creciente de la concentración de compuestos fenólicos en hojas frescas (parte superior de la planta) en la variedad IL12-4, pudo guardar relación con el menor contenido de agua en los órganos debido a la mayor biosíntesis de fenoles (Minutolo, y otros 2013). Así, la posición del ramillete estuvo influenciada por la radiación incidente (que depende de la época del año, a parte de la altura del cultivo), el nivel de desarrollo de la planta y el estado hídrico del cultivo, provocando cambios en la concentración de compuestos fenólicos. Por otra parte, la posición del ramillete influyó sobre el contenido de compuestos fenólicos totales en todas las variedades, excepto en los frutos de plantas control en 'Palamós'. En relación con todo ello, consideramos necesarios estudios más detallados, con una monitorización del estado hídrico del cultivo durante el desarrollo de cada ramillete para poder confirmar la relación entre el contenido de agua de los tejidos y el contenido en compuestos fenólicos.

4.1.2.2.3. Compuestos fenólicos y la interacción entre el tratamiento, la posición del ramillete y la variedad de cinco variedades de tomate

En general, según el análisis de ANOVA factorial que incluyó la variedad, tratamiento de riego y posición del ramillete (Tabla 4.2), se concluyó que el contenido de los ácidos hidroxycinámicos y los compuestos fenólicos totales fueron afectados en mayor medida por el tratamiento hídrico aplicado; los ácidos benzoicos y flavonoles fueron afectados en mayor medida por la posición del ramillete. La variedad resultó el factor más determinante, ya que produjo diferencias significativas sobre el contenido de todos los compuestos fenólicos estudiados.

4.1.2.3. Calidad comercial de cinco variedades de tomate

En la Figura 4.7 se muestran los principales parámetros de calidad comercial analizados: peso medio del fruto, contenido de sólidos solubles (SS) y parámetros de color, estudiados en los dos tratamientos de riego y tres posiciones del ramillete de las cinco variedades de tomate empleadas.

Dentro del grupo de variedades comunes 'Palamós' presentó mayor peso medio del fruto con un valor promedio de 102.8 g (con valores entre 96.3 en RDC de PRI a 109.1 g en control de PRII) comparadas con 'Byelsa' con un valor promedio de 54.5 g (con valores entre 43.3 en RDC y 65.6 g en control) y 'Tigerella' que presentó un valor promedio de 45.4 g (con valores entre 41.9 en RDC de PRII a 47.8 g en control de PRIII), mientras que en las variedades cherry, no se percibieron importantes diferencias entre 'Lazarino' con un valor promedio de 13.9 g (con valores entre 12.6 en control de PRIII a 16.4 g en control de PRI) y un valor promedio de 10.6 g en 'Summerbrix' (con valores entre 9.3 en RDC de PRII a 12.7 g en RDC en PRI). El contenido de SS en variedades cherry (10.6 de media en 'Summerbrix' y 7.5 °Brix en 'Lazarino') fue más alto que en las variedades comunes (media de 5.8 en 'Byelsa', 4.7 en 'Tigerella' y 4.6 °Brix en 'Palamós'). En general, los parámetros de color no mostraron diferencias relevantes entre las variedades dentro de este estudio.

El peso medio de los frutos de las plantas con tratamiento de riego control en las variedades cherry presentaron rangos entre 12.6 (PRIII) a 16.4 g (PRI) en 'Lazarino'; rangos entre 10.2 (PRII) a 10.5 g (PRI y PRIII) en 'Summerbrix'; rangos entre 44.2 (PRII) a 47.8 g (PRIII) en 'Tigerella'; valores de 96.3 (PRI) y 109.1 g (PRII) en 'Palamós' y 65.6 g en 'Byelsa'. Estos resultados ratifican lo expuesto por Flores *et al.*, (2016), que señaló que las variedades

muy pequeñas presentan rangos entre 9.2 a 14.2 g, mientras que las variedades de tamaño medio, rangos entre 69.0 a 162.0 g.

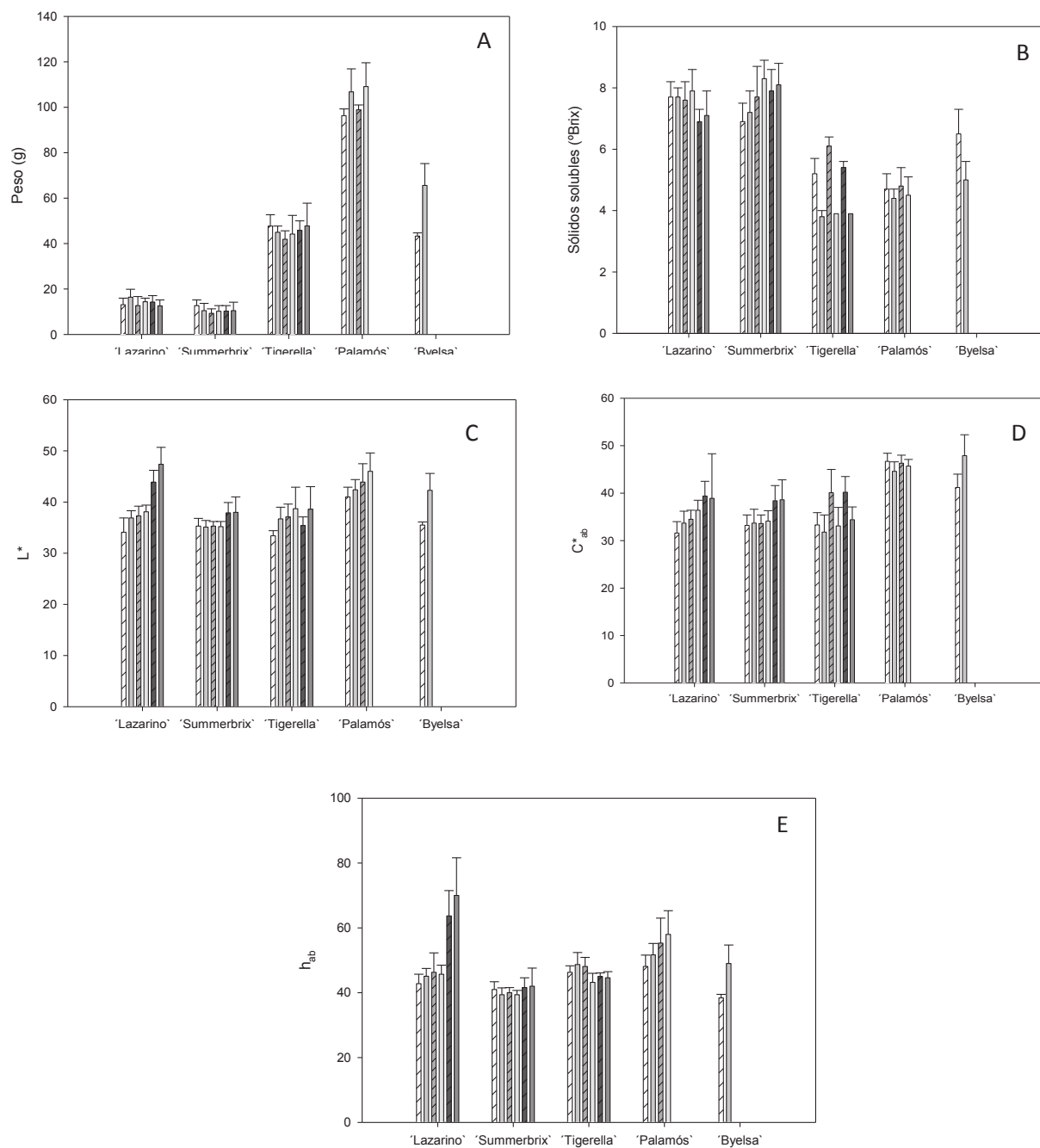








Figura 4. 7. Peso medio de fruto (A), contenido en sólidos solubles (B) y Color (C, D y E): L*, C*_{ab}, h_{ab}, de tomates de diferentes variedades en tres posiciones del ramillete.

Las barras  representan datos correspondientes a la posición del ramillete I (PRI) en RDC;  PRI de control;  posición del ramillete II (PRII) en RDC;  control en PRII;  posición III (PRIII) en RDC;  control PRIII.

El contenido de SS de los frutos de plantas control en tomates cherry presentaron rangos entre 7.1 (PRIII en 'Lazarino') a 8.3 °Brix (PRII en 'Summerbrix') y en variedades comunes, rangos entre 3.8 (PRI en 'Tigerella') a 5.0 °Brix (PRI en 'Byelsa'). Estos valores fueron semejantes a los publicados en otros estudios para variedades cherry con intervalos de SS de 7.6 a 7.7 °Brix (Figás, y otros 2015, Gómez, y otros 2001), mientras que para variedades comunes los valores oscilan entre 3.5 a 5.4 °Brix (Patané, Tringali y Sortino 2011, Vinha, y otros 2014, Gómez, Segura y Fernández 2010).

Con respecto a los parámetros de color en frutos del tratamiento control, L* presentó rangos entre 35.1 (PRI en 'Summerbrix') a 47.4 (PRIII en 'Lazarino'); C*_{ab}, rangos entre 31.8 (PRI en 'Tigerella') a 47.9 (PRI en 'Byelsa') y h_{ab}, rangos entre 39.4 (PRI en 'Summerbrix') a 70.0 ° (PRIII en 'Lazarino'). Estos resultados fueron similares a los de otros estudios que presentaron rangos de L* entre 28.0 a 44.6; de C*_{ab} entre 22.0 a 42.8 y de h_{ab} entre 40.7 a 60.1° en tomates rojos (Gómez, Segura y Fernández 2010, Vinha, y otros 2014, Stinco, Benítez-González, y otros 2014, Domene y Segura 2014).

En la Tabla 4.3 se resume primero los datos ANOVAS simples realizados por separado para cada factor estudiado: tratamiento de riego (RDC-C) y las diferentes posiciones del ramillete (posición I, II y III), en cada una de las variedades sobre los parámetros de calidad comercial. En segundo lugar el análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad.

Tabla 4. 3. Resumen del análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego y la posición del ramillete en la calidad comercial, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, posición del ramillete y variedad. Valores de p

'Lazarino'						
		Peso	SS	L*	C* _{ab}	h _{ab}
RDC-C	PRI	0.0020	0.7200	0.0001	0.0069	0.1420
	PRII	0.0800	0.2000	0.1500	0.0044	0.6986
	PRIII	0.0500	0.4400	0.0004	0.1277	0.0452
Posición	RDC	0.2800	0.0000	0.0400	0.0000	0.0000
Ramillete	C	0.0002	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000
'Summerbrix'						
		Peso	SS	L*	C* _{ab}	h _{ab}
RDC-C	PRI	0.0300	0.2800	0.7100	0.5119	0.0234
	PRII	0.1900	0.020	0.5500	0.2608	0.8782
	PRIII	0.8400	0.4100	0.9000	0.9845	0.8844
Posición	RDC	0.0002	0.0010	0.0000	0.0000	0.1397
Ramillete	C	0.9500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0691
'Tigerella'						
		Peso	SS	L*	C* _{ab}	h _{ab}
RDC-C	PRI	0.8300	0.0160	0.0080	0.4265	0.1940
	PRII	0.8200	0.0300	0.4500	0.0261	0.0178
	PRIII	0.1400	0.0020	0.1000	0.0038	0.6448
Posición	RDC	0.0800	0.3400	0.0100	0.0068	0.0499
Ramillete	C	0.1400	0.2700	0.5600	0.3876	0.0089
'Palamós'						
		Peso	SS	L*	C* _{ab}	h _{ab}
RDC-C	PRI	0.4100	0.1200	0.2200	0.0593	0.0769
	PRII	0.2700	0.2800	0.3000	0.3080	0.1865
	PRIII					
Posición	RDC	0.8600	0.7600	0.0800	0.8937	0.0203
Ramillete	C	0.6700	0.7200	0.0400	0.2860	0.0596
'Byelsa'						
		Peso	SS	L*	C* _{ab}	h _{ab}
RDC-C	PRI	0.0430	0.003	0.0004	0.0080	0.0010
	PRII					
	PRIII					
ANOVA factorial						
		Peso	SS	L*	C* _{ab}	h _{ab}
Tratamiento de riego		0.0180	0.2700	0.0000	0.1600	0.0300
Posición del ramillete		0.5000	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000
Variedad		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

RDC-C, señala la diferencia estadística entre el tratamiento —RDC y control (C)—; PRI, PRII, PRIII indican la posición de los ramilletes I, II y III respectivamente. Los valores de color rojo no representan diferencias significativas con $p > 0.1$.

4.1.2.3.1. Calidad comercial y tratamiento de riego (RDC vs control) de cinco variedades de tomate

El tratamiento de riego influyó en el peso medio del fruto de la variedad Lazarino en todos los casos, disminuyendo el calibre con el RDC, mientras que en 'Tigerella' y 'Palamós' no se observaron diferencias estadísticas con el riego. El estado hídrico del cultivo en la cosecha en el tratamiento RDC alcanzó niveles de estrés hídrico considerables, que según la bibliografía supone afectación a la producción. El potencial hídrico de la hoja fue de -0.2 a -0.5 MPa en control y -1.0 a -1.2 MPa en RDC. De modo que los resultados obtenidos en este primer ensayo coinciden con los trabajos de Ripoll y otros (2016), que señalan que la sensibilidad a la reducción de agua en cada fase de desarrollo del cultivo, depende en gran medida del genotipo y el nivel de estrés alcanzado con los tratamientos de RDC. En la bibliografía en cualquier caso los resultados son muy diversos, entre otros motivos por que los riegos deficitarios en la mayor parte de las ocasiones se aplican en función de las dotaciones de riego, no del estado hídrico del cultivo. De modo que por ejemplo en algunos trabajos no observaron diferencias en peso con la aplicación de RDC, en este caso con una reducción de un 60 % con respecto al control en dos variedades cherry TCLA 1420 y ProdivXXIVa 1297 los niveles de potencial hídrico de hoja a medio día fueron de -1.03 MPa en riego deficitario (en maduración de fruto) frente a -0.90 MPa en control en la variedad ProdivXXIVa 1297. También en tomate para la industria se han reportado descensos del tamaño de fruto de 67.1 a 34.4 g en el primer año de cultivo y de 72.6 a 44.1 g en el segundo año cuando se aplicó una disminución de agua del 88 % (Patané, Tringali y Sortino 2011). Similares conclusiones se encontraron en otros estudios en variedades para la industria como Ability y Shasta (Favati, y otros 2009, Ozbahce y Tari 2010). Esto sugiere que la variedad Lazarino podría ser más sensible al déficit hídrico, mientras que 'Tigerella' y 'Palamós' mostraron mayor resistencia al nivel de estrés alcanzado de -1 MPa al final del cultivo sin afectar el tamaño de fruto.

En la mayoría de los casos, el contenido de SS no se vio influenciado por el tratamiento de riego en las variedades cherry y en 'Palamós'. En el resto de variedades comunes ('Tigerella' y 'Byelsa') el contenido de SS aumentó con el tratamiento de riego deficitario; así, 'Tigerella' presentó un aumento de la concentración del 27 % en la PRI, del 36 % en la PRII y del 28 % en la PRIII con respecto a los mismos ramilletes en el tratamiento de riego control; 'Palamós', del 6 % en la PRI y PRII y 'Byelsa' aumentó en un 23 % con respecto al tratamiento control. Este efecto está ampliamente descrito en la bibliografía, diversos estudios proponen incrementos del contenido de SS cuando se emplea riego deficitario, especialmente en la fase de maduración del

fruto. Esta práctica está especialmente extendida en tomate para industria, para incrementar el contenido de SS (Beckles 2012, Nangare, y otros 2016).

Con respecto a los parámetros de color, el tratamiento de riego deficitario no mostró diferencias en L^* en 'Summerbrix' y 'Palamós', ni C^*_{ab} en 'Summerbrix'. En el resto de variedades el tratamiento de riego provocó en la mayoría de los casos un aumento de los valores de los parámetros de color L^* y C^*_{ab} , mientras que h_{ab} disminuyó entre 5 (PRI en 'Lazarino' y PRI en 'Tigerella') y 22 % en 'Byelsa'. Este comportamiento es similar al descrito por Lahoz y otros (2016), con un incremento del 2 % en el ángulo de color cuando se aplicó una disminución del 25 % de la ETc en variedades utilizadas para la industria de procesado, sin embargo en otros estudios con disminuciones de agua del 23 % en tomate para procesamiento no se observaron diferencias significativas en h_{ab} (Zegbe, Behboudian y Clothier 2006).

4.1.2.3.2. Calidad comercial y posición del ramillete de cinco variedades de tomate

En 'Summerbrix', 'Tigerella' y 'Palamós', en los frutos de plantas control, la posición del ramillete no provocó diferencias en el peso medio del fruto (Tabla 4.3), mientras que en frutos de plantas RDC el análisis si mostró diferencias estadísticas. El contenido de SS si presentó diferencias estadísticas en las variedades cherry, mientras que en las variedades comunes no se observaron diferencias, ni en el tratamiento control ni en RDC. Las diferencias significativas de las variedades cherry no se ajustaron a un patrón definido, en ninguno de los tratamientos de riego aplicados. Por otra parte, L^* , C^*_{ab} y h_{ab} presentaron diferencias en la mayoría de los casos en las variedades cherry y en las variedades comunes 'Palamós' y 'Tigerella' en los frutos del tratamiento de RDC. Además, L^* , C^*_{ab} y h_{ab} revelaron altos valores en la PRIII en las variedades cherry. Estos resultados son similares a los obtenidos en un reciente trabajo en tomate cherry, cultivado en hidroponía a diferentes alturas (cultivo vertical: unas líneas de cultivo sobre otras), en el que se presentaron altos valores de SS en el cuarto ramillete en la línea superior, mientras que en tomates crecidos en la línea inferior presentaron altos valores en el segundo y cuarto ramillete, los autores relacionaron estas diferencias en los SS con la falta de rigidez en el tallo que provocó una distribución no uniforme de la luz, ocasionando la acumulación relativamente desigual de azúcares (Choi, y otros 2016).

4.1.2.3.3. Calidad comercial y la interacción entre el tratamiento de riego, la posición del ramillete y la variedad de cinco variedades de tomate

En general, el análisis de ANOVA factorial que incluyó la variedad, el tratamiento de riego y la posición del ramillete reportó que el peso medio del fruto se vió mayormente afectado por la variable posición del ramillete; el tratamiento de riego empleado influyó en menor medida en el contenido de SS y los parámetros de color L^* y C^*_{ab} , mientras que el factor variedad sí resultó determinante en todos los parámetros de calidad comercial estudiados (peso, SS, L^* , C^*_{ab} y h_{ab}) (Tabla 4.3). Cuando estudiamos las variables de manera independiente el análisis estadístico reportó diferencias significativas con la variedad y la posición del ramillete, aunque no se apreciaron tendencias claras ni patrones definidos de cambio. Sin embargo, el análisis estadístico factorial, con todas las variables mostró que los parámetros de calidad se vieron influenciados claramente por la posición del ramillete y en menor medida por la aplicación de RDC.

4.1.2.4. Correlaciones del estudio de cinco variedades de tomate

Cuando se correlacionaron los parámetros de calidad comercial y funcional, se observó que el contenido de SS y el tamaño de la fruta mantuvieron una relación inversa de -0.7 entre los dos parámetros ($p < 0.05$). Este resultado concuerda con otros trabajos que han observado del mismo modo aumento de los SS al disminuir el peso medio del fruto en tomate (Beckles 2012, Flores, y otros 2016).

Del mismo modo se observó una relación inversa entre el contenido de SS y el contenido de flavonoles, que presentó un coeficiente de correlación de -0.4 en 'Tigerella'. Esta correlación coincide con los resultados de otros autores que señalaron que los flavonoles pueden inhibir la glicólisis provocando la disminución de los SS (Stakhova, Ladygin y Stakhov 2001).

El contenido de flavonoles y el peso medio del fruto de las variedades cherry, presentaron una relación inversa con un coeficiente de correlación promedio de -0.6. Esta correlación coincidió con lo observado por otros autores que encontraron que el contenido total de flavonoles de la variedad cherry Favorita (21.5 mg/Kg de peso fresco) fue el doble del contenido de la variedad común Bond cuando se cultivó bajo las mismas condiciones (Slimestad y Verheul 2009).

4.1.2.5. Conclusiones del estudio de cinco variedades de tomate

El licopeno fue el carotenoide principal en todas las variedades estudiadas. Presentó diferencias significativas cuando se aplicó riego deficitario controlado, con un aumento del contenido entre 12 (PRII en 'Summerbrix') y 37 % (PRI en 'Summerbrix') en las variedades

cherry y 27 % en 'Byelsa', mientras que en 'Tigerella' se observó una disminución de entre 7 (PRI) y 50 % (PRIII). Además la posición de ramillete también provocó diferencias significativas mostrando los mayores contenidos de licopeno en PRI en frutos de plantas con RDC.

El contenido de compuestos fenólicos totales fue mayor en la variedad Tigerella (con un promedio de 351.51 mg/100 PS) comparada con el resto de variedades (con un promedio de 347.5 en 'Byelsa', 307.3 en 'Lazarino', 257.9 en 'Summerbrix' y 195.7 mg/100 PS en 'Palamós'). A su vez, la aplicación de RDC provocó cambios en el contenido de compuestos fenólicos totales en la mayoría de los casos, mostrando reducciones del contenido entre 2 (PRII en 'Summerbrix') y 14 % (PRI en 'Summerbrix') en las variedades cherry y aumentos del 17 % en 'Byelsa'. Además la posición de ramillete también provocó diferencias estadísticas en el contenido de compuestos fenólicos totales en todas las variedades en estudio, excepto en la variedad Palamós.

El peso en 'Tigerella' y 'Palamós' no presentó diferencias significativas con la aplicación de riego deficitario y la posición de ramillete. Los tomates cherry mostraron altos valores de sólidos solubles (rangos entre 6.9 en PRIII en 'Lazarino' y PRI en 'Summerbrix' a 8.3 °Brix en PRII en 'Summerbrix') comparados con las variedades comunes (rangos entre 3.8 en PRI en 'Tigerella' a 6.5 °Brix en PRI en 'Byelsa'). La aplicación de riego deficitario controlado provocó aumentó de los SS, L* mostró diferencias significativas en 'Summerbrix' y 'Palamós' y C*_{ab} en 'Summerbrix'. La posición del ramillete provocó aumentos y disminuciones de los valores de sólidos solubles que dependieron de la variedad; L*, C*_{ab} y h_{ab} mostraron diferencias significativas, con altos valores en la posición de ramillete III en la mayoría de los casos.

Dentro de las variedades cherry se observó que la calidad comercial en 'Lazarino' mostró mayor susceptibilidad al RDC, mientras que 'Summerbrix' mostró un mejor comportamiento en condiciones de RDC. Al igual que las variedades comunes (Tigerella y Palamós) que mostraron una mayor tolerancia al déficit hídrico. La calidad funcional (carotenoides y compuestos fenólicos) si se vieron afectadas por el RDC, cuyo cambio dependió de la variedad, así aumentos del contenido de carotenoides se observó en las variedades cherry y 'Byelsa' y disminución del contenido en 'Tigerella', por otro lado, el contenido de compuestos fenólicos disminuyó en variedades cherry y aumentó en 'Byelsa'. Por otra parte, en la mayoría de los casos la posición de ramillete provocó cambios en la calidad comercial y funcional, con mayores valores de carotenoides en la PRI en control, mientras que el contenido de compuestos fenólicos no mostró un patrón definido.

En el presente trabajo por tratarse de una experimentación preliminar, no se monitorizó el estado hídrico del cultivo, durante todo el ciclo, además se recolectó fruto rojo maduro en la misma fecha en todas las variedades. Esta no es la técnica comercial habitual, en la que el agricultor recolecta escalonadamente, con niveles de maduración menos avanzados, para aumentar la vida útil del producto en poscosecha. El cultivo se desarrolló en primavera, sería necesario contrastar el efecto del ciclo de cultivo (los habituales en nuestra región son primavera y otoño) ya que las condiciones edafoclimáticas: temperatura, radiación disponible, fotoperiodo, entre otras podrían influir en la calidad funcional del tomate. Por la posible importancia de estos factores se consideraron necesarios estudios posteriores para poder avanzar en el conocimiento sobre el comportamiento de estos compuestos.

4.1.3.Efecto del riego deficitario controlado, ciclo de cultivo, nivel de desarrollo del ramillete en la planta y maduración del fruto sobre la calidad funcional y comercial de dos variedades de tomate cherry

4.1.3.1. Evolución del cultivo

4.1.3.1.1. Condiciones ambientales



Figura 4. 8. Integral térmica y temperatura en el interior del invernadero (A) y condiciones en el exterior del invernadero: temperatura mínima y máxima (B y C), déficit de presión de vapor (D), humedad relativa del aire en el interior del invernadero (E), radiación diaria (F), ETo (G) exterior durante el desarrollo del cultivo de dos variedades de tomate cherry en otoño y primavera.

4.1.3.1.2. Contenido en humedad del suelo



Figura 4. 9. Contenido de humedad del suelo durante el desarrollo del cultivo de dos variedades de tomate cherry en otoño (A) y primavera (B).

Las líneas $\text{---}\blacktriangle\text{---}$, $\text{---}\blacksquare\text{---}$ representan el tratamiento de riego control para 'Summerbrix' y 'Lazarino' respectivamente, las líneas $\text{---}\blacklozenge\text{---}$, $\text{---}\blacksquare\text{---}$ RDC 'Summerbrix' y 'Lazarino', respectivamente. Las líneas verticales indican inicio de la floración (la primera) e inicio cosecha (la segunda).

Tabla 4. 4. Contenido de agua de la planta en primavera en dos variedades cherry

RDC-C, señala la diferencia estadística entre el tratamiento —RDC y control (C)—

4.1.3.1.3. Parámetros fisiológicos de la planta



Figura 4. 10. Potencial hídrico de hoja (A y B) e integral de estrés (C y D) durante los dos ciclos del cultivo.

Las líneas $\text{---}\blacksquare\text{---}$, $\text{---}\blacksquare\text{---}$ representan el tratamiento de riego control para 'Summerbrix' y 'Lazarino' respectivamente, las líneas $\text{---}\blacklozenge\text{---}$, $\text{---}\blacklozenge\text{---}$ RDC 'Summerbrix' y 'Lazarino', respectivamente. Las líneas verticales indican inicio de floración (la primera) e inicio de la cosecha (la segunda). Los asteriscos muestran diferencia estadística entre RDC y control: *, $p < 0.1$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ para 'Sumerbrix' y +, $p < 0.1$; ++, $p < 0.01$; +++, $p < 0.001$ para 'Lazarino'. Desarr1 y Desarr2 desarrollo vegetativo en 'Sumerbrix' y 'Lazarino', respectivamente; Flor1 y Flor2, floración y desarrollo del fruto en 'Sumerbrix' y 'Lazarino', respectivamente; Total1 y Total2, integral de estrés total en 'Sumerbrix' y 'Lazarino', respectivamente. Las barras en el mismo periodo con diferentes letras señalan diferencias estadísticas, mientras que las barras sin letras no mostraron diferencias estadísticas.



Figura 4. 11. Evolución de parámetros de crecimiento de la planta: altura (A y B), hojas (C y D) e inflorescencias (E y F), de dos variedades de tomate cherry en otoño y primavera.

Líneas con $\text{---}\blacktriangle$ y $\text{---}\blacksquare$ representan el tratamiento de riego control para 'Summerbrix' y 'Lazarino' respectivamente, mientras que las líneas $\text{---}\blacklozenge$ y $\text{---}\blacksquare$, RDC 'Summerbrix' y 'Lazarino' respectivamente. Las líneas verticales indican inicio de floración (la primavera) e inicio de la cosecha (la segunda). Los asteriscos muestran diferencia estadística entre RDC y control: *, $p < 0.1$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ para 'Sumerbrix' y +, $p < 0.1$; ++, $p < 0.01$; +++, $p < 0.001$ para 'Lazarino'.

Figura 4. 12. Evolución de la primera (A, B, C y D), tercera (E, F, G y H) y quinta inflorescencia (I, J, K, L), en función del número de botones, flores abiertas y cuajadas en el cultivo de dos variedades de tomate cherry en otoño y primavera.



Los gráficos con líneas \blacktriangle , \blackstar y \blacksquare representan número de botones, flores abiertas y flores cuajadas respectivamente del tratamiento control, las líneas \triangle , \star , \square , a RDC para número de botones, flores abiertas y flores cuajadas respectivamente. La diferencia estadística entre RDC y control se señalan con: *, $p < 0.1$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ para botones; +, $p < 0.1$; ++, $p < 0.01$; +++, $p < 0.001$ para flores abiertas y x, $p < 0.1$; xx, $p < 0.01$; xxx, $p < 0.001$ para flores cuajadas.

Tabla 4. 5. Porcentaje promedio de flores cuajadas por ramillete

4.1.3.1.4. Producción



Figura 4. 13. Evolución de la producción (A y B) y producción total (C y D) en los dos ciclos de cultivo otoño y primavera.

Las líneas con $\text{---}\blacksquare\text{---}$ y $\text{---}\blacksquare\text{---}$ representan el tratamiento de riego control para 'Summerbrix' y 'Lazarino' respectivamente, mientras que las líneas $\text{---}\square\text{---}$, $\text{---}\square\text{---}$ RDC 'Summerbrix' y 'Lazarino' respectivamente. Los asteriscos muestran diferencia estadística entre RDC y control: *, $p < 0.1$; **, $p < 0.01$; ***, $p < 0.001$ para 'Sumerbrix' y +, $p < 0.1$; ++, $p < 0.01$; +++, $p < 0.001$ para 'Lazarino'. Las barras con diferentes letras señalan diferencias estadísticas, mientras que las barras sin letras no mostraron diferencias estadísticas.

Tabla 4. 6. Daños ocasionados sobre el fruto de tomate en dos ciclos de cultivo

4.1.3.2. Contenido de carotenoides en dos variedades cherry²

En la Figura 4.14 y Figura 4.15 se muestran los contenidos de los principales carotenoides individuales y el contenido total considerando tres niveles de desarrollo del ramillete, en los tres índices de madurez y en las dos estaciones de cultivo para ‘Lazarino’ y ‘Summerbrix’.

-
- ² El contenido de la sección 4.1.3.2, 4.1.3.3, 4.1.3.4 y 4.1.3.5 ha sido sometido a revisión por parte de la revista Food Chemistry y se encuentra en etapa de corrección (Coyago-Cruz, Elena, Mireia Corell, Alfonso Moriana, Dolores Hernanz, Ana Benítez-González, Carla Stinco, y Antonio Meléndez-Martínez. «Antioxidants (carotenoids and phenolics) profile of cherry tomatoes as influenced by deficit irrigation, ripening and cluster»).

En la Tabla 4.7 se resumen primero los datos de los ANOVAS simples realizados por separado para cada factor estudiado: tratamiento de riego (relación entre RDC y control), el nivel de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV) y el índice de madurez (IM1, IM3 y IM4), sobre el contenido de carotenoides en las dos variedades en estudio y en los dos ciclos de cultivo (otoño 2015 y primavera 2016). En segundo lugar el análisis factorial en relación al tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad y el ciclo de cultivo.

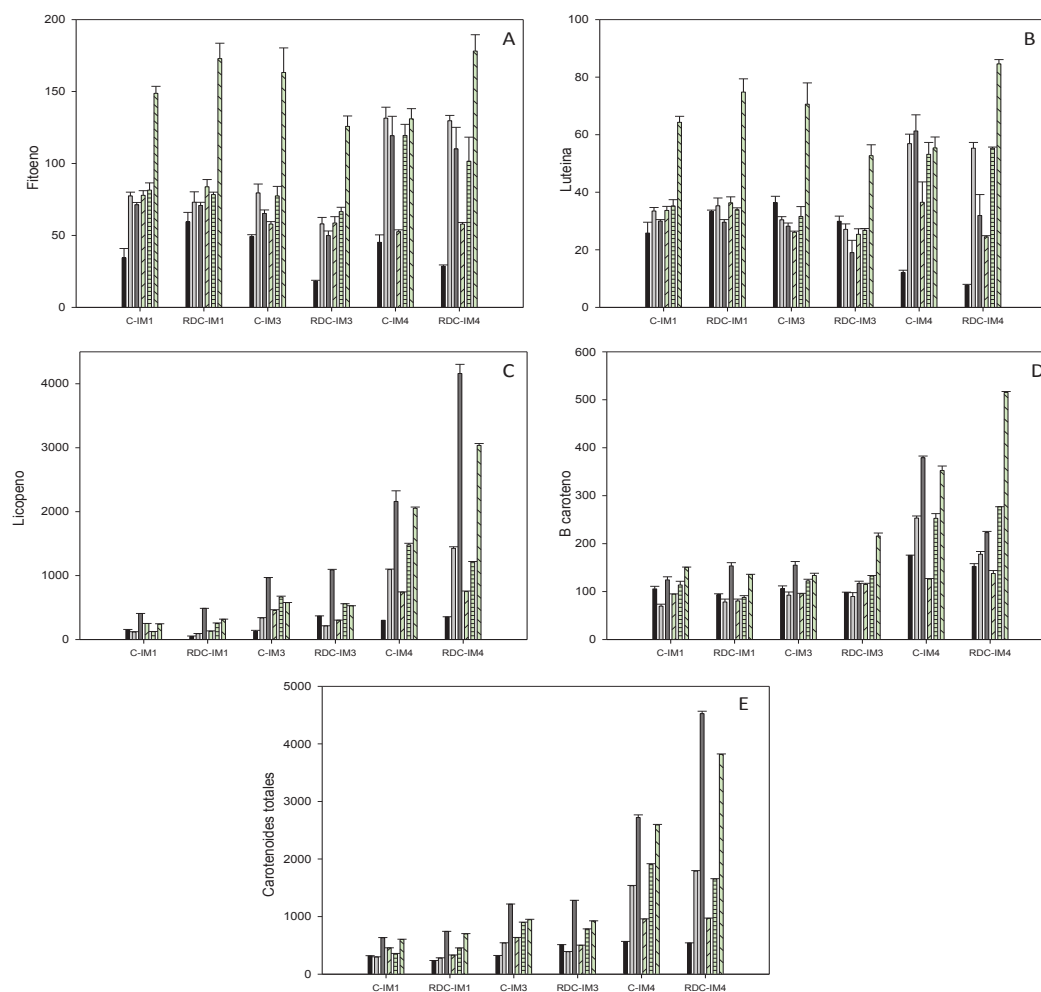


Figura 4. 14. Contenido de fitoeno (I), luteína (K), licopeno (L), β-caroteno (M) y carotenoides totales (N) todos ellos expresados en µg/g PS en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), en tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y en dos ciclos de cultivo de 'Lazarino'.

Las barras representan datos correspondientes al ramillete I (RI), ramillete III (RIII), ramillete V (RV) en otoño, las barras RI, RIII, RV en primavera

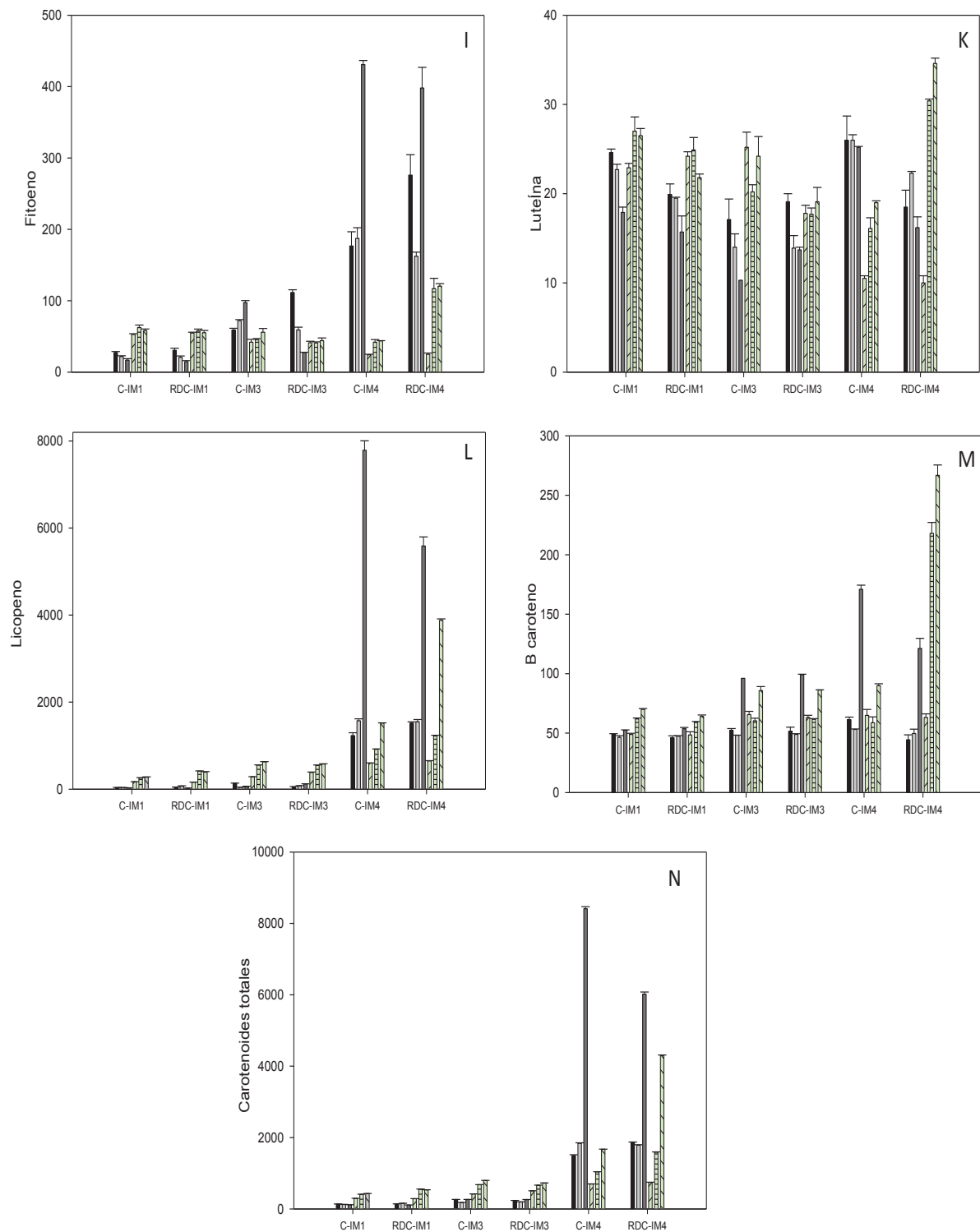


Figura 4. 15. Contenido de fitoeno (I), luteína (K), licopeno (L), β -caroteno (M) y carotenoides totales (N) todos ellos expresados en $\mu\text{g/g}$ PS en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), en tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y en dos ciclos de cultivo de 'Summerbrix'.

Las barras representan datos correspondientes al ramillete I (RI), ramillete III (RIII), ramillete V (RV) en otoño, las barras RI, RIII, RV en primavera.

Tabla 4. 7. Resumen de los análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego, del nivel de desarrollo del ramillete y del índice de madurez sobre el contenido de carotenoides en dos variedades cherry en otoño y primavera, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad y ciclo de cultivo. Valores de p

'Lazarino'	RDC-C						Posición ramillete				Índices de madurez					
	Otoño			Primavera			Otoño		Primavera		Otoño		Primavera			
	RI	RIII	RV	RI	RIII	RV	C	RDC	C	RDC	C	RDC	C	RDC		
Fitoeno	IM1	0.0600	0.5800	0.8500	0.3300	0.5700	0.0600	0.0000	0.3100	0.0000	0.0000	RI	0.0200	0.0001	0.0000	0.0003
	IM3	0.0000	0.0180	0.0110	0.8800	0.1700	0.0700	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	RIII	0.0001	0.0000	0.0006	0.0650
	IM4	0.0100	0.8300	0.6500	0.0200	0.3500	0.0056	0.0200	0.0001	0.0120	0.0000	RV	0.0015	0.0009	0.0150	0.0035
Luteína	IM1	0.1600	0.5500	0.8200	0.3300	0.5700	0.0600	0.1000	0.2000	0.0000	0.0000	RI	0.0014	0.0000	0.2900	0.0010
	IM3	0.0670	0.2700	0.0100	0.7800	0.2900	0.0100	0.0300	0.0800	0.0003	0.0000	RIII	0.0000	0.0001	0.0040	0.0000
	IM4	0.0060	0.7500	0.0400	0.0200	0.6800	0.0010	0.0001	0.0005	0.1200	0.0000	RV	0.0004	0.5400	0.2100	0.0014
Licopeno	IM1	0.0004	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	IM3	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	IM4	0.0031	0.0000	0.0003	0.4700	0.0001	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
β- caroteno	IM1	0.1300	0.3700	0.0400	0.0200	0.0480	0.0000	0.0008	0.0000	0.0002	0.0000	RI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001
	IM3	0.2900	0.8400	0.0100	0.0007	0.0600	0.0001	0.0010	0.0400	0.0004	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	IM4	0.0160	0.0001	0.0000	0.4700	0.0900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
CT	IM1	0.0970	0.3070	0.2870	0.1100	0.2000	0.0201	0.0436	0.0600	0.0001	0.0000	RI	0.0005	0.0000	0.0967	0.0004
	IM3	0.1190	0.0300	0.0070	0.0260	0.1100	0.0034	0.0103	0.0400	0.0002	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.0013	0.0000
	IM4	0.0080	0.2500	0.0130	0.3200	0.0250	0.0003	0.0000	0.0002	0.0400	0.0000	RV	0.0001	0.0180	0.0700	0.0005
'Summerbrix'																
Fitoeno	IM1	0.3800	0.8300	0.4900	0.2200	0.3200	0.4500	0.0002	0.0001	0.0500	0.6200	RI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	IM3	0.0000	0.0670	0.0000	0.8500	0.0600	0.0900	0.0000	0.0000	0.0500	0.6600	RIII	0.0000	0.0001	0.0006	0.0000
	IM4	0.8300	0.3700	0.0010	0.7900	0.0005	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RV	0.0000	0.0000	0.0150	0.0000
Luteína	IM1	0.0200	0.0004	0.2500	0.1800	0.4000	0.0045	0.0000	0.0700	0.1100	0.1600	RI	0.0010	0.0001	0.0000	0.0000
	IM3	0.5400	0.9500	0.0002	0.0070	0.0500	0.0900	0.0800	0.0200	0.2700	0.6600	RIII	0.0000	0.0000	0.0007	0.0000
	IM4	0.3500	0.0004	0.0007	0.5600	0.0001	0.0000	0.0000	0.9800	0.2100	0.0000	RV	0.0000	0.0008	0.0120	0.0000
Licopeno	IM1	0.5400	0.0200	0.1100	0.0300	0.0000	0.0002	0.8700	0.0050	0.0000	0.0000	RI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	IM3	0.0001	0.0150	0.0015	0.0001	0.6000	0.0003	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	IM4	0.0100	0.7900	0.0010	0.0010	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
β- caroteno	IM1	0.1700	0.6100	0.2900	0.9000	0.0500	0.0150	0.0030	0.0080	0.0000	0.0010	RI	0.0000	0.0000	0.0350	0.0064
	IM3	0.8400	0.3600	0.0012	0.4900	0.6600	0.9000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.8400	0.0000
	IM4	0.0250	0.4600	0.0045	0.7900	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.0030	0.0000	RV	0.0000	0.0000	0.0010	0.0000
CT	IM1	0.2433	0.2101	0.2167	0.3700	0.1500	0.0066	0.2910	0.0277	0.0367	0.0537	RI	0.0003	0.0000	0.0117	0.0021
	IM3	0.0400	0.4417	0.0010	0.0160	0.4367	0.0330	0.0267	0.0067	0.0903	0.0220	RIII	0.0000	0.0000	0.0280	0.0000
	IM4	0.0120	0.4168	0.0021	0.4504	0.0000	0.0000	0.0300	0.0700	0.0010	0.0000	RV	0.0000	0.0003	0.0043	0.0000
ANOVA factorial																
		Fitoeno	Luteína	Licopeno	β- caroteno	CT										
Tratamiento de riego		0.9000	0.1000	0.1900	0.2000	0.2000										
Nivel de desarrollo		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000										
Índice de madurez		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000										
Variedad		0.7400	0.0000	0.0500	0.0000	0.4300										
Ciclo de cultivo		0.0030	0.0000	0.0400	0.0000	0.0600										

RDC-C hace referencia a la comparación entre el tratamiento de riego —RDC y el control (C)—; RI, RIII, RV indican los ramilletes I, III y V respectivamente; IM1, IM3, IM4, los índices de madurez. Los valores en rojo indican que no existen diferencias significativas ($p > 0.1$).

Los frutos de las plantas que recibieron el tratamiento de riego control mostraron niveles de fitoeno en los dos ciclos de cultivo que oscilaron entre 16.8 (RV en IM1 en otoño) y 430.9 $\mu\text{g/g}$ de peso seco (PS) (RV en IM4 en otoño) en 'Summerbrix' y entre 34.4 (RI en IM1 en otoño) y 131.5 $\mu\text{g/g}$ PS (RIII en IM4 en otoño) en 'Lazarino'. Las concentraciones de luteína oscilaron dentro del intervalo entre 10.0 (RV en IM3 en otoño) y 27.0 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en IM1 en primavera) en 'Summerbrix' y entre 12.1 (RI en IM4 en otoño) y 70.6 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en IM3 en primavera) en 'Lazarino'. Los niveles del carotenoide mayoritario, licopeno, oscilaron entre 31.1 (RV en IM1 en otoño) y 7786.1 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en IM4 en otoño) en 'Summerbrix' y entre 118.0 (RIII en IM1 en otoño) y 2160.0 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en IM4 en otoño) en 'Lazarino', mientras que los de β -caroteno se encontraron en el rango 46.5 (RIII en IM1 en otoño) - 170.9 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en IM4 en otoño) en 'Summerbrix' y en el rango 69.7 (RIII en IM1 en otoño) - 379.1 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en IM4 en otoño) en 'Lazarino'. Estos datos, en algunos casos, fueron comparables con los observados en otros estudios que reportaron rangos de concentraciones entre 0.67 y 0.69 mg/100 g peso fresco (PF) de fitoeno en variedades cherry (Pernice, Parisi, y otros 2010); rangos de concentraciones entre 100.0 y 370.0 $\mu\text{g/g}$ PS de licopeno en tomate rojo (Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010, Cortés-Olmos, y otros 2014, Choi, y otros 2014, Verheul, Slimestad y Holta 2015) y rangos de concentraciones entre 5.0 y 160 $\mu\text{g/g}$ PS de β -caroteno en variedades de tomate rojo (Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010, Cortés-Olmos, y otros 2014).

Como se esperaba, la mayor contribución al contenido en carotenoides totales se debió a la concentración de licopeno, por tanto, los valores de carotenoides totales mostraron tendencias similares al licopeno. Así, los carotenoides totales en frutos control oscilaron entre 118.1 (RV en IM1 en otoño) y 8413.1 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en IM4 en otoño) en 'Summerbrix' y entre 298.6 (RIII en IM1 en otoño) y 2719.7 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en IM4 en otoño) en 'Lazarino'. En general, 'Lazarino' comparado con 'Summerbrix' mostró mayor contenido de carotenoides individuales y, en consecuencia, de carotenoides totales.

4.1.3.2.1. Carotenoides y tratamiento de riego (RDC vs control) en dos variedades cherry

El tratamiento de riego en 'Lazarino' influyó en el contenido de fitoeno en el primer ramillete (RI) en otoño y en el quinto ramillete (RV) en primavera; en 'Summerbrix', en la mayoría de los casos en el RV en otoño y en primavera en el tercer (RIII) y quinto (RV) ramillete. El tratamiento de riego no mostró un efecto con patrón definido en el contenido de fitoeno. Fue mayor la influencia de la variedad, del nivel de desarrollo del ramillete y del ciclo de cultivo la que explicó las diferencias de contenido en fitoeno.

El tratamiento de riego en 'Lazarino' influyó en el contenido de la luteína en la mayoría de los casos en el RI y RV en otoño y en la primavera en el RV; en 'Summerbrix' en la mayor parte de los casos en el RV en otoño y en la primavera en el RIII y RV. Así, el tratamiento de riego en otoño ocasionó la disminución del contenido de luteína en la mayoría de los casos en las dos variedades con reducciones entre el 1 y el 32 % en IM4 (fruto rojo). En la primavera, 'Lazarino' no mostró tendencias claras, mientras que en 'Summerbrix' el contenido aumentó entre el 2 y el 64 % con IM4 en la mayoría de los casos.

El tratamiento de riego en 'Lazarino' influyó en el contenido de licopeno en todos los casos en otoño y en la mayoría en primavera; en 'Summerbrix', en la mayoría de los casos en otoño al igual que en primavera. El tratamiento de riego no mostró un patrón definido en el contenido de licopeno, si fue clara la influencia de la variedad, del nivel de desarrollo del ramillete y del ciclo cultivo. Así, se observaron en la mayoría de los casos aumentos del contenido en los dos ciclos de cultivo entre 7 % (RI en IM4 en primavera) y 61 % (RV en IM4 en primavera) en 'Summerbrix'. En 'Lazarino' se observaron aumentos entre 6 (RI en IM4 en otoño) y 65 % (RI en IM3 en otoño) y disminuciones del contenido entre 9 % (RV en IM3 en primavera) y 68 % (RI en IM1 en otoño). De modo que a mayor índice de madurez se observó mayor contenido en licopeno, a mayor nivel de desarrollo y altura de la inflorescencia en general se observó mayor contenido en licopeno, y la variedad Summerbrix duplicó los valores de 'Lazarino'.

El tratamiento de riego en 'Lazarino' influyó en el contenido de β -caroteno en el RV en otoño y en la mayoría de los casos en primavera; en 'Summerbrix', en la mayoría de los casos en otoño en el RV y en el RIII, y en el RV en primavera. El tratamiento de riego no mostró un patrón definido en el contenido de β -caroteno, que varió dependiendo de la variedad, del nivel de desarrollo del ramillete y del ciclo de cultivo. Sin embargo, se observó una disminución del contenido de β -caroteno en tomate rojo (IM4) en otoño, con reducciones entre el 13 % (RI en 'Lazarino' y el 41 % (RV en 'Lazarino') en la mayoría de los casos en ambas variedades; a su vez, en primavera se produjo un aumento del contenido entre el 9 % (RII en 'Lazarino') y el 73 % (RII en 'Summerbrix') en la mayoría de los casos en las dos variedades.

El contenido de carotenoides individuales en las variedades cherry estudiadas en la mayoría de los casos no mostró tendencias claras. En general, se observó que el tratamiento de riego influyó en el contenido de carotenoides totales (CT) en 'Lazarino' y 'Summerbrix' en la mayoría de los casos en el RI y RV en otoño, y en el RV en primavera. Así, se observaron aumentos de los CT en la mayoría de los casos en 'Summerbrix' que oscilaron entre un 6 % (RI

en IM4 en primavera) y 61 % (RV en IM4 en primavera) en los dos ciclos de cultivo con los porcentajes más altos en el IM4 como era de esperar, mientras que en 'Lazarino' en la mayoría de los casos se observó una disminución del contenido en CT, con valores que oscilaron entre un 2 % (RV en IM3 en primavera) y un 28 % (RIII en IM3 en otoño y RI en IM1 en primavera). A su vez, se observaron en la mayoría de los casos aumentos en el RV en los dos ciclos de cultivo y en las dos variedades, con rangos entre 5 % (IM3 en 'Lazarino' en otoño) y 61 % (IM4 en 'Summerbrix' en primavera). Otros estudios han descrito modificaciones similares cuando la cantidad de agua fue reducida en un 92 % en el cultivo de variedades cherry, en las que se observó un aumento del contenido de fitoeno en un 36 % en 'PC01' y una disminución en un 9 % en 'PC05'; un aumento del contenido de licopeno del 31 % en 'PC01' y 28 % en 'PC05'; un aumento del contenido de β -caroteno en un 30 % en 'PC01' y 36 % en 'PC05' (Pernice, Parisi, y otros 2010).

Estos resultados muestran un escenario complicado para establecer efectos claros, que sirvan para lograr incrementos del CT con la aplicación de riego deficitario controlado, ya que los contenidos también mostraron variaciones con el nivel de desarrollo del ramillete, el ciclo de cultivo y el índice de madurez. Pero si parece claro que al menos en 'Lazarino', en tomates IM4 (fruto rojo) en el RV con RDC los niveles de CT fueron mayores significativamente.

4.1.3.2.2. Carotenoides y nivel de desarrollo del ramillete en dos variedades cherry

El contenido de licopeno, β -caroteno y, en consecuencia, el contenido de carotenoides totales se vió influenciado por el nivel de desarrollo del ramillete en todos los casos en 'Lazarino' y 'Summerbrix', mientras que el contenido de fitoeno y luteína en la gran mayoría de los casos y principalmente en 'Lazarino' se vió influenciado por el nivel de desarrollo del ramillete. Con un comportamiento similar se observaron incrementos entre el 50 y el 70 % del contenido de carotenoides totales con el nivel de desarrollo del ramillete.

El mayor contenido de fitoeno en 'Lazarino' fue observado en el RIII en otoño y en el RV en primavera, mientras que 'Summerbrix' no exhibió un patrón definido. La luteína presentó altos valores en el RV en primavera en 'Lazarino' y en el RI en otoño en 'Summerbrix'.

El mayor contenido de licopeno en 'Lazarino' y 'Summerbrix' se evidenció en el RV en otoño, mientras que en primavera, en la mayoría de los casos, se observaron altos contenidos en el RIII y RV. Los altos niveles de licopeno en otoño, a pesar de existir bajas temperaturas (Figura 4. 8-A), pudieron deberse en parte a que al final del cultivo coincidieron bajas

temperaturas y disminuciones del DPV, reduciendo el crecimiento y desarrollo del cultivo. Debido a una disminución en las tasas de fotosíntesis. A pesar del incremento en la radiación, que aumentó en la etapa de maduración del fruto en esta fase del ciclo de otoño en el que se incrementaron las horas de luz y por tanto la radiación total (Figura 4.8-F). Varios autores han señalado incrementos en la radiación pueden conllevar aumentos del contenido en carotenoides (Rosales 2008). Como por ejemplo el licopeno, que aumentó considerablemente dependiendo de la fecha de recolección en los meses de enero y marzo (78.66 $\mu\text{g/g}$ PF a las 24 semanas, 183.47 $\mu\text{g/g}$ PF a las veintiocho semanas y 302.31 $\mu\text{g/g}$ PF a las treinta y dos semanas) (Jarquín, y otros 2013).

Los niveles de β -caroteno fueron altos en el RV en las dos variedades y en las dos estaciones. Este efecto parece claramente relacionado con la mayor radiación disponible en esa zona del dosel vegetal, en el que la radiación fue mucho mayor con 1142.5 μmol en la parte superior de la planta; mientras en la parte inferior de la planta fue de 316.8 μmol en control y 543.7 μmol en RDC de 'Lazarino', 377.1 μmol en control y 504.3 μmol en RDC de 'Summerbrix' (datos tomados el 23 de julio de 2016); además en primavera pudo estar ligado a la integral térmica, la cual aumentó durante el desarrollo del cultivo (Figura 4.8-A), favoreciendo la fotosíntesis y pudiendo quizás provocar el incremento del contenido de β -caroteno.

4.1.3.2.3. Carotenoides e índice de madurez en dos variedades cherry

En general, el contenido de carotenoides se vió influenciado por el índice de madurez en la gran mayoría de casos en los dos ciclos de cultivo tanto en 'Lazarino' como en 'Summerbrix'. Además, como se esperaba, el índice de madurez provocó un aumento del contenido de carotenoides desde frutos con 25 % de coloración roja (IM1) hasta frutos con 100 % de color rojo (IM4). Estos resultados eran previsibles puesto que es bien conocido que la maduración favorece la biosíntesis de carotenoides en tomates (Eichholz, y otros 2014, Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010, Jarquín, y otros 2013).

El mayor contenido de fitoeno fue observado en otoño en frutos con madurez 4 (IM4) en 'Summerbrix', mientras que 'Lazarino' mostró un complejo patrón de comportamiento, con altas concentraciones en el IM4 del RIII y RV en las dos estaciones en la mayoría de los casos. Por otra parte, el mayor contenido de luteína fue observado en el IM4 en 'Lazarino', mientras que 'Summerbrix' no presentó un comportamiento o tendencia clara.

El mayor contenido de licopeno fue observado en el IM4 con rangos en otoño entre 1232.3 (RI en control) y 7786.1 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en control) en 'Summerbrix' y entre 331.5 (RI en control) y 4160.7 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en RDC) en 'Lazarino'; en primavera los rangos fueron entre 600.7 (RI en control) y 3879.9 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en RDC) en 'Summerbrix' y entre 741.9 (RI en control) y 3036.7 $\mu\text{g/g}$ PS (RV en RDC) en 'Lazarino'.

El mayor contenido de β -caroteno en los dos ciclos de cultivo fue observado en el IM3 y IM4 en 'Lazarino' y en algunos casos en el IM4 en 'Summerbrix'. Los carotenoides totales presentaron altos valores en el IM4 con un aumento promedio del contenido entre el 68 y el 94 % en las dos variedades en estudio en relación con el índice de madurez IM1.

4.1.3.2.4. Carotenoides y ciclo de cultivo en dos variedades cherry

En general, el ciclo de cultivo influyó sobre el contenido de los carotenoides estudiados en relación con el tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete e índice de madurez.

'Lazarino' mostró generalmente cambios en el contenido de fitoeno en primavera, con una particularidad en el RV, presentando un aumento del contenido en la mayoría de los casos entre el 48 y el 67 % con respecto al RI. 'Summerbrix' mostró en la mayoría de las ocasiones altos contenidos en otoño, con especial incidencia en el IM4 con un incremento promedio de 53 % con respecto a los datos obtenidos en primavera.

El contenido de luteína en 'Lazarino' no mostró un efecto claro con respecto al ciclo de cultivo, sin embargo, se advirtieron importantes cantidades en primavera en el RV con un aumento del contenido entre el 34 y el 71 % con respecto al RI. Por otra parte, 'Summerbrix' tampoco mostró un patrón definido con el ciclo de cultivo.

En primavera se observaron niveles altos del contenido de licopeno en 'Lazarino' en la mayoría de los casos. Una particularidad importante fue observada en el RV en otoño, con un aumento del contenido entre el 85 % (IM4 en control) y el 90 % (IM1 en RDC) con respecto al RI.

El contenido de β -caroteno en 'Lazarino' y 'Summerbrix' no mostró una tendencia clara con respecto al ciclo de cultivo. Por otra parte, cuando se analizaron los carotenoides totales en el IM4 en frutos crecidos en control y RDC, 'Lazarino' no presentó un ciclo de cultivo a destacar, mientras que 'Summerbrix' mostró en otoño altos contenidos en la situación analizada.

Además, es interesante reparar en la particularidad ocurrida en otoño en el quinto ramillete, que presentó altos contenidos de los principales carotenoides, como ya se mencionó anteriormente.

En primavera se observaron cantidades de los diferentes carotenoides estudiados significativamente más cuantiosas, que deben estar relacionadas con la integral térmica y la radiación dentro del invernadero (1142.5 μmol el 23 de junio del 2016 y 1272.1 μmol el 17 de junio del 2016 en la parte superior de la planta), las cuales aumentaron durante el desarrollo del cultivo en este ciclo. Por otra parte, los bajos contenidos de los diferentes carotenoides en otoño, sin considerar las excepciones señaladas anteriormente, pudieron deberse en parte a que las bajas temperaturas pueden disminuir la fotosíntesis y, en consecuencia, afectar negativamente al contenido de carotenoides (Klopotek y Klaring 2014, Gerszberg, y otros 2015).

4.1.3.2.5. Carotenoides y la interacción entre el tratamiento de riego, el nivel de desarrollo del ramillete, el índice de madurez, la variedad y ciclo de cultivo de dos variedades cherry

En términos generales, el análisis de ANOVA factorial que incluyó el tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, ciclo de cultivo y variedad (Tabla 4.7), reportó que el tratamiento de riego presentó menor influencia significativa sobre el contenido de los carotenoides individuales, sin embargo, sí afectó al contenido total; la variedad influyó en menor medida sobre el contenido de fitoeno y carotenoides totales, y el nivel de desarrollo del ramillete y el índice de madurez influyeron en mayor proporción sobre el contenido de fitoeno, luteína, licopeno y β -caroteno. Así, el contenido de carotenoides cuando se aplicó una reducción de agua de 78 % en otoño y 80 % en primavera provocó en la mayoría de los casos cambios que dependieron del resto de los factores agronómicos estudiados, no de la reducción del riego. Este comportamiento coincidió con el estudio preliminar realizado en la primavera del 2015 con reducciones de agua del 90 %.

4.1.3.3. Contenido de compuestos fenólicos en dos variedades cherry

En la Figura 4.16 y Figura 4.17 se muestran los contenidos de los principales grupos de compuestos fenólicos y el contenido total en los tres niveles de desarrollo del ramillete, en los tres índices de madurez y en los dos ciclos de cultivo estudiados, para los cultivares Lazarino y Summerbrix.

En la Tabla 4.8 se resumen primero los datos de los ANOVAS simples realizados por separado para cada factor estudiado: tratamiento de riego (RDC y control), el nivel de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV) y el índice de madurez (IM1, IM3 e IM4) sobre el contenido de compuestos fenólicos en las dos variedades y en los dos ciclos de cultivo (otoño y primavera 2016). En segundo lugar el análisis factorial en relación al tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad y el ciclo de cultivo.

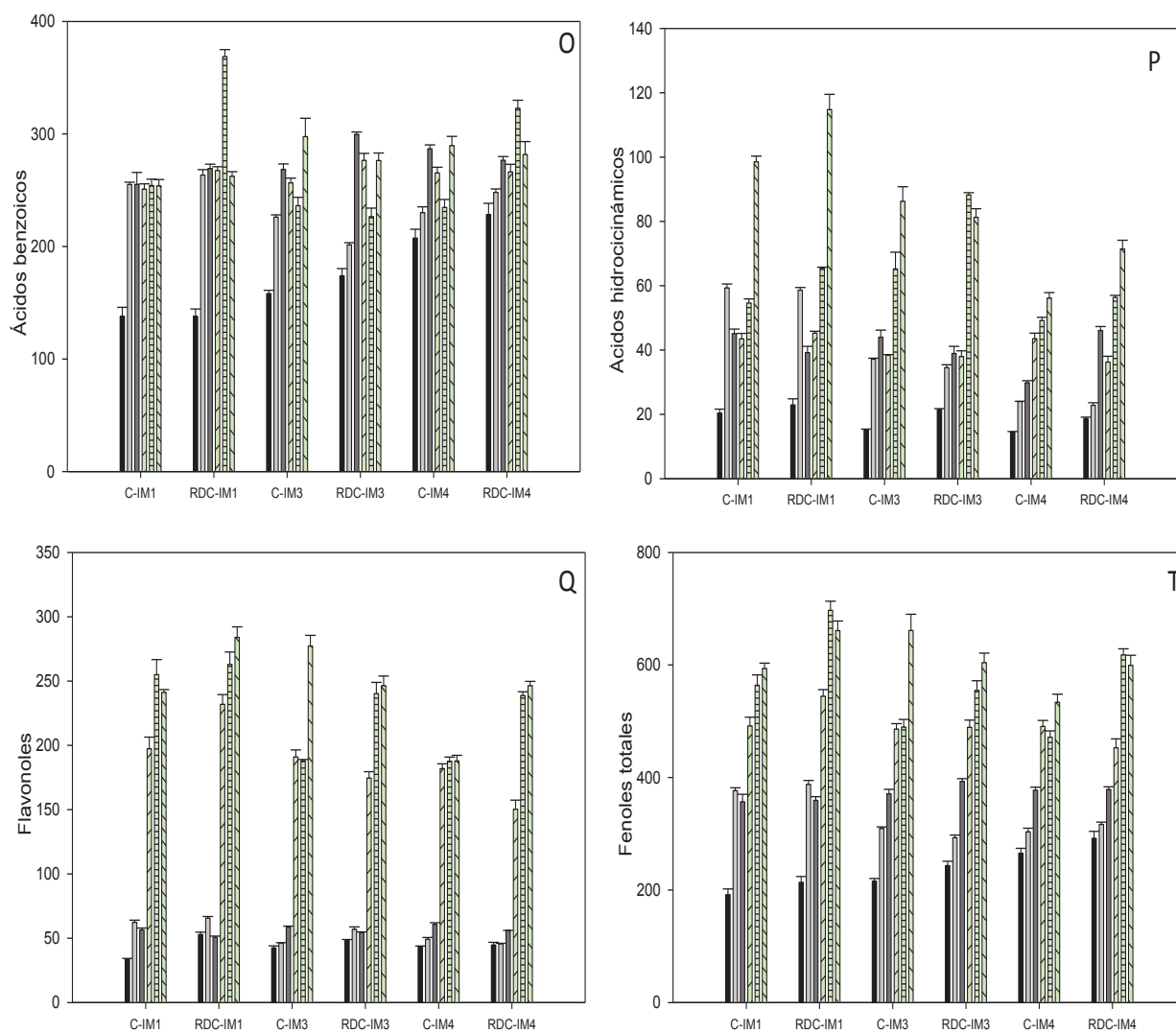


Figura 4. 16. Contenido de ácidos benzoicos (O), ácidos hidroxicinámicos (P), flavonoles (Q) y compuestos fenólicos totales (T) todos ellos expresados en mg/100 g PS en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y dos ciclos de cultivo de 'Lazarino'.

Las barras representan datos correspondientes al ramillete I (RI), ramillete III (RIII), ramillete V (RV) en otoño, las barras RI, RIII, RV en primavera.

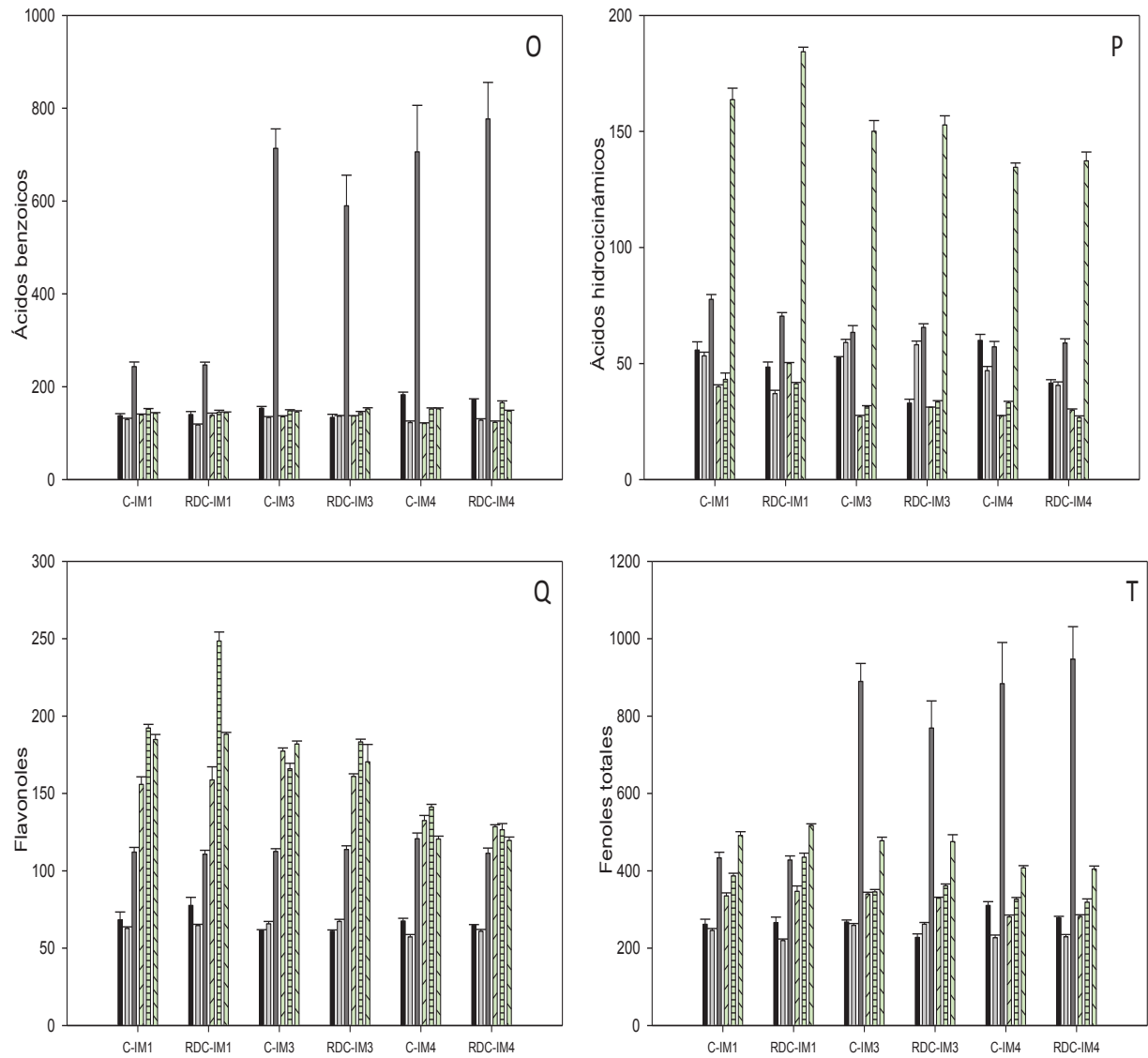


Figura 4. 17. Contenido de ácidos benzoicos (O), ácidos hidroxicinámicos (P), flavonoles (Q) y compuestos fenólicos totales (T) todos ellos expresados en mg/100 g PS, en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y dos ciclos de cultivo de 'Summerbrix'.

Las barras representan datos correspondientes al ramillete I (RI), ramillete III (RIII), ramillete V (RV) en otoño, las barras RI, RIII, RV en primavera.

Tabla 4. 8. Resumen de los análisis de varianza en relación con el estudio del efecto del tratamiento de riego, del nivel de desarrollo del ramillete y del índice de madurez sobre el contenido de carotenoides en dos variedades cherry en otoño y primavera, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, índice de madurez, variedad y ciclo de cultivo.

		RDC-C						Posición ramillete				Índice de madurez				
		Otoño			Primavera			Otoño		Primavera		Otoño		Primavera		
		RI	RIII	RV	RI	RIII	RV	C	RDC	C	RDC	C	RDC	C	RDC	
‘Lazarino’																
Ácidos benzoicos	IM1	0.8500	0.2300	0.3200	0.4100	0.0000	0.1100	0.0000	0.0000	0.4400	0.0000	RI	0.0010	0.0000	0.1800	0.9400
	IM3	0.0300	0.0500	0.0001	0.5600	0.1800	0.2700	0.0000	0.0000	0.0001	0.0000	RIII	0.0000	0.0002	0.0023	0.0000
	IM4	0.0340	0.0700	0.0600	0.5100	0.0001	0.8800	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	RV	0.0078	0.0000	0.010	0.0600
Ácidos hidroxicinámicos	IM1	0.2800	0.2600	0.0005	0.4500	0.0005	0.0300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RI	0.0003	0.1200	0.0300	0.0100
	IM3	0.0000	0.0700	0.0160	0.8200	0.0100	0.3900	0.0000	0.0060	0.0000	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.0400	0.0000
	IM4	0.0005	0.7900	0.0000	0.0160	0.0026	0.0082	0.0018	0.0000	0.0010	0.0000	RV	0.0000	0.0060	0.0001	0.0000
Flavonoles	IM1	0.0002	0.1500	0.0180	0.0000	0.0000	0.8700	0.0000	0.0000	0.0038	0.0150	RI	0.0007	0.0300	0.0170	0.0000
	IM3	0.0225	0.0018	0.0095	0.0005	0.0800	0.1700	0.0000	0.0026	0.0001	0.2300	RIII	0.0000	0.0000	0.0000	0.0008
	IM4	0.6500	0.0312	0.0240	0.0000	0.1900	0.0042	0.0000	0.0020	0.0000	0.0000	RV	0.0120	0.0028	0.0000	0.0000
FT	IM1	0.0400	0.3450	0.0847	0.2190	0.0010	0.2880	0.0240	0.0060	0.0010	0.0038	RI	0.0005	0.0405	0.0593	0.0230
	IM3	0.2531	0.0290	0.0214	0.3470	0.1310	0.4430	0.0000	0.0022	0.0001	0.0575	RIII	0.0925	0.0005	0.0121	0.0477
	IM4	0.0200	0.2453	0.0210	0.0150	0.0500	0.2310	0.0005	0.0005	0.0005	0.0001	RV	0.0049	0.0022	0.0200	0.0550
‘Summerbrix’																
Ácidos benzoicos	IM1	0.6200	0.0050	0.1300	0.0700	0.2900	0.9800	0.0000	0.0009	0.0000	0.0000	RI	0.0000	0.0600	0.0110	0.0700
	IM3	0.7900	0.3700	0.8300	0.2300	0.0170	0.0004	0.0000	0.0001	0.0000	0.0000	RIII	0.1200	0.0003	0.0015	0.0003
	IM4	0.3700	0.3100	0.5700	0.1900	0.0400	0.0019	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RV	0.0000	0.0000	0.0001	0.0003
Ácidos hidroxicinámicos	IM1	0.1550	0.0093	0.0300	0.0001	0.6000	0.0023	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RI	0.0400	0.0004	0.0000	0.0000
	IM3	0.0003	0.9800	0.5300	0.0004	0.0500	0.4300	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RIII	0.0001	0.0000	0.0050	0.0000
	IM4	0.0003	0.0900	0.5900	0.0100	0.0020	0.4100	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	RV	0.0007	0.0006	0.0000	0.0000
Flavonoles	IM1	0.4200	0.7100	0.7600	0.1800	0.0020	0.8300	0.0000	0.0000	0.0026	0.0000	RI	0.1700	0.0170	0.0000	0.0000
	IM3	0.3900	0.2800	0.6800	0.0000	0.0080	0.4300	0.0000	0.0000	0.0004	0.0100	RIII	0.0000	0.00002	0.0000	0.0000
	IM4	0.0600	0.0100	0.0800	0.0900	0.0004	0.3500	0.0000	0.0000	0.0000	0.0200	RV	0.1000	0.7500	0.0000	0.0002
FT	IM1	0.4863	0.2211	0.2900	0.2650	0.0230	0.4550	0.0000	0.0002	0.0007	0.0000	RI	0.0525	0.0193	0.0027	0.0175
	IM3	0.3376	0.4298	0.6400	0.2780	0.0260	0.2480	0.0000	0.0000	0.0001	0.0025	RIII	0.0500	0.0002	0.0566	0.0000
	IM4	0.1251	0.1475	0.4700	0.2030	0.0130	0.2020	0.0000	0.0000	0.0001	0.0750	RV	0.0252	0.0100	0.0000	0.0001
ANOVA factorial																
		A. benzoicos		A. hidroxicinámicos		Flavonoles		FT								
Tratamiento de riego		0.8400		0.2000		0.3400		0.7000								
Nivel de desarrollo		0.0000		0.0000		0.0000		0.0000								
Índice de madurez		0.0070		0.0000		0.0000		0.8000								
Variedad		0.0000		0.4000		0.0010		0.4000								
Ciclo de cultivo		0.0000		0.8000		0.0000		0.0000								

RDC-C hace referencia a la comparación entre el tratamiento de riego —RDC y el control (C)—; RI, RIII, RV indican los ramilletes I, III y V respectivamente; IM1, IM3, IM4, los índices de madurez. Los valores en rojo indican que no existen diferencias significativas ($p > 0.1$).

En muestras control los niveles de ácidos benzoicos oscilaron entre 120.0 (RI en IM4 en primavera) y 713.6 mg/100g peso seco (PS) (RIII en IM3 en otoño) en 'Summerbrix' y entre 137.8 (RI en IM1 en otoño) y 289.0 mg/100 g PS (RV en IM4 en primavera) en 'Lazarino'; los ácidos hidroxicinámicos entre 27.1 (RI en IM3 en primavera) y 163.7 mg/100 g (RV en IM1 en primavera) en 'Summerbrix' y entre 14.5 (RI en IM4 en otoño) y 98.5 mg/100 g (RV en IM1 en primavera) en 'Lazarino'; los flavonoles entre 57.6 (RIII en IM4 en otoño) y 184.8 mg/100 g (RV en IM1 en primavera) en 'Summerbrix' y entre 33.6 (RI en IM1 en otoño) y 277.3 mg/100 g PS (RV en IM3 en primavera) en 'Lazarino. Los compuestos fenólicos totales se encontraron en los rangos 227.3 (RI en IM3 en otoño) - 889.5 mg/100 g PS (RV en IM3 en otoño) en 'Summerbrix' y 191.8 - 661.2 mg/100 g PS en 'Lazarino'.

El ácido *p*-hidroxibenzoico, ácido clorogénico y quercetina fueron los principales contribuyentes a los contenidos totales de ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoles, respectivamente, en este estudio. En general, 'Lazarino' comparada con 'Summerbrix' fue una variedad que mostró mayor contenido de compuestos fenólicos.

4.1.3.3.1. Compuestos fenólicos y tratamiento de riego (RDC vs control) en dos variedades cherry

El tratamiento de riego en 'Lazarino' afectó al contenido de los ácidos benzoicos en la mayoría de los casos en otoño y en el RIII en primavera; en 'Summerbrix', en la mayoría de los casos en el RIII y RV. Así, el tratamiento provocó en la mayor parte de los casos un aumento en el contenido de los ácidos benzoicos en 'Lazarino', con incrementos entre el 2 y el 65 %, mientras que en 'Summerbrix' no se observó un patrón definido de cambio.

El tratamiento de riego en 'Lazarino' repercutió en el contenido de los ácidos hidroxicinámicos en la mayoría de los casos en el RI y RV en otoño y en el RIII en primavera; en 'Summerbrix', en la mayoría de los casos en el RI y RIII. Así, el tratamiento de riego provocó aumentos y disminuciones del contenido de los ácidos hidroxicinámicos, que dependió del nivel de desarrollo del ramillete, del índice de madurez y del ciclo de cultivo. Este efecto pudo estar relacionado con lo expuesto por otros autores que señalan que el ácido clorogénico, como mayor contribuyente de los ácidos hidroxicinámicos, aumentó en respuesta a una etapa de estrés y disminuyó cuando esta finalizó (Lule y Xia 2005).

El tratamiento de riego en 'Lazarino' influyó en el contenido de flavonoles en la mayoría de los casos en las dos estaciones; en 'Summerbrix', en la mayoría de los casos en el RI y RIII en

primavera. Así, el tratamiento de riego provocó aumentos y disminuciones del contenido de los flavonoles, que dependió del nivel de desarrollo del ramillete, del índice de madurez y del ciclo de cultivo. Estos resultados están en consonancia con los de otros autores, que observaron un aumento de la concentración de quercetina de 1.07 a 5.62 mg/100 g PF en 'PC01' y de 1.71 a 2.17 mg/100 g PF en 'PC05' en variedades cherry cuando se redujo la cantidad de agua de 2400 a 200 m³/ha y de forma similar cuando se hizo lo propio de 2400 a 1200 m³/ha (Pernice, Parisi, y otros 2010). A su vez, como ya se ha comentado, otros estudios sugieren que el contenido fenólico depende en gran medida de la variedad, así como de factores agronómicos y ambientales (Lea, y otros 2007, Olsen, y otros 2009, Dumas, y otros 2003).

El tratamiento de riego en 'Lazarino' influyó mayormente en el contenido de compuestos fenólicos totales en otoño y en el RII en primavera; en 'Summerbrix', en el RIII en las dos estaciones. Así, el tratamiento de riego provocó aumentos y disminuciones del contenido de compuestos fenólicos totales que dependió del nivel de desarrollo del ramillete, del índice de madurez y del ciclo de cultivo. Este efecto está relacionado con lo observado en otras investigaciones que reportaron un aumento del contenido de compuestos fenólicos totales de 40.91 a 55.68 mg EAG/100 g PF cuando la ET se redujo de 1 a 0.6 durante todo el cultivo de tomate (Kumar, y otros 2015).

4.1.3.3.2. Compuestos fenólicos y nivel de desarrollo del ramillete en dos variedades cherry

En general, el nivel de desarrollo del ramillete afectó al contenido de los ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos, flavonoles y compuestos fenólicos totales, excepto en el contenido de ácidos benzoicos en 'Lazarino' en el IM1 en primavera, en los frutos del tratamiento control y en el contenido de flavonoles en el IM3 en los frutos de plantas sometidas a RDC en primavera.

En los ácidos benzoicos se observó altos contenidos en el RV en otoño en la mayoría de los casos en las dos variedades. El contenido de los ácidos hidroxicinámicos en la mayoría de los casos en 'Lazarino' mostró altos valores en el RV en primavera. En 'Summerbrix' se advirtieron altos contenidos en el RV en las dos estaciones. Este efecto se relacionó con la cantidad de radiación, la cual aumentó en la cosecha en otoño, tal como se puede observar en la Figura 4.8-F, mientras que en la primavera aumentó durante todo el ciclo del cultivo. En este sentido, existen evidencias de que los niveles de desarrollo dependen en cierta medida de la radiación, incrementando su contenido en las partes más soleadas de la planta y disminuyéndolo en las

partes más sombreadas, como por ejemplo, la parte baja (Minutolo, y otros 2013, Atkinson, Dew, y otros 2011, Olsen, y otros 2009). Por otra parte, en otoño, el contenido de flavonoles en 'Lazarino' presentó altos valores en el RIII y RV, y en 'Summerbrix', en el RV.

El contenido de compuestos fenólicos totales estuvo influenciado principalmente por el aporte del contenido de los flavonoles, a excepción del ramillete RV en otoño para 'Summerbrix', cuya contribución se repartió en los tres grupos de compuestos fenólicos en estudio. El contenido de los compuestos fenólicos en 'Summerbrix' mostró altos valores en el RV en otoño y en primavera, mientras que 'Lazarino' no mostró un patrón definido.

4.1.3.3.3. Compuestos fenólicos e índice de madurez en dos variedades cherry

En general, el índice de madurez provocó cambios en la gran mayoría de los casos en el contenido de ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoles en las dos variedades y en las dos estaciones.

Los flavonoles presentaron altos contenidos en el IM1 y bajos en el IM4 en las dos variedades y en las dos estaciones. Por otra parte, el contenido de los ácidos hidroxicinámicos presentó en la mayoría de los casos altos valores en IM1 (frutos con 25 % de color rojo) en las dos variedades en estudio y en las dos estaciones. Este hecho coincide con las observaciones de otros autores, que señalaron que los frutos verde maduros contiene mayor contenido de ácido clorogénico (con contribuciones en torno al 75 % al contenido total de compuestos fenólicos) que los frutos rojos (con contribuciones en torno al 35 % al contenido total de compuestos fenólicos) (Slimestad y Verheul 2009).

4.1.3.3.4. Compuestos fenólicos y ciclo de cultivo en dos variedades cherry

Principalmente, el ciclo de cultivo influyó sobre el contenido de ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoles cuando se aplicó el tratamiento de riego en función del nivel de desarrollo del ramillete y del índice de madurez.

Los ácidos benzoicos, en general, no mostraron cambios importantes con el ciclo de cultivo, excepto en otoño en el RV en 'Summerbrix', que presentó un aumento entre el 43 y el 78 % del contenido con respecto al RI. Por otra parte, el contenido de ácidos hidroxicinámicos presentó altos valores en 'Lazarino' en primavera; mientras que en 'Summerbrix' aparecieron

altos valores en otoño y una particularidad en el RV en primavera, con un aumento de la concentración en la mayoría de los casos entre el 28 y el 50 % del contenido con respecto al RI.

Los flavonoles presentaron altos contenidos en primavera en las dos variedades estudiadas (rangos entre 119.6 y 248.5mg/100 g PS en 'Summerbrix' y entre 150.3 y 283.9 mg/100 g PS en 'Lazarino'). Este efecto se relacionó con la radiación recibida por el cultivo, la cual aumentó durante la primavera, pudiendo contribuir al aumento de los niveles de flavonoles. En este sentido, se ha observado que los niveles de quercetina aumentan con la radiación (Rosales 2008).

4.1.3.3.5. Compuestos fenólicos y la interacción entre el tratamiento de riego, el nivel de desarrollo del ramillete, el índice de madurez, la variedad y el ciclo de cultivo en dos variedades cherry

Generalmente, el análisis de ANOVA factorial que incluyó el tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, ciclo de cultivo y variedad indicó que el contenido de los ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos, flavonoles y compuestos fenólicos totales no se vio afectado significativamente por el tratamiento de riego; el contenido de los compuestos fenólicos totales no se vio afectado significativamente por el índice de madurez; el contenido de los ácidos hidroxicinámicos y compuestos fenólicos totales no fue afectado por la variedad y el contenido de los ácidos hidroxicinámicos no fue afectado por el ciclo de cultivo. Además, todos los compuestos fenólicos se vieron afectados por el nivel de desarrollo del ramillete. Así, el contenido de compuestos fenólicos cuando se aplicó una reducción promedio de agua del 85 % en otoño y primavera, ocasionó diferencias estadísticas que dependieron de los factores considerados en este estudio, sin embargo al considerar en conjunto todas los factores en estudio, se observó que en otoño el RDC tomó menor importancia que los otros factores, mientras que en primavera tuvo igual valor.

4.1.3.4. Calidad comercial en dos variedades cherry

En la Figura 4.18 y Figura 4.19 se muestra la calidad comercial referente al peso, sólidos solubles (SS) y parámetros de color en los tres niveles de desarrollo del ramillete, en los tres grados de madurez y en los dos ciclos de cultivo de 'Lazarino' y 'Summerbrix', respectivamente.

La Tabla 4.9 resume primero los datos de los ANOVAS simples realizados por separado para cada factor estudiado: tratamiento de riego (RDC y control), el nivel de desarrollo del

ramillete (RI, RIII y RV) y el índice de madurez (IM1, IM3 e IM4), sobre el contenido de carotenoides en las dos variedades en estudio y en los dos ciclos de cultivo (otoño y primavera 2016). En segundo lugar el análisis factorial en relación al tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad y el ciclo de cultivo.

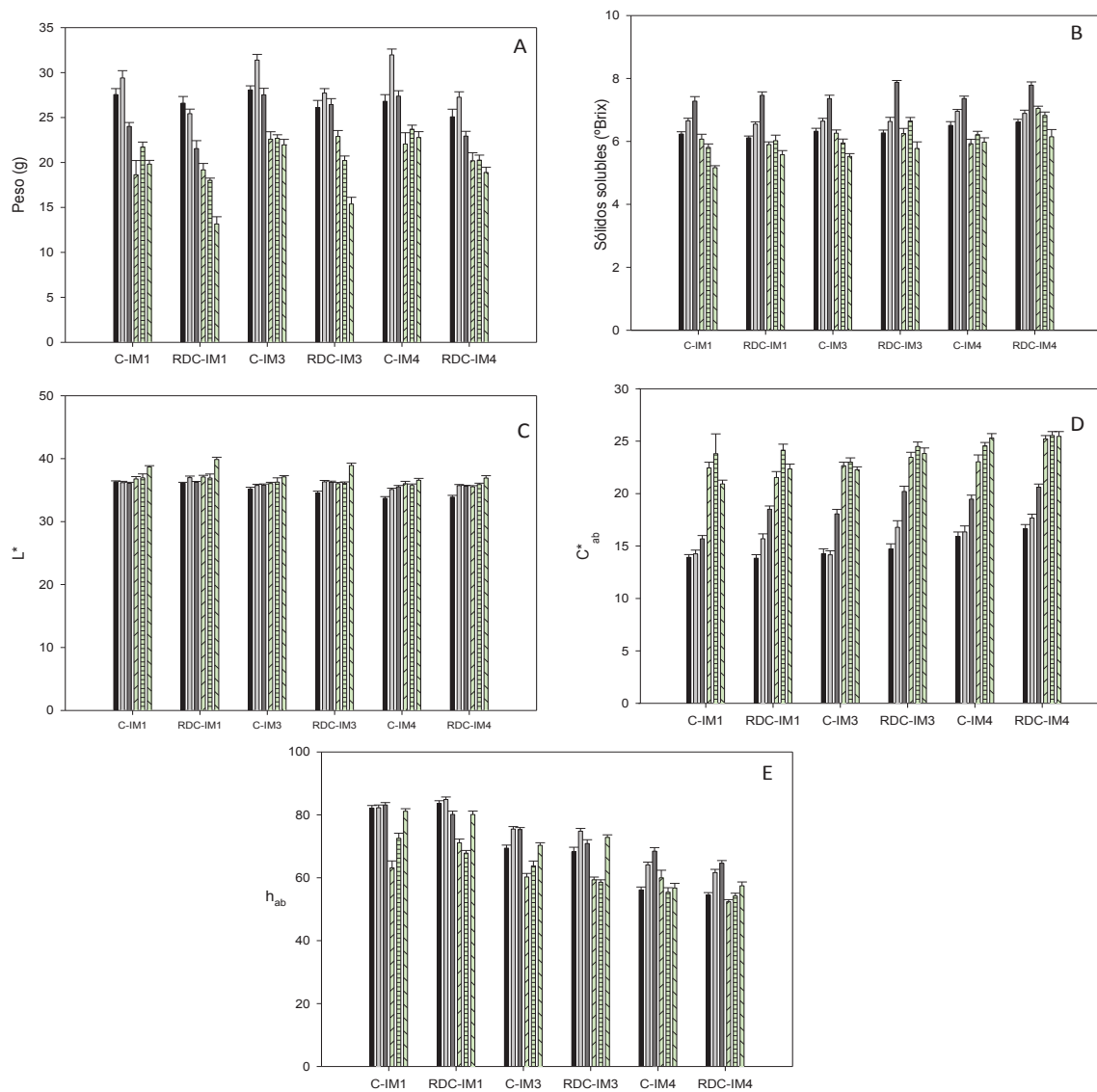


Figura 4. 18. Peso medio de fruto (A), contenido de sólidos solubles (B) y color (C, D, E) en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y dos ciclos de cultivo de 'Lazarino'.

Las barras representan datos correspondientes al ramillete I (RI), ramillete III (RIII), ramillete V (RV) en otoño, las barras RI, RIII, RV en primavera.

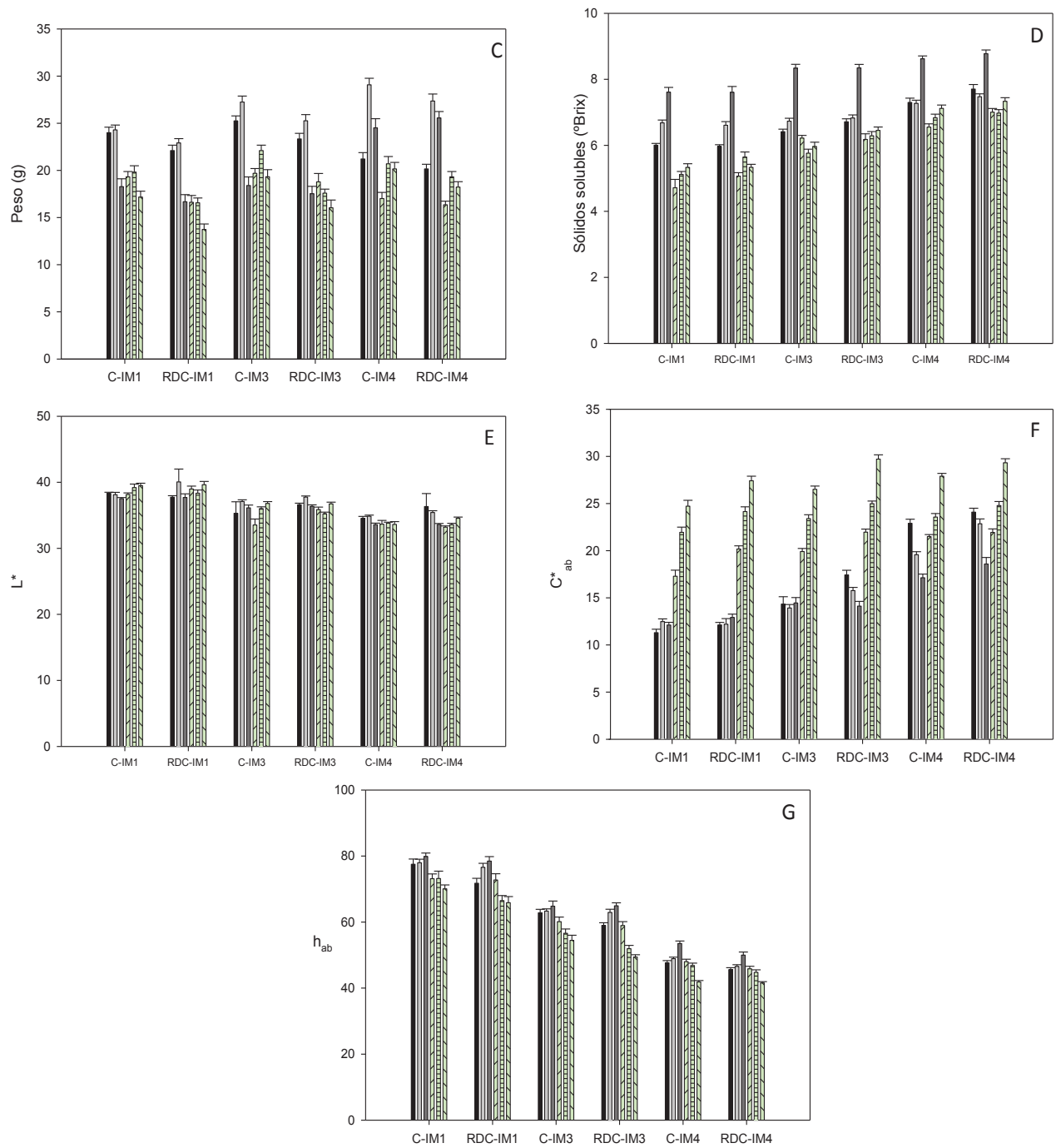


Figura 4. 19. Peso medio del fruto (C), contenido de sólidos solubles (D) y color (E, F y G), en tres niveles de desarrollo del ramillete (RI, RIII y RV), tres índices de madurez (IM1, IM3 y IM4) y dos ciclos de cultivo de ‘Summerbrix’.

Las barras representan datos correspondientes al ramillete I (RI), ramillete III (RIII), ramillete V (RV) en otoño, las barras RI, RIII, RV en primavera.

Tabla 4. 9. Resumen de los análisis de varianza con el estudio del efecto del tratamiento de riego, del nivel de desarrollo del ramillete y del índice de madurez sobre el contenido de carotenoides en dos variedades cherry en otoño y primavera, y análisis factorial en relación al tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad y ciclo de cultivo. Valores de p

'Lazarino'	RDC-C						Posición ramillete				Índice de madurez						
	Otoño			Primavera			Otoño		Primavera		Otoño		Primavera				
	RI	RIII	RV	RI	RIII	RV	C	RDC	C	RDC	C	RDC	C	RDC			
Peso	IM1	0.2300	0.0001	0.0287	0.6000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0960	0.0000	RI	0.3700	0.5100	0.0600	0.0060		
	IM3	0.0300	0.0000	0.2720	0.6000	0.0002	0.0000	0.0001	0.1800	0.6800	RIII	0.0300	0.0060	0.0200	0.0020		
	IM4	0.1200	0.0000	0.0000	0.3000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0001	0.4100	0.1500	RV	0.0001	0.0000	0.0020	0.0000	
SS	IM1	0.2700	0.1670	0.3744	0.3000	0.2000	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0400	RI	0.1300	0.0001	0.2100	0.0000	
	IM3	0.7400	0.7282	0.0001	1.0000	0.0001	0.2000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0040	RIII	0.0080	0.0600	0.0500	0.0004	
	IM4	0.0000	0.4079	0.0018	0.0000	0.0002	0.3000	0.0000	0.0000	0.2600	0.0015	RV	0.8400	0.0040	0.0000	0.0700	
L*	IM1	0.2900	0.0240	0.4710	0.5000	0.9000	0.0030	0.6000	0.0050	0.0050	0.0000	RI	0.0000	0.0000	0.1800	0.0000	
	IM3	0.1300	0.0490	0.0936	0.8000	0.9000	0.0000	0.0800	0.0000	0.1900	0.0000	RIII	0.0008	0.0004	0.2900	0.1700	
	IM4	0.5100	0.0425	0.9050	0.2000	0.0500	0.5000	0.0000	0.0000	0.1700	0.0007	RV	0.1400	0.0050	0.0000	0.0000	
C* _{ab}	IM1	0.7100	0.0190	0.0000	0.2000	0.9000	0.0100	0.0004	0.0000	0.2100	0.0020	RI	0.0020	0.0000	0.7400	0.0000	
	IM3	0.5800	0.0007	0.0020	0.2000	0.0090	0.0080	0.0000	0.0000	0.3300	0.2700	RIII	0.0010	0.0300	0.6200	0.1000	
	IM4	0.1100	0.0730	0.0400	0.0070	0.0500	0.8000	0.0000	0.0000	0.0060	0.7100	RV	0.0000	0.0004	0.0000	0.0003	
h _{ab}	IM1	0.2500	0.0200	0.0570	0.0003	0.0200	0.5000	0.7000	0.0030	0.0000	0.0000	RI	0.0000	0.0000	0.4600	0.0000	
	IM3	0.7500	0.6000	0.0020	0.6000	0.0040	0.0500	0.0000	0.0070	0.0000	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	IM4	0.2600	0.0500	0.0078	0.0050	0.4000	0.7000	0.0000	0.0000	0.0200	0.0009	RV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
'Summerbrix'	Peso	IM1	0.0260	0.0500	0.1600	0.0050	0.0004	0.0003	0.0000	0.0000	0.0080	0.0020	RI	0.0000	0.0006	0.0030	0.0300
		IM3	0.0210	0.0350	0.4700	0.4000	0.0000	0.0050	0.0000	0.0000	0.0040	0.0400	RIII	0.0000	0.0000	0.0600	0.0010
		IM4	0.2200	0.0944	0.3820	0.4000	0.2000	0.0400	0.0000	0.0000	0.0008	0.0006	RV	0.0000	0.0000	0.0100	0.0001
SS	IM1	0.6150	0.6100	0.9800	0.2100	0.0060	1.0000	0.0000	0.0000	0.0360	0.0050	RI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	IM3	0.0140	0.4600	0.9500	0.8000	0.0050	0.0050	0.0000	0.0000	0.0200	0.3700	RIII	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	IM4	0.0400	0.1350	0.2910	0.0040	0.4000	0.2000	0.0000	0.0000	0.0010	0.0400	RV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
L*	IM1	0.0490	0.3300	0.7600	0.1000	0.2500	0.8000	0.0700	0.3000	0.0500	0.1700	RI	0.0300	0.6500	0.0000	0.0000	
	IM3	0.4600	0.0410	0.6300	0.0200	0.0300	0.9000	0.5000	0.0000	0.0005	0.0030	RIII	0.0000	0.0200	0.0000	0.0000	
	IM4	0.3700	0.0750	0.9150	0.4000	0.4000	0.0500	0.0008	0.2000	0.9400	0.0000	RV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
C* _{ab}	IM1	0.0780	0.6800	0.0800	0.0004	0.0050	0.0010	0.0300	0.4000	0.0000	0.0000	RI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0005	
	IM3	0.0020	0.0010	0.7000	0.0001	0.0030	0.0000	0.8000	0.0000	0.0000	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.0300	0.3200	
	IM4	0.070	0.0000	0.0700	0.3000	0.0400	0.0080	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	RV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0004	
h _{ab}	IM1	0.0100	0.3900	0.4200	0.8700	0.0200	0.0600	0.3800	0.0020	0.3200	0.0170	RI	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	IM3	0.0070	0.8700	0.9000	0.5000	0.0070	0.0040	0.4000	0.0001	0.0200	0.0000	RIII	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
	IM4	0.030	0.0010	0.0060	0.0500	0.0600	0.6000	0.0000	0.0001	0.0000	0.0001	RV	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	
ANOVA factorial																	
		Peso	SS	L*	C* _{ab}	h _{ab}											
Tratamiento de riego		0.0000	0.0000	0.0040	0.0000	0.0000											
Nivel de desarrollo		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000											
Índice de madurez		0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000											
Variedad		0.0000	0.0000	0.6000	0.6500	0.0000											
Ciclos de cultivo		0.0000	0.0000	0.0007	0.0000	0.0000											

RDC-C hace referencia a la comparación entre el tratamiento de riego —RDC y el control (C)—; RI, RIII, RV indican los ramilletes I, III y V respectivamente; IM1, IM3, IM4, los índices de madurez. Los valores en rojo indican que no existen diferencias significativas ($p > 0.1$).

De forma general, cuando se compararon las dos variedades en estudio no se observaron importantes diferencias a destacar en ninguno de los parámetros de calidad estudiados: peso medio del fruto, SS y parámetros de color. El peso de frutos de plantas del tratamiento control en 'Summerbrix' presentó rangos entre 13.7 (RV en IM1 en primavera) a 29.1 g (RIII en IM4 en otoño) y en 'Lazarino', rangos entre 18.6 (RI en IM1 en primavera) a 32.0 g (RIII en IM4 en otoño) (Figura 4.18-A y Figura 4.19-A). Estos valores concuerdan con la descripción de Flores y otros (2016) que señalaron que las variedades muy pequeñas de tomate presentan rangos de entre 9.2 a 14.2 g, mientras que las variedades pequeñas de tomate, rangos entre 27.6 a 67.2 g (Flores, y otros 2016). Así, se sitúa el peso medio del fruto de las dos variedades estudiadas en una posición media entre variedades muy pequeñas y pequeñas.

El contenido de SS de los frutos del tratamiento control en 'Summerbrix' manifestó rangos entre 4.7 °Brix (RI en IM1 en primavera) a 8.8 °Brix (RV en IM4 en otoño) y en 'Lazarino', rangos entre 5.2 (RV en IM1 en primavera) a 7.8 °Brix (RV en IM4 en otoño) (Figur 4.18-B y Figura 4.19-B). Estos valores concordaron con otros estudios que presentaron rangos de SS entre 7.6 a 7.7 °Brix en variedades cherry (Figás, y otros 2015, Gómez, y otros 2001).

Los parámetros de color L^* , C^*_{ab} , h_{ab} (Figura 4.18-C, D, E y Figura 4.19-C, D, E) en el tratamiento control en 'Summerbrix' para L^* presentó rangos de entre 33.2 (RV en IM3 en primavera) a 40.1 (RIII en IM4 en otoño); C^*_{ab} , entre 11.3 (RI en IM1 en otoño) a 27.9 (RV en IM4 en primavera); h_{ab} , de 41.9 (RV en IM4 en primavera) a 79.9° (RV en IM1 en otoño). En 'Lazarino' L^* mostró valores entre 33.7 (RI en IM4 en otoño) a 39.9 (RV en IM1 en primavera); C^*_{ab} , rangos entre 13.8 (RI en IM1 en otoño) a 25.5 (RV en IM4 en primavera); h_{ab} , rangos entre 52.4 (RIII en IM4 en primavera) a 83.1° (RV en IM1 en otoño). Estos rangos estuvieron relacionados con otros estudios que presentaron rangos de L^* entre 28.0 a 44.6; C^*_{ab} , entre 22.0 a 42.8; h_{ab} , entre 40.7 a 60.1 en tomates rojos (Gómez, Segura y Fernández 2010, Vinha, y otros 2014, Stinco, Benítez-González, y otros 2014, Domene y Segura 2014).

4.1.3.4.1. Calidad comercial y tratamiento de riego (RDC vs control) en dos variedades cherry

El tratamiento de riego influyó en el peso del fruto en 'Lazarino' en el RIII y RV en la mayoría de los casos en los dos ciclos de cultivo, con una disminución del peso medio entre el 4 (RI en IM1, RV en IM3) y el 16 % (RV en IM4) en otoño cuando fue aplicado riego deficitario controlado y entre el 14 (RIII en IM4) y el 33 % (RV en IM1) en primavera. 'Summerbrix'

mostró diferencias significativas en la mayoría de los casos con el tratamiento de riego en el RI y RIII en otoño, con disminución del peso medio entre el 5 (RI en IM4, RV en IM3) y el 9 % (RV en IM1) y en primavera, el tratamiento de riego en el RIII y RV no mostró un efecto claro en el peso medio del fruto. Las mayores disminuciones de peso observadas en primavera, pudieron deberse al estado hídrico del cultivo, ya que el potencial hídrico de hoja en primavera especialmente en la segunda mitad de la fase II disminuyó hasta -0.9 MPa, y se acumuló una integral de estrés de 55 MPa.día⁻¹ en 'Lazarino' y 62 MPa.día⁻¹ en 'Summerbrix' (Figura 4.10-A) provocando un mayor estrés en la planta (Figura 4.10-B). Por otra parte, el tratamiento de riego no provocó cambios significativos en el peso medio del fruto del primer ramillete, logrando un ahorro de agua promedio del 85 % en otoño y en primavera en 'Summerbrix'; mientras que en 'Lazarino' el ahorro de agua fue del 85 % en otoño y 86 % en primavera. Esto puede indicar que el nivel de estrés sufrido por la planta durante el cuajado, crecimiento y desarrollo del fruto no supuso un problema, mientras en el caso de los ramilletes más altos el nivel de estrés fue mayor, ya que niveles de estrés elevados pueden disminuir el peso del fruto, como se ha reportado en trabajos previos de 17.37 a 12.72 g en 'PC01' y 'PC05' (variedades cherry) cuando fue reducida la cantidad de agua en un 92%, y de forma similar cuando se aminoró la cantidad de agua en un 50% (Pernice, Parisi, y otros 2010). En general, el umbral de -0.8 MPa en otoño supuso disminuciones promedio del 12 % en el peso medio del fruto, al tiempo que conllevó un ahorro de agua superior al 80 %, mientras que en primavera por tratarse de un ciclo de cultivo bajo condiciones ambientales más exigentes, umbrales de -1 MPa provocaron reducciones de un 35 % en el peso del fruto. Sopesando peso medio del fruto y ahorro de agua, el umbral puede estar en esa orquilla para el cultivo de tomate cherry, -0.8 MPa un umbral adecuado para un estado óptimo del cultivo, y -1 MPa como umbral mínimo de estrés, que si afectaría a la producción y calidad comercial, aunque permitiría una reducción de riego mayor.

El tratamiento de riego influyó en el contenido de los SS en 'Lazarino' en la mayoría de los casos en el RV en otoño y RIII en primavera, con incremento del contenido entre el 3 (RV en IM4 en otoño) y el 17 % (RI en IM4 en primavera), mientras que en 'Summerbrix' cambió en la mayoría de los casos en el RI en otoño y en primavera en el RIII, con incrementos entre el 3 (RIII en IM4 en otoño) y el 9 % (RIII en IM1 en primavera). Este efecto estuvo relacionado con lo dicho por otros autores que indicaron una disminución del contenido de SS de 5.47 a 7.60 °Brix en 'PC01' y de 6.30 a 9.10 °Brix en 'PC05' (variedades cherry) cuando fue reducida la cantidad de agua en un 92% y de forma similar cuando se rebajó la cantidad de agua en un 50% (Pernice, Parisi, y otros 2010). Además, otros autores señalan incrementos de los SS cuando se

aplicó RDC, provocando una mejora en la calidad comercial del tomate (Beckles 2012, Nangare, y otros 2016, Patané, Tringali y Sortino 2011, Lahoz, y otros 2016).

El tratamiento de riego provocó diferencias significativas en el valor de L^* en 'Lazarino' en el RIII en otoño y en primavera en el RV; en 'Summerbrix' se vió afectado en el RIII. El tratamiento ocasionó diferencias significativas en el valor de C^*_{ab} en 'Lazarino' en el RIII y RV en el cultivo de otoño y en primavera; en 'Summerbrix' cambió en los dos ciclos de cultivo. El tratamiento de riego provocó diferencias significativas en el valor de h_{ab} en 'Lazarino' en el RIII y RV en el ciclo de otoño, y en primavera en el RI y RIII; en 'Summerbrix' mostró diferencias significativas en el RI en otoño y en primavera en el RIII y RV. Así, en el ciclo de otoño provocó en la mayoría de los casos disminuciones del parámetro de color h_{ab} de entre un 4 % (RI en IM4 en 'Summerbrix', RIII en IM4 y RV en IM1 en 'Lazarino') a un 7 % (RI en IM1 y RV en IM4 en 'Summerbrix') y en primavera osciló entre un 1 % (RV en IM4 en 'Summerbrix') a un 13 % (RI en IM4 en 'Lazarino'), a su vez se observaron aumentos puntuales de h_{ab} del 3 % (RIII en IM4 en otoño, RV en IM3 en primavera en) y del 11 % (RIII en IM1 en primavera) en 'Lazarino' Los parámetros de color se vieron afectados por la variedad, el ciclo de cultivo y el índice de madurez. Este efecto es similar al estudiado por Lahoz y otros (2016), que señaló un incremento del 2 % en el ángulo de color cuando se aplicó una disminución del 25 % de la evapotranspiración del cultivo en variedades empleadas para procesamiento (Lahoz, y otros 2016). Además, otros estudios han señalado que el RDC provocó el aumento del índice de color entre 5.7 a 8.9 % en primavera-verano del 2008 cuando se aplicó una disminución de agua del 33% y entre 6.2 a 14.4 % en el ciclo de cultivo invierno 2008 a verano 2009 cuando se disminuyó el agua en un 50 %, además todos los frutos tendieron a un color más rojo (Wang, y otros 2011). En nuestro caso el riego deficitario controlado, redujo en un 85 % el consumo de agua y permitió mejorar el color del fruto hasta en un 7 % en otoño sin afectar la producción y en un 13 % en primavera a pesar de haber existido una reducción de la producción del 38 % en las dos variedades; el efecto entre el color y la producción también fue observado en el estudio de Wang a pesar de tratarse de disminuciones de agua menores comparadas con las de nuestro estudio. Sin embargo, dentro de la comercialización del fruto, es menester sopesar la mejora de la calidad visual y el ahorro de agua que provocó la aplicación de RDC con la disminución de la producción, tal como sugieren otros autores (Fortes, y otros 2013).

4.1.3.4.2. Calidad comercial y nivel de desarrollo del ramillete en dos variedades cherry

En general, la posición del ramillete mostró diferencias en el peso medio del fruto, SS y parámetros de color en la mayoría de los casos en las dos estaciones y en las dos variedades, con excepciones puntuales. Los pesos más bajos fueron alcanzados en el RV en la mayoría de los casos; sin embargo, no presentó un comportamiento claro ya que aumentó y disminuyó en función de la variedad, ciclo de cultivo e índice de madurez. Estos resultados concuerdan con otra investigación en tomates cherry que estudió el peso en función del nivel de desarrollo del ramillete y en el que no se evidenció un patrón definido (Choi, y otros 2016). Pero en nuestro caso parece claro que el tamaño del fruto está correlacionado con el número de frutos por ramillete (Figura 4.12). Ya que el RV y en primavera el RIII, se han caracterizado por duplicar el número de frutos, si lo comparamos con el resto. De modo que se trata fundamentalmente de competencia por nutrientes.

En las dos variedades se observó un aumento de los SS con el mayor nivel de desarrollo de los ramilletes, es decir cuanto más altos en la planta mayor contenido en SS. En 'Lazarino' y 'Summerbrix' los SS aumentaron con respecto a RI en otoño en un rango de 12 % (IM4 en control de 'Lazarino') al 23 % (IM4 en control de 'Summerbrix') con el nivel de desarrollo del ramillete en las dos variedades, mientras que en primavera rangos entre 4 % (IM4 en RDC de 'Summerbrix') al 15 % (IM1 en control de 'Lazarino'). Estos datos concuerdan con el incremento de los SS observados en función del nivel de desarrollo del ramillete en tomate cherry cultivado en primavera (Choi, y otros 2016).

4.1.3.4.3. Calidad comercial e índice de madurez en dos variedades cherry

En general, el índice de madurez provocó en todos los casos diferencias significativas en 'Summerbrix', con excepciones puntuales, y en 'Lazarino' ocasionó cambios en la mayoría de los casos. Como se esperaba, los SS incrementaron en función del índice de madurez del fruto. Así, por señalar un ejemplo, en otoño se observaron valores medios de 6.8 °Brix en IM1, 7.2 en IM3 y 7.9 en IM4 en 'Summerbrix' y en primavera 5.8 °Brix en IM1, 6.1 en IM3 y 6.4 en 'Lazarino'. Este efecto concuerda con estudios de otros autores que presentaron valores de 6.2 °Brix en tomate verde maduro, 7.4 °Brix en tomate rosado y 8.5 °Brix en tomate rojo (Verheul, Sliemstad y Holta 2015).

Por otra parte, el índice de madurez en 'Lazarino' provocó diferencias significativas en los parámetros de color L^* y C^*_{ab} en otoño y h_{ab} , en los dos ciclos de cultivo; en 'Summerbrix' mostró diferencias significativas en L^* , C^*_{ab} y h_{ab} en los dos ciclos de cultivo. Estos datos

concuerdan con lo observado por otros autores (Zhang, y otros 2013), pues no se evidenció un patrón definido de cambio en los parámetros de color.

4.1.3.4.4. Calidad comercial y ciclo de cultivo en dos variedades cherry

En general, el ciclo de cultivo influyó sobre el contenido del peso medio del fruto, SS y parámetros de color. El peso del fruto cambió con el ciclo de cultivo mostrando valores más altos en otoño y valores más bajos en primavera. En otoño los rangos oscilaron entre 16.7 g en RDC en IM1 en RV a 29.1 g en control en IM4 en RIII en 'Summerbrix' y entre 21.6 g en RDC en IM1 en RV a 32.0 g en control en IM4 en RIII en 'Lazarino'; en primavera entre 13.7 g RDC en IM1 en RV a 22.1 g RDC en IM3 en RIII en 'Summerbrix' y entre 13.2 g RDC en IM1 en RV a 22.9 g RDC en IM3 en RIII en 'Lazarino'.

Este efecto pudo estar relacionado con la carga de frutos de la planta, ya que el número de frutos cuajados en otoño (Figura 4.12) fue menor que en primavera, lo que probablemente conllevó a una mayor disponibilidad de nutrientes en otoño, generando así frutos de mayor calibre. A su vez, también pudo estar relacionado con las condiciones climáticas de temperatura y DPV (Figura 4.8), que fueron óptimas durante el desarrollo vegetativo y la primera parte de la floración y crecimiento de los frutos en otoño, contribuyendo a una mayor división y expansión celular; en cambio, en primavera estas fases de desarrollo del cultivo se desarrollaron con condiciones menos adecuadas, la temperatura osciló entre (12.6 °C temperatura mínima a 16.4 °C temperatura máxima) y el DPV presentó valores medios de (0.0 mb valor mínimo a 5.8 mb valor máximo). Este efecto concuerda con otros autores que señalaron que bajos DPV ocasionan la disminución de la transpiración de la planta (Ramos-Fernández, y otros 2009).

Los SS en la mayoría de los casos mostraron valores más altos en otoño comparados con los de primavera. En otoño los valores medidos oscilaron entre 6.0 °Brix en RI en IM1 a 8.8 °Brix en RDC en IM4 en RV en 'Summerbrix' y 6.1 °Brix en RDC en IM1 en RI a 7.9 °Brix en RDC en IM3 en RV en 'Lazarino', mientras en primavera se midieron valores mínimos de 4.7 °Brix en control en IM1 en RI y los más altos fueron de 7.3 °Brix en RDC en IM4 en RV en 'Summerbrix'; mientras en 'Lazarino' los valores más bajos fueron de 5.2 °Brix en control en IM1 en RV y los más altos de 7.1 °Brix en RDC en IM4 en RI.

Estos resultados podrían coincidir con estudios que han mostrado valores más altos de SS a temperaturas bajas, y con la disminución del fotoperiodo (Wang, y otros 2011, Klaring, y otros 2015), como las ocurridas en el invernadero, que disminuyó durante la segunda mitad del ciclo

de otoño (Figura 4.8) de entre 24.7 °C (06-11-2015) a 14.1 °C (19-01-2016), provocando el incremento de los SS en las dos variedades, el efecto contrario se observó en 'Lazarino' en el cultivo de primavera en el índice de madurez 1 y 3, donde se presentó valores más altos de SS en el primer ramillete y más bajos en el quinto.

C^*_{ab} presentó mayores valores en primavera y h_{ab} , en otoño en la mayoría de los casos. Este particular sugiere que los frutos cultivados en primavera presentan colores más vivos, provocando una mejora de la calidad comercial del tomate y haciéndolos más apetecibles para el consumidor, aunque contengan menor cantidad de sólidos solubles.

4.1.3.4.5. Calidad comercial y la interacción entre el tratamiento de riego, el nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, variedad y ciclo de cultivo en dos variedades cherry

En general, el análisis de ANOVA factorial que incluyó el tratamiento de riego, nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez, ciclo de cultivo y variedad reportó que todas las variables en estudio influyeron sobre los parámetros de calidad comercial del fruto estudiados (peso, SS y parámetros de color). La única excepción fue la variedad y el color, los dos cultivares de cherry estudiados no mostraron diferencias significativas en los parámetros de color L^* y C^*_{ab} . A pesar de ello, estos resultados coincidieron con estudios anteriores en los que se ha evidenciado la importancia de los factores agronómicos y las condiciones climáticas del cultivo en la calidad del fruto (Pearce, Grange y Hardwick 2015, M. Dorais 2007, Dannehl, Josuttis y Huyskens-Keil 2014, Rosales 2008). Así, una reducción promedio de agua del 85 % en otoño y en primavera provocó en la mayoría de los casos diferencias significativas en los parámetros de calidad estudiados por separado, sin embargo al considerar en conjunto todos los factores, el RDC aplicado tomó menor importancia en los SS y C^*_{ab} en otoño en comparación con los otros factores. De modo que el RDC aplicado en este ciclo, con un umbral de -0.8 MPa, como nivel mínimo de potencial hídrico no afectó a la calidad del fruto.

4.1.3.5. Correlaciones del estudio de dos variedades cherry

Cuando se correlacionan estos parámetros de calidad comercial con el contenido en carotenoides y compuestos fenólicos se observó una relación inversa entre los flavonoles y el tamaño de la fruta, mostrando grandes tamaños en los frutos en otoño y bajos contenidos de

flavonoles, y el efecto contrario en primavera. Estos resultados coincidieron con los de otros autores, que sugirieron una relación inversa entre los flavonoles y el tamaño del tomate (Slimestad y Verheul 2009).

Además, cuando se relacionó el contenido de SS y el peso medio del fruto en los dos ciclos de cultivo, se encontró una relación inversa en las dos variedades en estudio, a menor tamaño mayor contenido en sólidos solubles. Este efecto ha sido descrito por varios autores, que han registrado el mismo efecto en estudios de varios cultivares de tomate con diferente forma, color y tamaño (Beckles 2012, Flores, y otros 2016).

Al relacionar los SS con el contenido de los flavonoles se observó una relación inversa, con coeficientes de correlación de -0.6 en 'Lazarino' y de -0.4 en 'Summerbrix'. Este hecho podría estar relacionado en parte a lo observado por otros autores que señalaron que los flavonoles pueden inhibir la glicólisis provocando la disminución de los SS (Stakhova, Ladygin y Stakhov 2001).

4.1.3.6. Conclusiones del estudio de dos variedades cherry

El cultivo de tomate se desarrolló con una integral térmica muy similar en variedades y ciclos de cultivo, en 'Summerbrix' de 2900 en otoño y 3031 °Cd en primavera y en 'Lazarino' de 3000 en otoño y 3215 °Cd en primavera. La integral total de estrés en primavera mostró altos valores (en control: 39.6 en 'Summerbrix' y 39.9 MPa en 'Lazarino'; en RDC: 62.0 en 'Summerbrix' y 55.0 MPa en 'Lazarino') comparada con la integral de estrés en otoño (en control: 13.5 en 'Summerbrix' y 11.6 MPa en 'Lazarino'; en RDC: 21.3 en 'Summerbrix' y 16.0 MPa en 'Lazarino'). La altura de la planta, el número de hojas y número de inflorescencias, mostraron aisladas diferencias significativas con la aplicación del riego deficitario durante el desarrollo del cultivo. El número de frutos cuajados en primavera (valores entre 12 a 54) fue mayor que en otoño (valores entre 2 a 27). La aplicación de riego deficitario controlado no provocó diferencias significativas en la producción de otoño en las dos variedades, pero si los produjo en primavera, ocasionando una disminución de la producción total de un 38 % en 'Summerbrix' y un 39 % en 'Lazarino'.

El contenido de carotenoides totales en las dos variedades, mostró diferencias significativas principalmente en el primer y quinto ramillete en otoño, y en el quinto ramillete en primavera. El tratamiento hídrico no mostró un patrón definido sobre el contenido de carotenoides totales, presentando aumentos entre 5 – 61% (aumento del 40% en otoño en

'Lazarino' y 61% en primavera en 'Summerbrix', en el índice de madurez IM4 en el RV) y disminuciones entre 0 - 28%, cuyo cambio dependió del nivel de desarrollo del ramillete y el ciclo de cultivo. El contenido de fitoeno en otoño aumentó considerablemente en el índice de madurez IM4 con respecto a IM1 en 'Summerbrix' en las muestras control (84, 88 y 96% en el RI, RIII y RV respectivamente) y en RDC (89, 87 y 95% en el RI, RIII y RV, respectivamente). En primavera, el contenido de fitoeno en muestras control en 'Lazarino' mostró valores altos en RV, con incrementos del 48% en el contenido con respecto a RI en el índice de madurez IM1, 65 % en el IM3 y 60% en el IM4. Por otra parte, en otoño y primavera, 'Lazarino' y 'Summerbrix' presentaron valores altos de licopeno en IM4 en el RV en las muestras control y RDC. En 'Lazarino' se observó un aumento del contenido de licopeno de 81% en control y 88 % en RDC con respecto al índice de madurez IM1 en otoño, y 88% en control y 90% en RDC en primavera; a su vez, en 'Summerbrix' 100% en control y RCD en otoño, y 82% en control y 90% en RDC en primavera. En 'Lazarino', el β -caroteno mostró valores altos en IM4 en el RV en muestras control en otoño y en muestras RDC en primavera, con aumentos del contenido del 67% en muestras control y 74% en muestras RDC con respecto a IM1; a su vez en 'Summerbrix' se mostró valores altos en RV en otoño en las muestras control y RDC, con un aumento de 69% y 56 % respectivamente, y en primavera en el RIII y RV en muestras bajo RDC, mostrando aumentos con respecto a IM1 de 66% y 90% .

El riego deficitario en la mayoría de los casos en 'Lazarino', provocó aumento de la concentración de compuestos fenólicos totales (rango entre 0.4 a 23.7 %) en las dos estaciones, mientras que en 'Summerbrix' se observó diferencias estadísticas solo en el RIII (aumento del 11% en IM1, 4.3 % en IM3 y disminución del contenido de 2.3% en IM4). Los flavonoles mostraron importantes cantidades en primavera con aumentos entre 40 y 73% en 'Lazarino', mientras que en 'Summerbrix' aumentos entre 33 y 74%. Además, 'Summerbrix' mostró altos valores de ácidos benzoicos en el RV en el índice de madurez IM3 y IM4 en otoño en muestras control y RDI, con aumentos entre 74 y 78% con respecto a RI, mientras que los ácidos hidroxicinámicos mostraron altos valores en RV en primavera con aumentos de 49 y 61% con respecto a RI.

La aplicación de RDC no afectó la calidad del fruto en ninguno de los ciclos de cultivo y ocasionó un ahorro promedio de agua de 85 % en otoño y 86 % en primavera; por otra parte, el riego deficitario no provocó modificaciones en el peso del fruto en la mayoría de los casos salvo en el RI en primavera en 'Summerbrix', ocasionando un ahorro de agua del 85% en otoño y en primavera.

Por otra parte, el RDC no provocó diferencias significativas en los SS en la mayoría de los casos en otoño en el RI y RIII en 'Lazarino', y RIII y RV en 'Summerbrix' y además en primavera en la mayoría de los casos en los ramilletes RI y RV en las dos variedades. Además, el riego deficitario en 'Lazarino', no provocó diferencias significativas en el RI en todos los parámetros de color en otoño, y en la mayoría de los casos en L^* y C^*_{ab} en primavera, a su vez, L^* en las dos estaciones en 'Summerbrix' en la mayoría de los casos. Así, el ciclo de cultivo de otoño mostró mejores parámetros de calidad, con frutos de mayor tamaño y alto contenido de sólidos solubles, mientras que en primavera destacaron las características de color, sin embargo el efecto negativo fue que la producción en otoño fue menor que en primavera, como se mencionó anteriormente, el número de frutos cuajados por ramillete fue menor.

Así, el análisis en conjunto de todos factores estudiados mostró que la calidad comercial fue afectada por el déficit hídrico, índice de madurez, nivel de desarrollo del ramillete y ciclo de cultivo, mientras que la calidad funcional no fue alterada con el déficit hídrico aplicado y la variedad, y más bien otros factores como nivel de desarrollo del ramillete, índice de madurez y ciclo de cultivo provocaron importantes cambios.

4.1.4. Efecto de la posición del fruto en el ramillete sobre la calidad funcional y comercial de dos variedades de tomate cherry³

El efecto que tiene la posición del fruto en ramilletes de tomates en su calidad comercial y funcional, referida al contenido de carotenoides y compuestos fenólicos es un aspecto poco estudiado y que resulta de interés tanto para productores como consumidores.

4.1.4.1. Contenido de carotenoides

En la Figura 4.20 se muestran los contenidos de los carotenoides mayoritarios y el contenido total como la suma de carotenoides individuales en dos variedades cherry ('Lazarino' y 'Summerbrix') cosechadas en un índice de madurez del 100 % (totalmente rojo) y en tres posiciones del fruto en el ramillete.

Los rangos de concentraciones de fitoeno en 'Lazarino' y en 'Summerbrix' fueron entre 6.7 (PIII) - 9.2 mg/100 g PS (PII) y 8.7 (PII) - 12.5 mg/100 g PS (PI); los de fitoflueno e 1.2 (PI) - 1.6 mg/100 g PS (PIII) y 1.0 (PIII) - 1.7 mg/100 g PS (PI), respectivamente; los niveles de licopeno oscilaron entre 13.4 (PIII) y 15.0 mg/100 g PS (PII) en 'Lazarino' y, en 'Summerbrix', entre 10.5 (PIII) y 19.8 mg/100 g PS (PI), mientras que los de β -caroteno lo hicieron entre 2.1 (PI) y 4.2 mg/100 g PS (PII) y entre 1.5 (PIII) y 3.2 mg/100 g PS (PI) en 'Lazarino' y en 'Summerbrix', respectivamente. Estos valores fueron en general similares a otros que pueden encontrarse en la bibliografía. Así otros autores reportaron rangos de fitoeno entre 0.6 y 0.7 mg/100 g PF en variedades cherry tipo pera, de fitoflueno, entre 0.39 y 0.43 mg/100 g, de luteína entre 1.0 y 1.4 mg/100 g PS y de β -caroteno entre 0.55 y 0.68 mg/100 g PF (Pernice, Parisi, y otros 2010, Coyago-Cruz, y otros 2017). Por otra parte, el contenido de licopeno fue en general inferior al reportado por otros autores que lo cuantificaron en rangos entre 30.3 y 123.5 mg/Kg FW en variedades cherry (Figás, y otros 2015, Cortés-Olmos, y otros 2014, Pernice, y otros 2010, Choi, y otros 2014). Las bajas concentraciones se pudieron deber, al menos en parte, a las diferentes condiciones de cultivo, ciclo de cultivo y variedad comparadas. Por ejemplo, en un estudio realizado por Coyago *et al.*, (2017) se reportaron menores contenidos de carotenoides para las mismas variedades cultivadas en primavera.

³ El contenido esta sección ha sido sometido a revisión por parte de la revista Food Research International y se encuentra en etapa de corrección (Coyago-Cruz, Elena, Mireia Corell, Alfonso Moriana, Dolores Hernanz, Carla Stinco, y Antonio Meléndez-Martínez. «Effect of the fruit position on the cluster on fruit quality, carotenoids, phenolics and sugars in cherry tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) . »

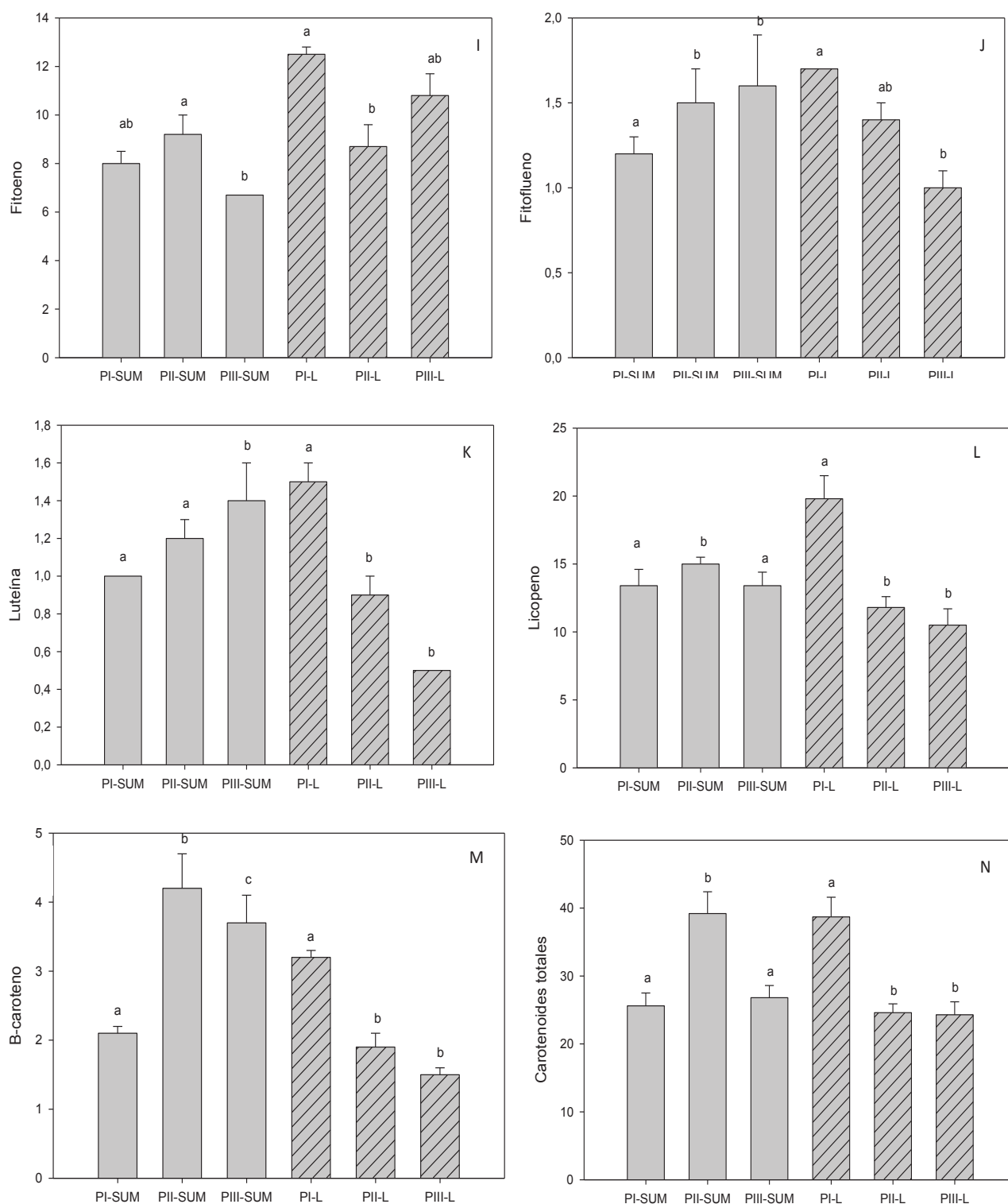


Figura 4. 20. Contenido de fitoeno (I), fitoflueno (J), luteína (K), licopeno (L), β-caroteno (M) y carotenoides totales (N) todos ellos expresados en mg/100 g PS en tres posiciones del fruto en el ramillete (PI, PII y PIII) en dos variedades cherry.

PI-L, PII-L y PIII-L señala la posición cercana al tallo, posición media y posición alejada del tallo en 'Lazarino', respectivamente; PI-SUM, PII-L y PIII-L señala la posición cercana al tallo, posición media y posición alejada del tallo en 'Summerbrix', respectivamente. Las barras verticales indican el error estándar. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Turkey, $p < 0.05$ en 'Lazarino' y 'Summerbrix'.

En general, se observaron diferencias significativas en función de la posición del fruto en el ramillete en todos los carotenoides individuales y en las dos variedades en estudio. Sin embargo, se observó que en 'Summerbrix' el contenido de fitoeno, fitoflueno, luteína, licopeno y β -caroteno no fue estadísticamente diferente entre PII y PIII; por tanto, se podría decir que la fruta cosechada en estas posiciones presenta contenido muy similar de carotenoides individuales. Además, este efecto también fue observado en el contenido de fitoeno y luteína en 'Lazarino' en PI y PII, mientras que en el caso de fitoflueno se observó en PII y PIII. En 'Summerbrix' el contenido de luteína, licopeno y β -caroteno presentó altos contenidos en la PI y valores no diferentes significativamente en PII y PIII. Algo similar se observó cuando se consideraron los niveles totales de carotenoides. Así, en 'Lazarino' no se observaron diferencias significativas entre PI y PIII y un alto contenido de carotenoides totales en la PII; en 'Summerbrix' no se observaron diferencias significativas entre PII y PIII y se advirtió un contenido más alto en la PI.

Los altos contenidos de licopeno en PII en 'Lazarino' y en PI en 'Summerbrix' podrían estar relacionados, al menos en parte, con la radiación recibida por el cultivo, desarrollado en otoño. En este sentido, varios autores señalaron que el contenido de carotenoides puede variar en función de la radiación recibida (Eichholz, y otros 2014, Li, y otros 2013). En este sentido, es importante considerar que la longitud del ramillete en 'Summerbrix' fue de alrededor de 45.6 cm con una distribución de frutos espaciada. El fruto en PI aparecieron aproximadamente a los 9.4 cm, de forma que la incidencia de luz podría ser mayor en esta posición que en PII y PIII. De hecho, los frutos en estas posiciones se encontraban entre las hojas de la planta. Por otra parte, la longitud del ramillete en 'Lazarino' fue de aproximadamente 40.1 cm y la separación de los frutos fue menor. El fruto en la PI apareció a los 7.9 cm y en la PII, a los 14.5 cm. Los frutos en la PI y PIII se encontraron escondidos entre el follaje, con lo que es sensato pensar que recibieron menos radiación, se produjo una disminución de la fotosíntesis y, en consecuencia, una menor cantidad de carotenoides.

4.1.4.1.1. Carotenoides y la interacción entre la posición del fruto en el ramillete y la variedad

En general, el análisis de ANOVA factorial que incluyó la variedad y la posición del fruto en el ramillete (Tabla 4.10), indicó que la posición del fruto en el ramillete provocó cambios en el contenido de licopeno, contribuyente principal del valor de carotenoides totales y, en consecuencia, en el contenido de carotenoides totales. Por otra parte, la variedad afectó significativamente al contenido de fitoeno y β -caroteno.

Tabla 4. 10. Resumen del análisis factorial en relación a la posición del fruto en el ramillete y la variedad sobre el contenido de carotenoides. Valores de p

Carotenoides	Posición del fruto en el ramillete	Variedad
Fitoeno	0.1600	0.0003
Fitoflueno	0.6700	0.8300
Luteína	0.5200	0.1600
Licopeno	0.0100	0.9300
β -Caroteno	0.6700	0.0200
Carotenoides totales	0.0900	0.6300

Los valores en rojo indican que no existen diferencias significativas ($p > 0.1$).

4.1.4.2. Contenido de compuestos fenólicos

En la Figura 4.21 se muestran los contenidos de ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoles, así como los valores de contenido total en dos variedades cherry y en tres posiciones del fruto en el ramillete.

La mayor contribución al contenido de los ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos y flavonoles estuvo marcada por la concentración del ácido *p*-hidroxibenzoico, del ácido clorogénico y de la quercetina, respectivamente. Además, el *p*-hidroxibenzoico, ácido clorogénico y la quercetina fueron los compuestos fenólicos mayoritarios encontrados en las muestras de tomate, tal como señalan otros autores (Lule y Xia 2005, Slimestad y Verheul 2009).

Los niveles de ácidos benzoicos oscilaron entre 222.3 (PIII) y 342.0 mg/100 g PS (PII) en 'Lazarino' y entre 157.9 (PIII) y 241.4 mg/100 g PS (PII) en 'Summerbrix'; los de ácidos hidroxicinámicos entre 44.3 (PIII) y 47.7 mg/100 g PS (PI) en 'Lazarino' y entre 36.2 (PIII) y 61.9 mg/100 g PS (PI) en 'Summerbrix'; los de flavonoles entre 112.8 (PI) y 143.7 mg/100 g PS (PII) en 'Lazarino' y entre 80.9 (PIII) y 137.5 mg/100 g PS (PII) en 'Summerbrix'.

En general, se observaron diferencias significativas en función de la posición del fruto en el ramillete en todos los compuestos fenólicos individuales y en las dos variedades estudiadas. Sin embargo, en algunos casos se observaron entre parejas de posiciones. Así, el contenido de los ácidos hidroxicinámicos en 'Summerbrix' y el contenido de los ácidos hidroxicinámicos y de los flavonoles en 'Lazarino' no fueron significativamente diferentes en PII y PIII.

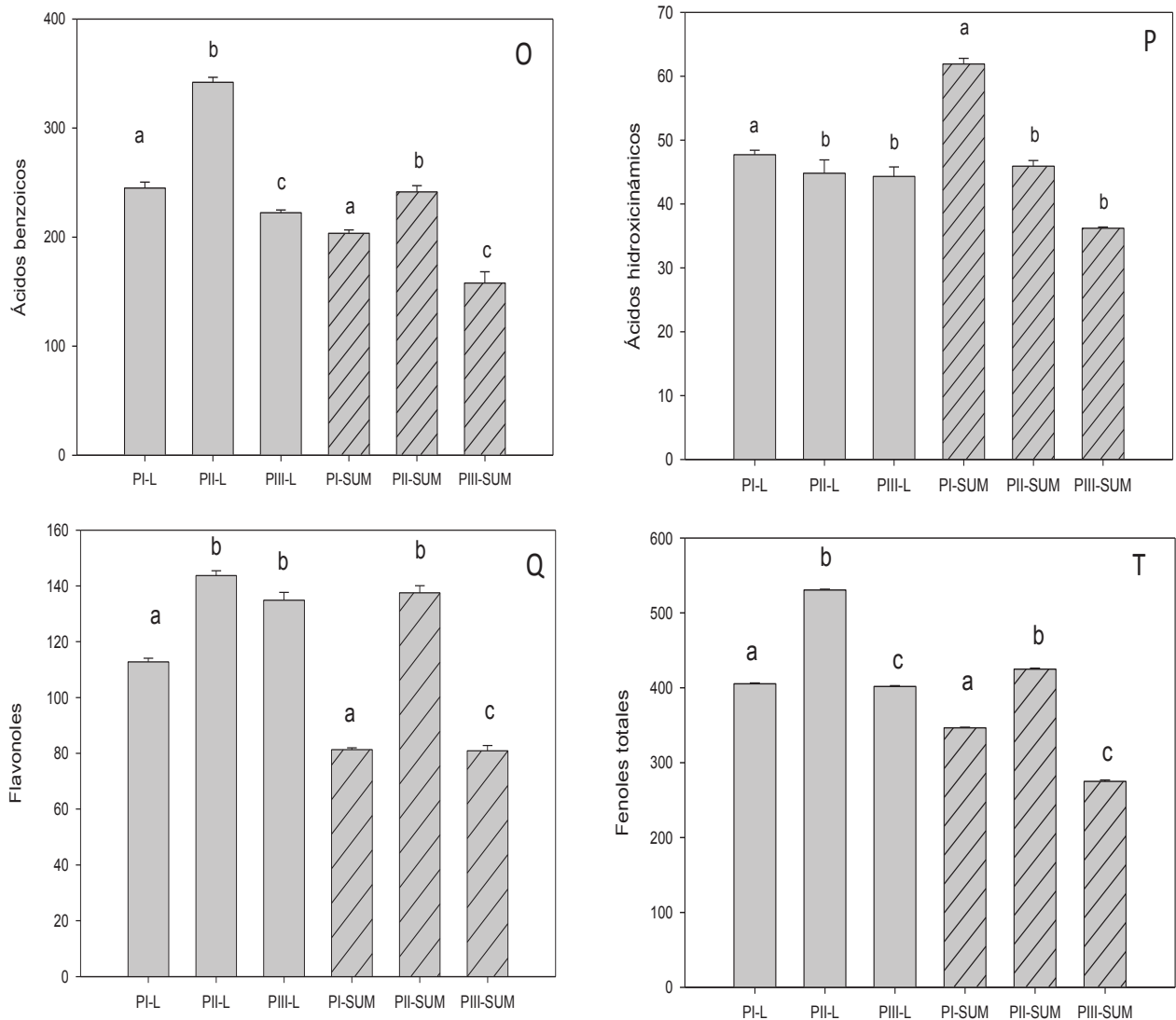


Figura 4. 21. Contenido de ácidos benzoicos (O), ácidos hidroxicinámicos (P), flavonoles (Q) y compuestos fenólicos totales (T) todos ellos expresados en mg/100 g PS en dos variedades cherry en tres posiciones del fruto en el ramillete.

PI-L, PII-L y PIII-L señalan la posición cercana al tallo, posición media y posición alejada del tallo en ‘Lazarino’, respectivamente; PI-SUM, PII-Ly PIII-L, la posición cercana al tallo, posición media y posición alejada del tallo en ‘Summerbrix’, respectivamente. Las barras verticales indican el error estándar. Las diferentes letras minúsculas señalan los grupos homogéneos con Turke, $p < 0.05$ en ‘Lazarino’ y ‘Summerbrix’.

En el caso de los ácidos hidroxicinámicos, tanto en ‘Summerbrix’ y ‘Lazarino’ no se observaron diferencias significativas en PII y PIII, detectándose altos contenidos en la PI, con una diferencia entre estos valores del 26 % en ‘Summerbrix’ y del 6 % en ‘Lazarino’. Sin embargo, el efecto contrario se observó en los flavonoles en ‘Lazarino’, de forma que se observaron niveles altos y no diferentes significativamente en PII y PIII.

Por otra parte, el contenido total de los compuestos fenólicos estuvo mayormente influenciado por el contenido de ácidos benzoicos y flavonoles, observándose altos valores en la posición PII en las dos variedades estudiadas. Estos altos contenidos pudieron estar relacionados con la radiación recibida, que podría contribuir a que los frutos en la posición II presentaran mayores contenidos, en concreto hasta un 18 % en 'Summerbrix' y un 24 % en 'Lazarino'. Como ya se ha indicado, existen evidencias de que los niveles de compuestos fenólicos están influenciados en parte por el tipo y cantidad de radiación recibida (Minutolo, y otros 2013, Atkinson, Dew, y otros 2011, Olsen, y otros 2009). En este sentido se han descrito mayores niveles de compuestos fenólicos en la parte superior de la planta, que recibe normalmente mayor radiación, y menores en las partes bajas, que reciben normalmente menor radiación (Minutolo, y otros 2013, Atkinson, Dew, y otros 2011, Olsen, y otros 2009).

4.1.4.2.1. Compuestos fenólicos y la interacción entre la posición del fruto en el ramillete y la variedad

En general, el análisis de ANOVA factorial que incluyó la variedad y la posición del fruto en el ramillete (Tabla 4.11) mostró que la posición del fruto en el ramillete y la variedad provocaron cambios en el contenido de los ácidos benzoicos, ácidos hidroxicinámicos, flavonoles y el contenido total.

Tabla 4. 11. Resumen del análisis factorial en relación a la posición del fruto en el ramillete y la variedad sobre el contenido de compuestos fenólicos. Valores de p

Compuestos fenólicos	Posición del fruto en el ramillete	Variedad
Ácidos benzoicos	0.0000	0.5000
Ácidos hidroxicinámicos	0.0000	0.0000
Flavonoles	0.0050	0.0200
Compuestos fenólicos totales	0.0000	0.0000

Los valores en rojo indican que no existen diferencias significativas ($p > 0.1$).

4.1.4.3. Calidad comercial de la fruta

El peso medio del fruto de ambas variedades fue similar: 24.4 g en 'Lazarino' y 24.3 g en 'Summerbrix', estos valores están dentro de los rangos habituales en este tipo de variedades (Ripoll, y otros 2016, Flores, y otros 2016, Choi, y otros 2014, Pernice, Parisi, y otros 2010). El peso medio del fruto mostró diferencias estadísticas significativas según su posición en el ramillete en las dos variedades, con un comportamiento similar. Se observó una disminución del peso del fruto a lo largo del ramillete, PI alcanzó los valores más altos (30 g), PII intermedios (25 g) y PIII los más pequeños (19 g) (Figura 4.22-A). Lo que supone una diferencia entre los primeros frutos desarrollados y los últimos de un 40% en las dos variedades. Esta diferencia de peso es mayor a medida que el fruto se aleja del tallo principal de la planta la fuente de nutrientes. Esto puede estar relacionado con la competencia en la que se desarrollan los frutos de la PII y PIII, ya que en el momento de su crecimiento esos frutos ya compiten con todos los anteriores. Un estudio reciente con resultados similares sugiere esta competencia para explicar las diferencias en el tamaño de fruto (Proietti, Nasini and Famiani 2006, Mikulic-Petkovsek, Koron and Veberic 2016).

Los sólidos solubles en los frutos de 'Lazarino' fueron menores (valor medio de 6.7 °Brix) comparados con 'Summerbrix' (valor medio de 7.4 °Brix). Pero como vimos con anterioridad todos los valores obtenidos son similares a los descritos para variedades cherry redondas, la bibliografía ofrece un rango amplio de 5.2 a 8.5 °Brix (Guerreiro, y otros 2016, Figás, y otros 2015, Verheul, Slimestad y Holta 2015) y 5.5 a 7.4 °Brix en variedades tipo pera (Pernice, Parisi, y otros 2010, Flores, y otros 2016). Pero el comportamiento mostrado por las dos variedades en función de la posición del fruto en el ramillete fue diferente. En el caso de 'Lazarino' los frutos más cercanos al tallo principal (PI) mostraron mayor contenido de SS (7.4 °Brix) y a medida que los frutos avanzan posición en el ramillete el contenido en SS decreció, este descenso fue de hasta un 23 % en el PIII (5.7 °Brix). Mientras que en 'Summerbrix' se observó lo contrario, aumentó el contenido en SS a medida que los frutos se distanciaban del tallo principal y los valores más bajos se obtuvieron en PI (6.3 °Brix). Estos resultados señalan la importancia de la variedad en el contenido en SS a lo largo del ramillete. En el caso de 'Lazarino' podríamos discutir el efecto sumidero y de competencia por nutrientes y azúcares de los frutos desarrollados con anterioridad (PI), pero en el caso de la variedad Summerbrix esta explicación no nos serviría.

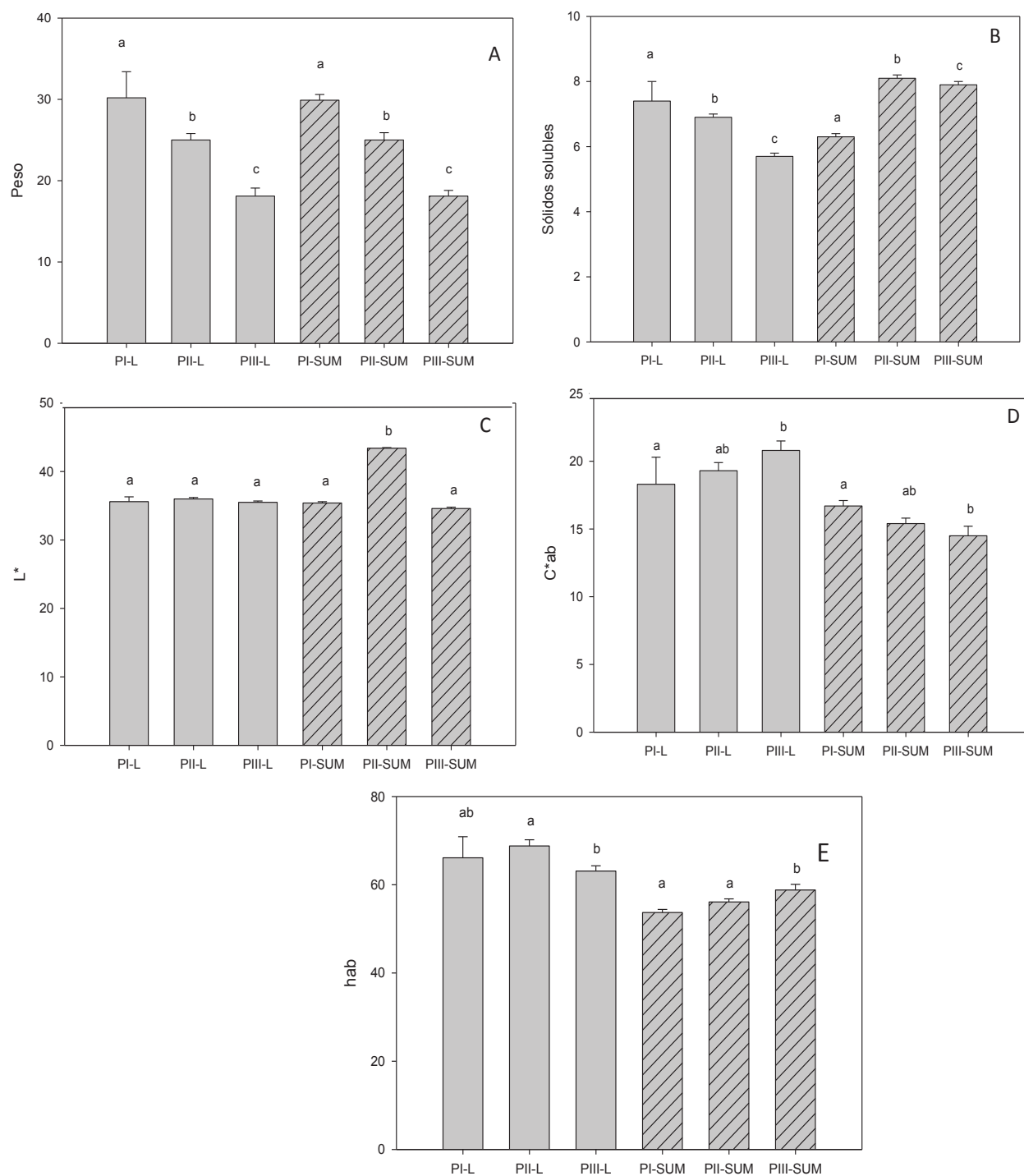


Figura 4. 22. Peso medio del fruto (A), sólidos solubles (B) y color (C, D y E) de dos variedades cherry en tres posiciones del ramillete.

Las barras representan a 'Lazarino' y a 'Summerbrix'. PI-L, PII-L y PIII-L señalan la posición cercana al tallo, posición media y posición alejada del tallo en 'Lazarino', respectivamente; PI-SUM, PII-L y PIII-L posición cercana al tallo, posición media y posición alejada del tallo en 'Summerbrix', respectivamente. Letras minúsculas diferentes en las columnas señalan los grupos homogéneos con Turkey, $p < 0.05$ en 'Lazarino' y 'Summerbrix'.

Los parámetros de color L^* , C^*_{ab} y h_{ab} presentaron diferencias significativas debidas a la posición del fruto en el ramillete en todos los casos, excepto L^* en 'Lazarino', que no mostró

diferencias. En ‘Summerbrix’ L^* mostró rangos entre 35 a 43, C^*_{ab} , entre 15 a 17 y h_{ab} , entre 54 a 59°; en ‘Lazarino’, $L^*=36$, C^*_{ab} , rangos entre 18 a 21 y h_{ab} , entre 63 a 66. Estos datos tuvieron relación con los de otros autores que reportaron rangos de L^* entre 38.0 a 39.6, de C^*_{ab} entre 29.2 a 29.4 y de h_{ab} entre 51.9 a 56.1° en variedades cherry redondas (Guerreiro, y otros 2016, Domene y Segura 2014). En general, como se esperaba, los parámetros de color no mostraron diferencias estadísticas entre las diferentes posiciones del fruto en el ramillete, señalando que la fruta analizada no presentó importantes cambios de color que pudiesen provocar variaciones en el contenido de carotenoides, que cambian en función de la madurez del fruto, tal como señalan varios estudios (Eichholz, y otros 2014, Meléndez-Martínez, Fraser y Bramley 2010, Jarquín, y otros 2013).

4.1.4.3.1. Calidad comercial e interacción entre la posición del fruto en el ramillete y la variedad

En general, el análisis de ANOVA factorial que incluyó la posición del fruto en el ramillete y la variedad (Tabla 4.12) reportó que la posición del fruto en el ramillete provocó cambios en el peso medio del fruto, el contenido en SS, L^* y C^*_{ab} , mientras que las variedades mostraron diferencias significativas en los SS y los parámetros de color.

Tabla 4. 12. Resumen del análisis factorial en relación a la posición del fruto en el ramillete y la variedad sobre la calidad comercial. Valores de p

Compuestos fenólicos	Posición del fruto en el ramillete	Variedad
Peso	0.0000	0.8400
Sólidos solubles	0.0000	0.0000
L^*	0.0600	0.0000
C^*_{ab}	0.8400	0.0000
h_{ab}	0.0900	0.0000

Los valores en rojo indican que no existen diferencias significativas ($p > 0.1$).

Cuando se correlacionaron los parámetros de calidad comercial y funcional, se observó una relación inversa entre los flavonoles y los SS, que presentó un coeficiente de correlación de -0.3 en ‘Lazarino’ y de -0.6 en ‘Summerbrix’. Esta relación coincide con estudios que señalan que los flavonoles pueden inhibir la glicólisis provocando la disminución de los SS en el tomate (Stakhova, Ladygin y Stakhov 2001).

4.1.4.4. Conclusiones del estudio de la posición del fruto en el ramillete

El contenido de carotenoides y compuestos fenólicos individuales no mostró un patrón definido de cambio. Se observó un alto contenido de carotenoides totales en la posición II en 'Lazarino' (39.2 mg/100 g PS) y en la posición I en 'Summerbrix' (38.7 mg/100 g PS), y a su vez, altos contenidos de compuestos fenólicos totales en la posición II para las dos variedades (530.4 mg/100 g PS en 'Summerbrix' y 424.8 mg/100 g PS en 'Lazarino').

Por otra parte, a pesar de ser variedades con diferente forma, estas presentaron rangos similares de peso medio del fruto (entre 18 - 30 g) y además mostraron los valores más altos en la posición cercana al tallo (PI). Los sólidos solubles cambiaron dependiendo de la variedad, en 'Lazarino' los SS mostraron una disminución del 23% con respecto a la posición del fruto en el ramillete, observándose mayor cantidad de SS cerca del tallo. Mientras que en 'Summerbrix' se observó lo contrario, aumentó el contenido en SS a medida que los frutos se distanciaban del tallo principal. Los parámetros de color C^*_{ab} y h_{ab} mostraron cambios que dependieron de la variedad, así por ejemplo en la variedad Lazarino el C^*_{ab} aumentó en un 12% con respecto a la posición de la fruta en el ramillete, mientras que h_{ab} en la variedad Summerbrix aumentó en un 9%.

BLOQUE II

**Estudio de compuestos bioactivos en flores en el contexto de la
alimentación funcional**

4.2. Estudio de compuestos bioactivos en flores en el contexto de la alimentación funcional.



Figura 4. 23. Número de especies por familias florales estudiadas

4.2.1. Contenido de carotenoides en especies florales

4.2.1.1. Pruebas para la extracción de carotenoides de pétalos con distintos disolventes



Figura 4. 24. Extracción media de carotenoides después de pétalos de *Calendula x hybrida* con cuatro tipos diferentes de mezclas extractantes. H-A, hexano, acetona; M-A-D, metanol, acetona, diclorometano; A-M, acetona, metanol; AE-M-D, acetato de etilo, metanol, diclorometano. Las diferentes letras en columnas del mismo relleno indican diferencias significativas.

4.2.1.2. Distribución del contenido de carotenoides totales en los pétalos de las muestras estudiadas



Figura 4. 25. Frecuencia relativa (A) y gráfico de caja y bigotes (B) considerando el contenido en carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$) de las flores estudiadas.

4.2.1.3. Carotenoides totales en pétalos de flores

Tabla 4. 13. Contenido en carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$), compuestos fenólicos totales (mg/g), carotenoide mayoritario ($\mu\text{g/g}$) y compuesto fenólico mayoritario (mg/g). Datos referidos a peso seco. Flores de la misma especie y con variedades de diferente color.

		Compuesto fenólico (mg/g)	
		Total	Mayoritario
		42.2 ± 2.4	Quercetrina 3.6 ± 0.4
		50.0 ± 5.9	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 6.3 ± 0.2
		23.6 ± 3.6	<i>m</i> -Cumárico 6.8 ± 0.5
		25.7 ± 0.4	<i>m</i> -Cumárico 9.6 ± 0.5
		67.1 ± 3.5	<i>p</i> -Cumárico 17.6 ± 0.2
		55.5 ± 2.1	Kaempferol 16.1 ± 1.2
		58.0 ± 2.0	Clorogénico 7.9 ± 0.1
		62.1 ± 2.7	Quercetrina 3.7 ± 0.1
		67.1 ± 5.5	Clorogénico 7.3 ± 0.3
		27.5 ± 0.4	Kaempferol 21.0 ± 0.6
		83.2 ± 0.4	Kaempferol 77.1 ± 0.5
		22.9 ± 0.1	Mirecetina 18.0 ± 0.5
		25.7 ± 0.1	Quercetrina 23.7 ± 1.3
		22.7 ± 0.2	Quercetrina 16.5 ± 0.0
		11.0 ± 0.1	<i>m</i> -Cumárico 8.5 ± 0.1
		12.2 ± 0.2	<i>m</i> -Cumárico 6.9 ± 0.2
		27.4 ± 7.7	<i>m</i> -Cumárico 15.5 ± 0.1
		48.1 ± 2.9	<i>m</i> -Cumárico 8.5 ± 0.5
		1.7 ± 0.1	Gálico 0.5 ± 0.0
		14.7 ± 0.2	Gálico 8.9 ± 0.3
		236.0 ± 14.5	Gálico 18.6 ± 0.0
		195.2 ± 5.4	Gálico 16.9 ± 0.1
		131.2 ± 15.4	Gálico 27.7 ± 0.1
		144.5 ± 3.9	Gálico 24.5 ± 0.4
		132.3 ± 4.4	Gálico 38.1 ± 2.6
		47.5 ± 5.8	Cafeico 0.2 ± 0.0
		47.5 ± 5.8	Siringico 0.2 ± 0.0
		120.7 ± 3.8	Quercetrina 6.0 ± 0.5
		143.3 ± 2.5	Quercetrina 0.9 ± 0.1
		6.2 ± 0.1	Naringina 2.5 ± 0.2
		8.5 ± 0.2	Naringina 2.2 ± 0.3
		44.6 ± 4.1	Quercetrina 6.2 ± 0.2
		22.7 ± 1.6	Quercetrina 17.2 ± 0.4
		66.3 ± 1.3	Mirecetina 0.8 ± 0.0
		42.0 ± 2.1	Gálico 0.8 ± 0.0
		49.9 ± 5.0	<i>m</i> -Cumárico 2.4 ± 0.1
		88.4 ± 4.4	<i>m</i> -Cumárico 4.0 ± 0.2
		2.0 ± 0.2	<i>m</i> -Cumárico 0.7 ± 0.1
		3.6 ± 0.2	<i>m</i> -Cumárico 2.9 ± 0.2
		153.4 ± 5.3	<i>m</i> -Cumárico 6.2 ± 0.0
		122.2 ± 4.2	Kaempferol 6.6 ± 0.0
		106.3 ± 0.5	Gálico 4.3 ± 0.1
		48.9 ± 2.7	Quercetrina 3.0 ± 0.0
		30.2 ± 1.3	<i>m</i> -Cumárico 11.0 ± 1.1
		33.0 ± 3.0	Quercetrina 1.3 ± 0.1
		3.0 ± 0.2	<i>m</i> -Cumárico 2.6 ± 0.0
		11.9 ± 0.2	<i>m</i> -Cumárico 8.5 ± 0.1
		13.9 ± 0.3	<i>m</i> -Cumárico 9.2 ± 0.1
		44.4 ± 2.9	<i>m</i> -Cumárico 7.6 ± 0.0
		35.1 ± 1.8	<i>m</i> -Cumárico 19.5 ± 1.1
		41.3 ± 0.4	Quercetrina 9.3 ± 0.2
		44.4 ± 2.5	Quercetrina 9.9 ± 0.2

Nd, no disponible debido a una baja señal

Tabla 4. 14. Contenido en carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$), compuestos fenólicos totales (mg/g), carotenoide mayoritario ($\mu\text{g/g}$) y compuesto fenólico mayoritario (mg/g). Flores de la misma familia y diferente especie.

	Compuestos fenólicos (mg/g)	
	Total	Mayoritario
	57.9 ± 5.1	Quercetina 0.2 ± 0.0
	117.4 ± 2.6	Quercetina 6.2 ± 0.3
	87.3 ± 2.6	Kaempferol 4.1 ± 0.0
	60.4 ± 3.1	Clorogénico 6.8 ± 0.3
	41.0 ± 2.8	Quercetrina 8.3 ± 0.1
	46.0 ± 4.4	<i>m</i> -Cumárico 3.9 ± 0.2
	2.4 ± 0.1	Kaempferol 1.1 ± 0.1
	86.6 ± 7.9	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 6.9 ± 0.0
	57.7 ± 5.5	Kaempferol 5.0 ± 0.0
	7.7 ± 0.2	<i>m</i> -Cumárico 5.1 ± 0.1
	6.7 ± 0.2	<i>m</i> -Cumárico 4.2 ± 0.1
	1.5 ± 0.0	Cafeico 0.7 ± 0.0
	43.9 ± 4.2	<i>m</i> -Cumárico 0.9 ± 0.1
	5.5 ± 0.0	<i>m</i> -Cumárico 2.3 ± 0.6
	56.3 ± 3.6	Quercetrina 1.6 ± 0.3
	111.8 ± 4.8	Kaempferol 3.6 ± 0.0
	109.5 ± 9.0	Quercetina 0.3 ± 0.0
	81.2 ± 2.0	Quercetrina 1.4 ± 0.1
	69.3 ± 0.5	Kaempferol 4.2 ± 0.1
	107.2 ± 12.1	Galangina 3.3 ± 0.1
	45.4 ± 4.4	Clorogénico 1.1 ± 0.3
	60.6 ± 8.1	Quercetina 3.2 ± 0.4
	27.0 ± 2.2	<i>m</i> -Cumárico 6.1 ± 1.1
	92.3 ± 8.7	<i>m</i> -Cumárico 3.1 ± 0.0
	52.0 ± 6.3	<i>m</i> -Cumárico 4.3 ± 0.3
	32.6 ± 0.2	Quercetrina 6.2 ± 0.6
	44.6 ± 5.3	Quercetrina 19.4 ± 1.5
	17.6 ± 1.7	Quercetrina 9.3 ± 0.6
	38.8 ± 4.7	Cafeico 4.2 ± 0.3
	52.6 ± 1.3	Kaempferol 4.9 ± 0.1
	4.7 ± 0.2	Quercetrina 3.4 ± 0.2
	22.0 ± 0.1	<i>m</i> -Cumárico 14.3 ± 1.1
	5.7 ± 0.1	Quercetrina 1.4 ± 0.1
	2.0 ± 0.1	Quercetrina 1.6 ± 0.1
	111.3 ± 7.3	Quercetrina 3.4 ± 0.2
	76.1 ± 2.2	Quercetrina 1.4 ± 0.1
	46.0 ± 3.0	<i>m</i> -Cumárico 3.5 ± 0.4
	29.5 ± 1.9	Cafeico 1.8 ± 0.2
	109.1 ± 6.3	Naringenina 0.2 ± 0.0
	87.1 ± 3.3	Quercetrina 1.6 ± 0.0
	115.8 ± 8.6	Naringenina 5.0 ± 0.7
	67.9 ± 4.4	Cafeico 4.3 ± 0.1
	102.3 ± 1.8	Etil-Galato 11.3 ± 1.2
	108.1 ± 1.0	Siringico 3.0 ± 0.1
	179.1 ± 16.2	Etil-Galato 56.5 ± 3.2
	23.6 ± 1.4	Quercetrina 19.9 ± 1.6
	64.7 ± 2.5	Kaempferol 6.2 ± 0.6
	24.02 ± 0.9	Quercetrina 7.2 ± 0.6
	88.6 ± 1.5	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 4.5 ± 0.1
	31.5 ± 3.4	Kaempferol 1.0 ± 0.1
	113.4 ± 1.8	Quercetina 23.8 ± 0.6
	29.6 ± 2.0	Ferúlico 0.6 ± 0.0
	9.5 ± 0.4	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 0.4 ± 0.1
	74.7 ± 7.2	Kaempferol 4.4 ± 0.1
	31.6 ± 1.4	<i>m</i> -Cumárico 2.6 ± 0.2
	65.6 ± 2.9	Quercetrina 5.6 ± 0.0
	122.5 ± 5.0	Clorogénico 0.9 ± 0.0
	47.8 ± 5.5	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 1.8 ± 0.3
	25.8 ± 2.6	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 1.3 ± 0.0
	39.1 ± 1.5	Quercetrina 1.6 ± 0.0
	62.9 ± 4.6	<i>m</i> -Cumárico 15.5 ± 1.1

Nd, no disponible debido a una baja señal

Tabla 4. 15. Contenido en carotenoides totales ($\mu\text{g/g}$), compuestos fenólicos totales (mg/g), carotenoide mayoritario ($\mu\text{g/g}$) y compuesto fenólico mayoritario (mg/g). Flores de diferente familia y diferente especie.

	Compuesto fenólico (mg/g)	
	Total	Mayoritario
	42.7 ± 2.1	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 8.4 ± 0.3
	3.0 ± 0.1	Quercetrina 2.2 ± 0.0
	28.9 ± 2.8	<i>m</i> -Cumárico 2.7 ± 0.4
	16.5 ± 0.9	<i>m</i> -Cumárico 1.2 ± 0.1
	110.3 ± 6.6	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 1.7 ± 0.0
	19.2 ± 0.8	Quercetrina 0.9 ± 0.1
	55.9 ± 2.0	Gálico 0.6 ± 0.0
	33.5 ± 0.2	Calcico 0.6 ± 0.0
	33.8 ± 3.6	Quercetrina 1.7 ± 0.2
	88.9 ± 8.1	Quercetrina 0.8 ± 0.0
	6.2 ± 0.1	Kaempferol 4.2 ± 0.2
	93.0 ± 8.8	Quercetrina 0.4 ± 0.0
	82.3 ± 2.1	Quercetina 0.4 ± 0.0
	104.8 ± 5.6	Gálico 5.1 ± 0.5
	69.8 ± 7.7	Quercetrina 1.7 ± 0.2
	139.0 ± 1.2	Gálico 14.7 ± 0.2
	79.5 ± 7.1	Crisina 21.2 ± 1.3
	60.2 ± 4.3	<i>p</i> -Hidroxibenzoico 2.7 ± 0.1
	99.5 ± 3.1	Calcico 34.2 ± 3.0
	49.9 ± 3.3	<i>p</i> -Cumárico 0.8 ± 0.0
	89.7 ± 7.4	Gálico 12.6 ± 1.7
	40.4 ± 2.6	<i>m</i> -Cumárico 0.6 ± 0.0
	39.3 ± 9.8	<i>m</i> -Cumárico 5.9 ± 0.3
	191.7 ± 8.9	Enti-Galato 23.5 ± 0.6
	25.2 ± 1.8	<i>m</i> -Cumárico 7.1 ± 0.6
	76.4 ± 3.5	Quercetrina 21.2 ± 2.1
	40.4 ± 1.8	<i>m</i> -Cumárico 3.8 ± 0.9
	143.0 ± 9.9	Quercetrina 24.2 ± 0.9

Nd, no disponible debido a una baja señal

4.2.1.4. Carotenoides individuales en pétalos de flores



Figura 4. 26. Número de especies con el mismo carotenoides mayoritario (A) y gráfico de caja y bigotes (B) por cada carotenoide mayoritario identificado en las flores estudiadas.

4.2.2. Contenido de compuestos fenólicos en especies florales

4.2.2.1. Distribución del contenido de compuestos fenólicos totales en los pétalos de las muestras estudiadas

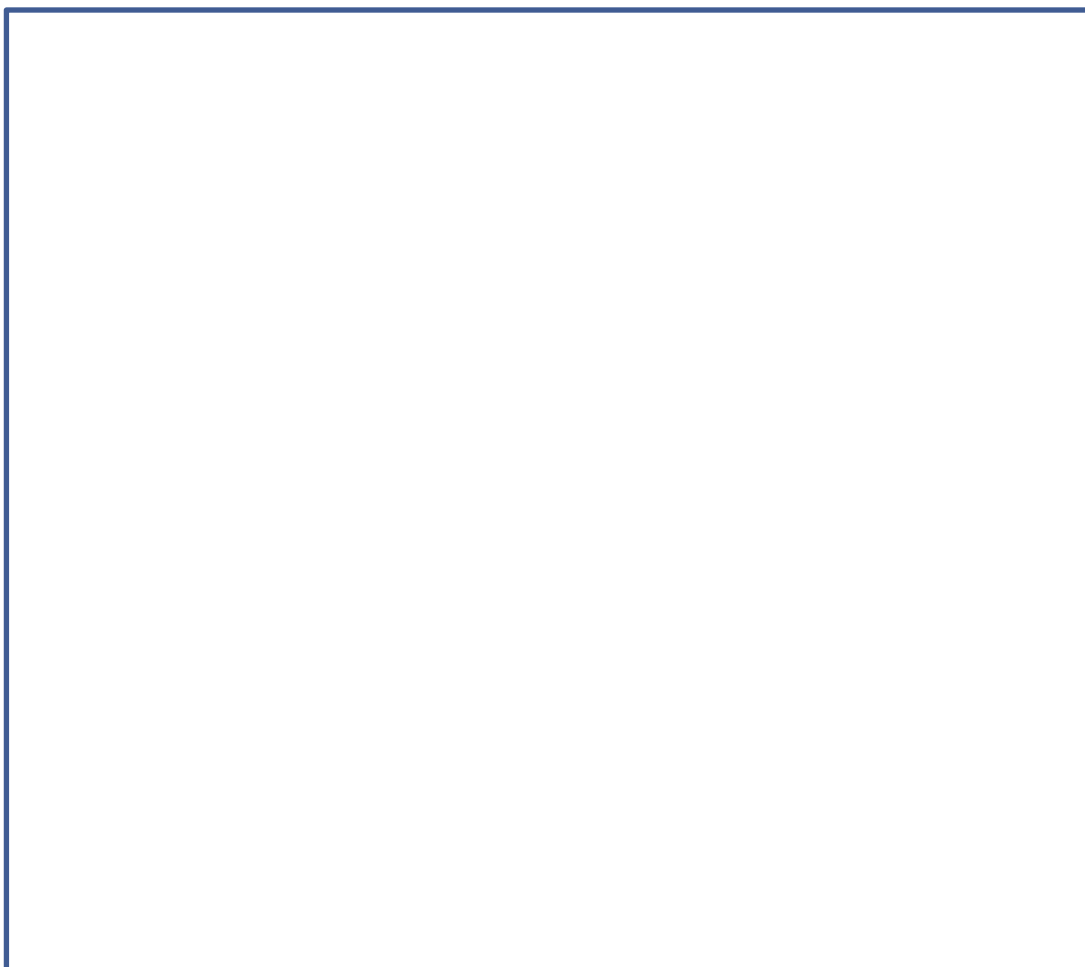


Figura 4. 27. Frecuencia acumulada y gráfico de caja y bigotes por contenido de compuestos fenólicos totales (mg/g) en flores estudiadas.

4.2.2.2. **Compuestos fenólicos totales en pétalos de flores**

4.2.2.3. Compuestos fenólicos individuales en pétalos de flores



Figura 4. 28. Número de especies y gráfico de caja y bigotes por compuesto fenólico identificado en flores estudiadas.

4.2.3. Parámetros de color en pétalos de flores

Tabla 4. 16. Parámetros de color en flores de la misma especie y con variedades de diferente color.

	L*	b*
	19.4 ± 2.1	4.1 ± 1.1
	74.9 ± 0.8	4.2 ± 0.7
	4.3 ± 2.6	18.7 ± 1.7
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	67.1 ± 1.7	1.9 ± 0.6
	58.3 ± 5.3	76.4 ± 7.4
	4.3 ± 0.2	16.2 ± 2.4
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	17.9 ± 1.9	42.3 ± 1.7
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	43.3 ± 1.5	4.0 ± 0.1
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	12.1 ± 0.8	15.9 ± 0.5
	58.3 ± 2.7	11.5 ± 0.7
	10.4 ± 2.3	27.5 ± 2.1
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	30.9 ± 3.4	32.2 ± 1.4
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	10.8 ± 1.3	32.3 ± 1.4
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	nd	0
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	35.8 ± 0.3	27.2 ± 0.3
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	17.8 ± 1.1	19.0 ± 0.7
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	86.4 ± 0.9	13.5 ± 0.0
	14.3 ± 1.4	15.0 ± 0.5
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	43.1 ± 0.3	29.7 ± 0.4
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	69.1 ± 0.1	17.1 ± 1.3
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	100 ± 0.0	0 ± 0.0
	100 ± 0.0	0 ± 0.0

Tabla 4. 17. Parámetros de color en flores de la misma familia y diferente especie.

	66.3 ± 1.4	26.9 ± 1.9
	30.6 ± 0.4	11.3 ± 1.6
	77.2 ± 0.2	24.9 ± 0.2
	60.8 ± 2.5	87.4 ± 2.3
	nd	nd
	nd	nd
	51.2 ± 1.0	32.0 ± 0.7
	67.3 ± 0.7	75.8 ± 0.5
	67.2 ± 7.5	68.6 ± 0.8
	41.2 ± 3.3	24.1 ± 5.3
	45.6 ± 4.9	67.5 ± 7.1
	58.4 ± 4.3	38.4 ± 5.0
	47.7 ± 2.1	-15.3 ± 0.1
	63.0 ± 0.6	87.0 ± 5.4
	41.5 ± 2.5	23.9 ± 3.4
	50.3 ± 7.2	19.5 ± 2.6
	nd	nd
	52.0 ± 4.3	11.7 ± 0.4
	37.4 ± 0.9	12.6 ± 2.1
	75.1 ± 1.4	82.2 ± 1.8
	nd	nd
	nd	nd
	56.8 ± 0.6	21.7 ± 0.4
	nd	nd
	nd	nd
	80.8 ± 1.8	11.7 ± 2.2
	nd	nd
	69.6 ± 0.2	3.9 ± 0.1
	59.2 ± 1.9	-3.3 ± 0.0
	83.1 ± 4.5	5.8 ± 1.1
	58.6 ± 3.5	49.7 ± 5.3
	38.4 ± 4.3	38.4 ± 5.0
	68.8 ± 1.4	91.8 ± 4.8
	62.9 ± 0.6	87.0 ± 5.4
	79.2 ± 1.9	22.0 ± 0.7
	51.0 ± 1.4	-18.9 ± 1.3
	37.5 ± 1.6	-12.1 ± 0.8
	37.5 ± 1.6	-12.1 ± 0.8
	nd	nd
	nd	nd
	nd	nd
	41.2 ± 2.1	20.1 ± 0.1
	nd	nd
	49.4 ± 0.1	-5.1 ± 0.0
	59.6 ± 2.7	36.8 ± 0.2
	52.1 ± 0.2	-11.8 ± 0.6
	41.0 ± 1.7	25.2 ± 4.3
	53.1 ± 0.7	1.8 ± 0.3
	53.1 ± 1.8	8.0 ± 0.4
	nd	nd
	34.3 ± 1.8	-16.1 ± 0.1
	64.3 ± 5.8	-80.9 ± 0.5
	nd	nd
	23.0 ± 1.2	15.1 ± 1.2
	41.6 ± 3.5	22.0 ± 3.1
	34.3 ± 1.8	-16.1 ± 0.1
	69.1 ± 0.1	17.1 ± 1.3
	68.8 ± 1.4	91.8 ± 4.8
	47.7 ± 2.1	-15.3 ± 0.1
	nd	nd
	59.8 ± 1.2	14.0 ± 2.4

Tabla 4. 18. Parámetros de color en flores de diferente familia y diferente especie.

	nd	nd
	30.3 ± 3.5	-0.1 ± 0.0
	53.2 ± 2.3	34.8 ± 2.1
	46.7 ± 0.2	9.3 ± 0.3
	nd	nd
	nd	nd
	nd	nd
	nd	nd
	66.4 ± 4.5	3.2 ± 0.3
	nd	nd
	nd	nd
	46.9 ± 1.8	0.3 ± 0.0
	67.0 ± 0.0	13.1 ± 0.0
	43.1 ± 4.5	5.1 ± 0.4
	nd	nd
	nd	nd
	46.1 ± 1.8	0.7 ± 0.0
	nd	nd
	49.8 ± 1.1	-10.9 ± 2.0

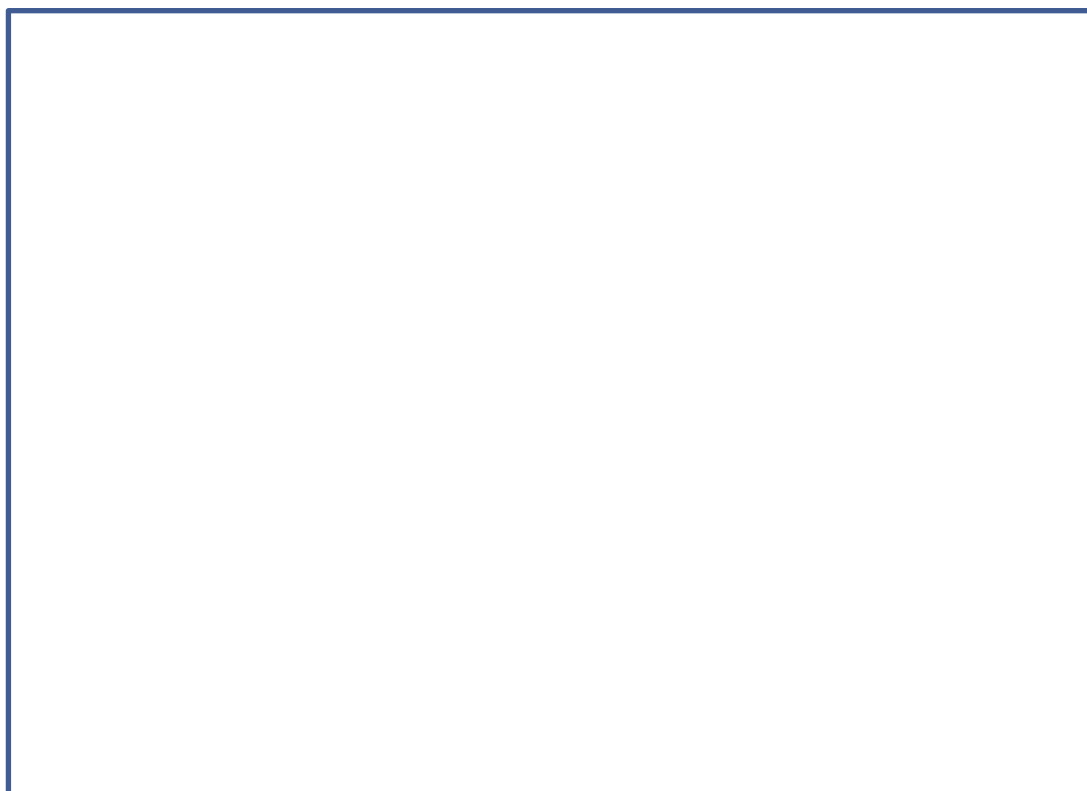


Figura 4. 29. Distribución de las muestras de pétalos de flores en el plano a*b*. Los valores en el eje vertical corresponden a b*, los del eje horizontal a a* y los representados en el contorno de la circunferencia al tono (h_{ab})

4.2.4. Correlaciones entre parámetros de color y el contenido total en carotenoides en pétalos de flores

4.2.5. Conclusiones del estudio de pétalos de flores

CONCLUSIONES

5. CONCLUSIONES

- Variedades de tomate de colores diferentes al rojo, emergentes en los mercados en la actualidad, pueden ser una fuente interesante de metabolitos secundarios; así, 'Minichocmato', una variedad de color oscuro, y 'Orange', una variedad de color naranja, mostraron altos contenidos de licopeno y fitoeno, respectivamente. A su vez, 'Green Zebra', una variedad de color verde, presentó altos contenidos de compuestos fenólicos totales.
- El contenido de carotenoides y compuestos fenólicos se vio afectado significativamente en función de las variedades y el ciclo de cultivo. Las variedades grandes mostraron las cantidades más altas de carotenoides y compuestos fenólicos. En los ciclos de primavera se observaron perfiles mayores en todos los componentes funcionales.
- En un primer ensayo el riego deficitario controlado provocó cambios significativos en el contenido de carotenoides y compuestos fenólicos, con aumentos y disminuciones que dependieron de la variedad y del compuesto bioactivo en consideración. En 'Tigerella' el contenido de carotenoides disminuyó entre el 7 y el 50 % y el contenido fenólico aumentó entre el 18 y el 49 %; en 'Byelsa' se observó un aumento de un 28 % en los dos tipos de compuestos bioactivos.
- En las variedades cherry el riego deficitario controlado no provocó una modificación clara del contenido de carotenoides y compuestos fenólicos en los frutos. Tuvieron un efecto más significativo el resto de factores en estudio: variedad, índice de madurez, nivel de desarrollo de la planta y ciclo de cultivo.
- El tratamiento de riego deficitario controlado aplicado no afectó al crecimiento y desarrollo del cultivo de las variedades cherry. Si afectó a la producción del cultivo cuando se alcanzaron niveles de estrés hídrico por debajo de $-55 \text{ MPa}\cdot\text{día}^{-1}$ de integral de estrés, empleando como umbral de riego un potencial hídrico en hoja de -1 MPa . En el ciclo de cultivo de primavera de 2016 se observó una reducción de la producción de un 39% con una integral de estrés de $-62 \text{ MPa}\cdot\text{día}^{-1}$ en 'Lazarino' mientras en 'Summerbrix' los rendimientos disminuyeron un 38 % con una integral de estrés de $-55 \text{ MPa}\cdot\text{día}^{-1}$. En el ciclo de otoño el riego deficitario controlado no afectó a los rendimientos del cultivo. Con una reducción del 85 % de la lámina de agua aplicada, se alcanzaron potenciales hídricos de hoja mínimos de $-0,8 \text{ MPa}$, e integrales de estrés $-15 \text{ MPa}\cdot\text{día}^{-1}$ en 'Lazarino' y $-21 \text{ MPa}\cdot\text{día}^{-1}$ en 'Sumerbrix'.
- La calidad comercial de la producción fue similar en los dos tratamientos de riego aplicados. No se observaron fisiopatías asociadas al tratamiento de riego como *Blossom end rot*, *cracking* o microcracking.

- El riego deficitario controlado permitió ahorros de agua de un 86 % en ‘Lazarino’ y de un 85 % en ‘Summerbrix’ sin afectar a la calidad funcional y comercial del producto final.
- El nivel de desarrollo del ramillete afectó al contenido de carotenoides y compuestos fenólicos, en términos generales se observaron perfiles más altos de compuestos bioactivos en los niveles mayores de desarrollo, en el ramillete quinto.
- El grado de madurez afectó en gran medida al contenido de los compuestos bioactivos estudiados, con aumentos del contenido de carotenoides totales entre el 44 y el 94 % en variedades cherry y disminuciones entre el 4 y el 56 % del contenido de compuestos fenólicos totales.
- En general, la posición del fruto en el ramillete afectó al contenido de carotenoides y compuestos fenólicos generalmente. En el caso de los carotenoides los niveles más altos se observaron generalmente en la tercera posición, la más alejada del tallo. Mientras los compuestos fenólicos presentaron los valores más altos en la posición central del ramillete en las dos variedades cherry.
- El contenido de los compuestos bioactivos estudiados cambió en función del color de la variedad, la especie y la familia en la mayoría de los casos. Las especies que presentaron los mayores contenidos en carotenoides totales no coincidieron con las especies que presentaron mayores niveles de compuestos fenólicos totales. Los mayores contenidos en carotenoides totales fueron observados en flores amarillas (rangos entre 21.8 a 2789.5 $\mu\text{g/g}$ PS) y flores naranja (rangos entre 143.4 a 2453.9 $\mu\text{g/g}$ PS); mientras que, los mayores contenidos de compuestos fenólicos fueron observados en flores de color lila (rangos entre 22.7 a 236.0 mg/g PS), rosado (rangos entre 17.6 a 195.2 mg/g PS) y rojo (rangos entre 1.7 a 191.7 mg/g PS).
- Las especies con mayores niveles de carotenoides totales en sus pétalos fueron en orden creciente: *Solanum lycopersicum* (748.1 $\mu\text{g/g}$ PS), *Gaillardia x grandiflora* (771.0 $\mu\text{g/g}$ PS), *Begonia argétea* (774.6 $\mu\text{g/g}$ PS), *Portulaca oleracea* (787.3 $\mu\text{g/g}$ PS), *Gazania x hybrida*, (878.2 $\mu\text{g/g}$ PS), *Helianthus annuus* (903.1 $\mu\text{g/g}$ PS), *Zinnia elegans* (995.9 $\mu\text{g/g}$ PS), *Coreopsis graniflora* (1060.5 $\mu\text{g/g}$ PS), *Cucurbita maxima* (1075.6 $\mu\text{g/g}$ PS), *Taraxacum officinale* (1410.8 $\mu\text{g/g}$ PS), *Tagetes patula* (1411.4 y 2789.5 $\mu\text{g/g}$ PS), *Canna indica* (2453.9 $\mu\text{g/g}$ PS) y *Calendula officinalis* (4140.0 $\mu\text{g/g}$ PS). De todas ellas se han encontrado referencias de uso en la alimentación, excepto en el caso de *Solanum lycopersicum*.
- Las especies con mayores niveles de compuestos fenólicos totales en sus pétalos fueron en orden creciente: *Pelargonium x hortorum* (144.5 mg EAG/g), *Pelargonium peltatum* (139.0 mg EAG/g), *Fragaria ananassa* (143.0 mg EAG/g), *Gossypium arboreum*

(no comestible) (143.3 mg EAG/g), *Rosa hybrida* (153.4 mg EAG/g), *Punica granatum* (179.1 mg EAG/g), *Fuchsia magellanica* (191.7 mg EAG/g) y *Pelargonium x domesticum* 195.2 mg EAG/g).

- Las especies con mayores niveles de compuestos fenólicos totales en sus pétalos fueron en orden creciente: *Pelargonium x hortorum* (144.5 mg EAG/g), *Pelargonium peltatum* (139.0 mg EAG/g), *Fragaria ananassa* (143.0 mg EAG/g), *Gossypium arboreum* (no comestible) (143.3 mg EAG/g), *Rosa hybrida* (153.4 mg EAG/g), *Punica granatum* (179.1 mg EAG/g), *Fuchsia magellanica* (191.7 mg EAG/g) y *Pelargonium x domesticum* 195.2 mg EAG/g).

BIBLIOGRAFÍA

6. BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón-Alonso, Javier, Alejandro Zamilpa, Francisco Alarcón, Marible Herrera-Ruiz, Jaime Tortoriello, y Enrique Jimenez-Ferrer. «Pharmacological characterization of the diuretic effect of *Hibiscus sabdariffa* Linn (Malvaceae) extract.» *Journal of Ethnopharmacology* 139, nº 3 (2012): 751-756.
- Alasalvar, Cesarettin, y otros. «Compositional, nutritional, and functional characteristics of instant teas produced from Low-and high-quality black teas.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 61, nº 31 (2013): 7529-7536.
- Allen, Richard, Luis Pereira, Dirk Raes, y Martin Smith. Evapotranspiración del cultivo. Guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, 2006.
- Al-Snafi, Ali. «Beneficial medicinal plants in digestive system disorders (part 2): plant based review.» *IOSR Journal of Pharmacy* 6, nº 7 (2016): 85-92.
- Al-Snafi, Ali. «Bioactive components and pharmacological effects of *Canna indica*-An overview.» *International Journal of Pharmacology Toxicology* 5, nº 2 (2015): 71-75.
- Al-Snafi, Ali. «Medical importance of *Cichorium intybus*-A review.» *IOSR Journal of Pharmacy* 6, nº 3 (2016): 41-56.
- Al-Snafi, Ali. «The chemical constituents and pharmacological effects of *Convolvulus arvensis* and *Convolvulus scammonia*-A review.» *IOSR Journal of Pharmacy* 6, nº 6 (2016): 64-75.
- Al-Snafi, Ali. «The pharmacological importance of *antirrhinum Majus*-A Review.» *Asian Journal of Pharmaceutical Science and Technology* 5, nº 4 (2015): 313-320.
- Alvarez, R, A Melendez-Martínez, L Vicario, y M Alcalde. «Carotenoid and vitamin A content in biological fluids and tissues of animals as an effect of the diet. A review.» *Food Reviews International* 31 (2015): 319-340.
- Anh, Pham, Jae Kwang, Nam Park, Sook Young, y Sang Un. «Carotenoid content and expression of phytoene synthase and phytoene desaturase genes in bitter melon (*Momordica charantia*).» *Food Chemistry*, 126, 2011: 1686-1692.
- Annan, Kofi, y Peter Houghton. «Antibacterial, antioxidant and fibroblast growth stimulation of aqueous extracts of *Ficus asperifolia* Miq. and *Gossypium arboreum* L., wound-healing plants of Ghana.» *Journal of Ethnopharmacology* 119 (2008): 141-144.
- Anthos. Sistema de información sobre las plantas de España. 03 de Junio de 2017. <http://www.anthos.es/>.
- Arias, R, T Lee, L Logendra, y H Janes. «Correlation of lycopene measured by HPLC with the L*, a*, b* color readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with color and lycopene content.» *Agricultural and Food Chemistry* 48, nº 5 (2000): 1697-1702.
- Ariizumi, Tohru, y otros. «Identification of the carotenoid modifying gene Pale Yellow Petal 1 as an essential factor in xanthophyll esterification and yellow flower pigmentation in tomato (*Solanum lycopersicum*).» *The Plant Journal* 79 (2014): 453-465.
- Arranz, Sara. Compuestos polifenólicos (extraíbles y no extraíbles) en alimentos de la dieta española: Metodología para su determinación e identificación. España: Universidad Complutense de Madrid. Facultad de Farmacia. Departamento de Bromatología II, 2010.

- Atkinson, Nicky, Tristan Dew, Caroline Orfila, y Peter Urwin. «Influence of combined biotic and abiotic stress on nutritional quality parameters in Tomato (*Solanum lycopersicum*).» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2011: 10.
- Bahmani, Mahmoud, y otros. «Chicory: A review on ethnobotanical effects of *Cichorium intybus* L.» *Journal of Chemical and Pharmaceutical Sciences* 8, nº 4 (2015): 672-682.
- Bakó, Eszter, József Deli, y Gyula Tóth. «HPLC study on the carotenoid composition of *Calendula* products.» *Journal of Biochemical and Biophysical Methods* 53 (2001): 241-250.
- Baldermann, Susanne, Masaya Kato, Peter Fleischmann, y Naoharu Watanabe. «Biosynthesis of α - and β -ionone, prominent scent compounds, in flowers of *Osmanthus fragrans*.» *Acta ABP Biochimica Polonica* 59, 2012: 79-81.
- Bandara, Veronika, Weinstein, Scott, Julian White, y Michael Eddleston. «A review of the natural history, toxinology, diagnosis and clinical management of *Nerium oleander* (common oleander) and *Thevetia peruviana* (yellow oleander) poisoning.» *Toxicon* 56 (2010): 273-281.
- Barbosa, Nonete, Enayde DeAlmeida, y Jorge Mancini. «Antioxidant compounds from coriander (*Coriandrum sativum* L.) etheric extract.» *Journal of Food Composition and Analysis* 18, 2005: 193-199.
- Beckles, Diane. «Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit.» *Postharvest Biology and Technology* 63 (2012): 129-140.
- Benítez-García, Israel, Pablo Vanegas-Espinoza, Antonio Meléndez-Martínez, Francisco Heredia, Octavio Paredes-López, y Alma Villar-Martínez. «Callus culture development of two varieties of *Tagetes erecta* and carotenoid production.» *Electronic Journal of Biotechnology* 17 (2014): 107-113.
- Bergougnot, Véronique. «The history of tomato: From domestication to biopharming.» *Biotechnology Advances* 32 (2014): 170-189.
- Bhat, Menakshi, Smita Zinjarde, Shobha Bhargava, Ameeta Kumar, y Bimba Joshi. «Antidiabetic Indian Plants: A good source of potent amylase inhibitors.» *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine* 6 (2011).
- Bhosale, Santosh, Brijkishor Rathor, y Arvind Dhabe. «Survey of medicinal plants used on wounds by local people of Shirol Tahasil of Maharashtra state, India.» *International Journal of Current Research and Academic Review* 4, nº 9 (2016): 81-86.
- Binns, N. *Perspectives on ILSI's International Activities on Functional Foods*. Bruselas, Bélgica: ILSI Europe, 2009.
- Blerot, B, S Baudino, C Prunier, F Demarne, B Toulemonde, y J Caissard. «Botany, agronomy and biotechnology of *Pelargonium* used for essential oil production.» *Phytochemistry Reviews* 15, nº 5 (2016): 935-960.
- Bolhassani, Azam, Afshin Khavari, y S Bathaie. «Saffron and natural carotenoids: Biochemical activities and anti-tumor effects. Review.» *Biochimica et Biophysica Acta* 1845 (2014): 20-30.

- Bonil, Viviana, y Alejandra Araque. Plantas tóxicas que afectan a pequeños animales en Colombia. Bogotá D.C: Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Facultad de Ciencias Pecuarias, Medicina Veterinaria y Zootecnia, 2016.
- Borghesi, Eva, María González, María Escudero, Fernando Malorgio, Francisco Heredia, y Antonio Meléndez. «Effects of salinity stress on carotenoids, anthocyanins, and color of diverse tomato genotypes.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, n° 59 (2011): 11676-11682.
- Britton, G. «Structure and properties of carotenoids in relation to function.» *FASEB J.* 9 (1995): 1551-1558.
- Britton, G, S Liaaen-Jensen, y H Pfander. *Carotenoids. Handbook.* Basel, Switzerland: Birkhauser, 2004.
- Bussmann, Rainer, Narel Paniagua, Laura Moya, y Robbie Hart. «Changing markets-medicinal plants in the markets of La Paz and El Alto, Bolivia.» *Journal of Ethnopharmacology* 193 (2016): 76-95.
- Byamukama, Robert, Monica Jordheim, Bernard Kiremire, Jane Namukobe, y Oyvind Andersen. «Anthocyanins from flowers of *Hippeastrum* cultivars.» *Scientia Horticulturae* 109 (2006): 262-266.
- Camacho, Francisco. *Técnicas de producción en cultivos protegidos. Vol. 2.* España: Caja Rural Intermediterránea, Cajamar, 2003.
- Camejo, Daymi, y W. Torres. «High temperature effect on tomato (*Lycopersicon esculentum*) pigment and protein content and cellular viability.» *Cultivos Tropicales* Vol. 22 No. 3, 2001: 13-17.
- CANNA. CANNA. 30 de Diciembre de 2016. <http://www.canna.es/>.
- Cano-Lamadrid, M., L. Girón, R. Pleite, F. Burló, M. Corell, y A. Moriano. «Quality attributes of table olives as affected by regulated deficit irrigation.» *LWT-Food Science and Technology* 62 (2015): 19-26.
- Cano-Lamadrid, Marina, y otros. «Antioxidant capacity, fatty acids profile, and descriptive sensory analysis of table olives as affected by deficit irrigation.» *Journal of the Science of Food and Agriculture* 97, n° 2 (2015): 444-451.
- Carbonell-Barrachina, Ángel, Housseem Memmi, Luis Noguera-Artiaga, María Gijón-López, Rafa Ciapa, y David Pérez-López. «Quality attributes of pistachio nuts as affected by rootstock and deficit irrigation.» *Journal of the Science of Food and Agriculture* 95 (2015): 2866-2873.
- Cavender, A. «Folk medical uses of plant foods in southern Appalachia, United States.» *Journal of Ethnopharmacology* 108 (2006): 74-84.
- Cejudo-Bastante, María. «Antocianos.» *Análisis de pigmentos (III edición).* Sevilla-España: Universidad de Sevilla, 2017. 27-43.
- Centeno, Danilo, y otros. «Malate plays a crucial role in starch metabolism, ripening, and soluble solid content of tomato fruit and effects postharvest softening.» *The Plant Cell* 23 (2011): 162-184.
- Cermeño, Pedro, y Manuel Ortega. «R.A.E.A Tomate para industria.» Instituto de Investigación y Formación Agraria y Pesquera. Consejería de Innovación, Ciencia y Empresa. Junta de Andalucía, 2007: 1-31.

- Chai, Qiang, y otros. «Regulated deficit irrigation for crop production under drought stress. A review.» *Agronomy for Sustainable Development* 36, n° 1 (2016).
- Chalmers, D, P Mitchell, y L Van-Heek. «Control of peach tree growth and productivity by regulated water supply, tree density, and summer pruning.» *Journal of the American Society for Horticultural Science* 106 (1981): 307-312.
- Chandra, Satish, D Rawat, Dinesh Chandra, y Jyotsna Rastogi. «Nativity, phytochemistry, ethnobotany and pharmacology of *Dianthus caryophyllus*.» *Research Journal of Medicinal Plant*, 2016: DOI: 10.3923/rjmp.2016.1.9.
- Chang, Yun-Ching, Hui-Pei Huang, Jeng-Dong Hsu, Shun-Fa Yang, y Chao-Jong Wang. «Hibiscus anthocyanins rich extract-induced apoptotic cell death in human promyelocytic leukemia cells.» *Toxicology and Applied Pharmacology* 205, n° 3 (2005): 201-212.
- Charalambous, G, y K Bruckner. «Analysis of metallic ions in brewing materials, wort, beer and wine by inductively coupled argon plasma-atomic emission spectroscopy.» *Technical Quarterly* 14 (1997): 197-208.
- Chauhan, Ravishankar, Afaqur Quraishi, S Jadhav, y S Keshavkant. «A comprehensive review on pharmacological properties and biotechnological aspects of Genus *Chlorophytum*. Review.» *Acta Physiologiae Plantarum* 38 (2016): 116.
- Chen, Fang, Qiang Yao, y Jingyi Tian. «Review of ecological restoration technology for mine tailings in China.» *Engineering Review* 36 (2016): 115-121.
- Chen, Nai-Hua, y Sherrie Wei. «Factors influencing consumers attitudes towards the consumption of edible flowers.» *Food Quality and Preference* 56 (2017): 93-100.
- Chen, Wei, Karen Gast, y Sheri Smitley. «The effects of different freeze-drying processes on the moisture content, color, and physical strength of roses and carnations.» *Scientia Horticulturae* 84 (2000): 321-332.
- Cheng, Brian, y otros. «Review The genus *Rosa* and arthritis: Overview on pharmacological perspectives.» *Pharmacological Research* 114 (2016): 219-234.
- Cheynier, V. «Polyphenols in foods are more complex than often thought.» *The American Journal of Clinical nutrition* 8, n° 1 (2005): 223S-229S.
- Choi, Hyo, y otros. «Analysis on growth and yield of cherry tomato grown in a two-story bed system adapted to strawberry cultivation as affected by the planting time during the uncultivated period.» *Korean Journal Horticultural Science Technology* 34, n° 2 (2016): 228-235.
- Choi, Suk, y otros. «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.» *Journal of Food Composition and Analysis* 34 (2014): 115-127.
- CIE. *Recommendations on uniform color spaces, color-difference equations, psychometric color terms*. Vol. 15. Supplement 2 vols. Viena: CIE Publication, 1978.
- Cooper, D. «Carotenoids in health and disease: Recent scientific evaluation, research recommendations and the consumer.» *The Journal of Nutrition* 134, n° 1 (2004): 221S-224S.
- Cortés, Misael, Amparo Chiralt, y Luis Puente. «Alimentos funcionales: Una historia con mucho presente y futuro.» *Vitae, Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, 2005: 5-14.

- Cortés-Olmos, Carles, Miguel Leiva-Brondo, José Roselló, María Raigón, y Jaime Cebolla-Cornejo. «The role of traditional varieties of tomato as sources of functional compounds.» *Journal of the Science of Food and Agriculture* 94 (2014): 2888-2904.
- Coyago-Cruz, Elena, Mireia Corell, Carla Stinco, Dolores Hernanz, Alfonso Moriana, y Antonio Meléndez-Martínez. «Effect of regulated deficit irrigation on quality parameters, carotenoids and phenolics of diverse tomato varieties (*Solanum lycopersicum* L.).» *Food Research International* 96 (2017): 72-83.
- Crozier, A, M Lean, M McDonald, y C Black. «Quantitative analysis of the flavonoid content of commercial tomatoes, onions, lettuce and celery.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45 (1997): 590-595.
- Dannehl, Dennis, M Josuttis, y S Huyskens-Keil. «Comparison of different greenhouse systems and their impacts on plant responses of tomatoes.» *Gesunde Pflanzen* 66 (2014): 11-119.
- Darwent, A, y R Coupland. *Life history of Gypsophila paniculata*. Vol. 14. 4 vols. Weed Science Society of America, 1966.
- Delgado, Laura, Victoriano Darias, y Susana Abdala. *Contribución al estudio de la flora tóxica de las Islas Canarias*. Tenerife: Universidad de La Laguna. Departamento de Medicina Física y Farmacología, 2016.
- Del-Vitto, Luis, E Petenatti, y M Petenatti. «Recursos herbolarios de San Luis (Argentina) Primera Parte: Plantas Nativas.» *Herbal Resources of San Luis (Argentina) First Part: Native Plants* 6 (1997): 49-66.
- Desta, Belachew. «Ethiopian traditional herbal drugs. Part II: Antimicrobial activity of 63 medicinal plants.» *Journal of Ethnopharmacology* 39 (1993): 129-139.
- Dewir, Yaser, M El-Mahrouk, Hanady Al-Shmgani, Jaime Teixeira, y Michael Fuller. «Photosynthetic and biochemical characterization of in vitro-derived African violet (*Saintpaulia ionantha* H. Wendl) plants to ex vitro conditions.» *Journal of Plant Interactions* 8 (2017): 44.
- Dey, P, y J Harborne. *Methods in plant biochemistry. Plant phenolics*. Editado por J Harborne. Vol. 1. San Diego: Academic Press Harcourt Brace Jovanovich, Publishers, 1989.
- Diplock, A, y otros. «Functional food science and defence against reactive oxidative.» *British Journal of Nutrition* 80(S1) (1998): S77-S112.
- Domene, Miguel, y Mariló Segura. *Parámetros de calidad externa en la industria agroalimentaria. Fichas de Transferencia*. España: CAJAMAR ADN Agro. Negocio Agroalimentario y Cooperativo, 2014.
- Dorais, M. «Effect of cultural management on tomato fruit health qualities.» *Acta Horticulturae* 744 (2007): 279-293.
- Dorais, Martine, David Ehret, y Athanasios Papadopoulos. «Tomato (*Solanum lycopersicum*) health components: from the seed to the consumer.» *Phytochemistry Reviews* 7, n° 2 (2008): 231-250.
- Dumas, Yvon, Mario Dadomo, Giuseppe Lucca, y Pascal Grolier. «Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes.» *Journal of the Science of Food and Agriculture* 83, n° 5 (2003): 369-382.

- Duncan, Andrew, Anna Jager, y Johannes Staden. «Screening of Zulu medicinal plants for angiotensin converting enzyme (ACE) inhibitors.» *Journal of Ethnopharmacology* 68 (1999): 63-70.
- Duthie, G, y A Crozier. «Plant-derived phenolic antioxidants.» *Current Opinion in Lipidology* 11, n° 1 (2000): 43-47.
- Dutta, Debjani, Utpal Chaudhuri, y Runu Chakraborty. «Structure, health benefits, antioxidant property and processing and storage of carotenoids.» *African Journal of Biotechnology* Vol. 4, 2005: 1510-1520.
- Eichholz, Ines, Nadja Forster, Christian Ulrichs, Monika Shreiner, y Susanne Huyskens. «Survey of bioactive metabolites in selected cultivars and varieties of *Lactuca sativa* L. under water stress.» *Journal of Applied Botany and Food Quality* 87, 2014: 265-273.
- Elango, V, y Eazhisai Vallai. «Antioxidant potential of few siddha herbal drugs.» *World Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 5, n° 9 (2016): 13871396.
- Elgorashi, Esameldin, Joslyn Taylor, Annemarie Maes, Johannes Staden, Norbert De-Kimpe, y Luc Verschaeve. «Screening of medicinal plants used in South African traditional medicine for genotoxic effects.» *Toxicology letters* 143 (2003): 195-207.
- Erhirhie, E, y N Ekene. «Medicinal values on *Citrullus lanatus* (Watermelon): Pharmacological Review.» *International Journal of Research in Pharmaceutical and Biomedical Sciences* 4, n° 4 (2013): 1304-1312.
- Eser, F, A Yaglioglu, M Dolarslan, E Aktas, y Adem Onal. «Dyeing, fastness, and cytotoxic properties, and phenolic constituents of *Anthemis tinctoria* var. *tinctoria* (Asteraceae).» *The Journal of The Textile Institute*, 2016: 1-7.
- Evci, Goksel, y otros. «Determination of yield performances of oleic type sunflower (*Helianthus annuus* L.) Hybrids resistant to broomrape and downy mildew.» *Ekin Journal of Crop Breeding and Genetics* 2, n° 1 (2016): 45-50.
- FAO. *Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo*. Editado por Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Vers. 29. Michel Latham. 20 de April de 2002. <http://www.fao.org/docrep/006/w0073s/w0073s0f.htm> (último acceso: 20 de April de 2017).
- FAOSTAT. *Crops*. 28 de Diciembre de 2016. <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>.
- Farag, Mohamed, y Dalia Al-Mahdy. «Comparative study of the chemical composition and biological activities of *Magnolia grandiflora* and *Magnolia virginiana* flower essential oils.» *Natural Product Research* 27 (2013): 12.
- Favati, Fabio, Stella Lovelli, Fernanda Galgano, Vito Miccolis, Teodoro Tommaso, y Vincenzo Candido. «Processing tomato quality as affected by irrigation scheduling.» *Scientia Horticulturae* 122 (2009): 562-571.
- Figás, Maria, y otros. «Characterization of composition traits related to organoleptic and functional quality for the differentiation, selection and enhancement of local varieties of tomato from different cultivar groups.» *Food Chemistry* 187 (2015): 517-524.
- Fitsiou, Eleni, y otros. «Phytochemical Profile and Evaluation of the Biological Activities of Essential Oils Derived from the Greek Aromatic Plant Species *Ocimum basilicum*, *Mentha spicata*, *Pimpinella anisum* and *Fortunella margarita*.» *Molecules* 21, n° 8 (2016): 1069.

- Flores, Pilar, Elena Sánchez, José Fenoll, y Pilar Hellín. «Genotypic variability of carotenoids in traditional tomato cultivars.» *Food Research International* xxx (2016).
- Fokou, Patrick, y otros. «Ethnopharmacological reports on antiBuruli ulcer medicinal plants in three West African countries.» *Journal of Ethnopharmacology* 172 (2015): 297-311.
- Fortes, R, María Prieto, José González, y Carlos Campillo. «Estrategias de riego deficitario controlado en el cultivo de tomate de industria.» *VidaRURAL*, 2013: 14-19.
- Fraser, P, y P Bramley. «The biosynthesis and nutritional uses of carotenoids.» *Progress in Lipid Research* 43 (2004): 228-265.
- Fratianni, Florinda, y otros. «Polyphenol composition and antioxidant activity of different grass pea (*Lathyrus sativus*), lentils (*Lens culinaris*), and chickpea (*Cicer arietinum*) ecotypes of the Campania region (Southern Italy).» *Journal of Functional Foods* 7 (2014): 551-557.
- Fu, Maorun, He, Zhiping, Zhao, Yuying, Jing Yang, y Linchun Mao. «Antioxidant properties and involved compounds of daylily flowers in relation to maturity.» *Food Chemistry* 114, nº 4 (2009): 1192-1197.
- Gakuubi, Martin, Wycliffe Wanzala, John Wagacha, y Saifuddin Dossaji. «Biactive properties of *Tagestes minuta* L. (Asteraceae) essential oils: A review.» *American Journal of Essential Oils and Natural Products* 4, nº 2 (2016): 27-36.
- García, Mario. Manejo del riego: uso de instrumentos de medición de agua del suelo y del estado hídrico de los cultivos, presentación de casos de estudio incluso en riego deficitario. Jornadas sobre "Ambiente y Riegos: Modernización y Ambientalidad", La Antigua-Guatemala: CYTED y AECID, 2008.
- GBIF. Global Biodiversity Information Facility. 25 de January de 2017. <http://www.gbif.org/species/113598439>.
- Georgé, S, P Brat, O Alter, y M Amiot. «Rapid determination of polyphenols and vitamin C in plant-derived products.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 53, nº 5 (2005): 1370-1373.
- Gerats, A, y C Martin. «Flavonoids synthesis in *Petunia hybrida*; genetics and molecular biology of flower colour.» *De Phenolic metabolim in plants*, 165-199. Springer , 1992.
- Gerszberg, Aneta, Katarzyna Hnatuszko-Konka, Tomasz Kowalczyk, y Andrzej Kononowicz. «Tomato (*Solanum lycopersicum* L.) in the service of biotechnology.» *Plant Cell, Tissue and Organ Culture (PCTOC)* 120, nº 3 (2015): 881-902.
- Ghisalberti, E. «*Lantana camara* L. (Verbenaceae). Review.» *Fitoterapia* 71 (2000): 467-486.
- Giampiere, Francesa, y otros. «The potential impact of strawberry on human health.» *Natural Product Research* 27, nº 4-5 (2013): 448-455.
- Gidey, Meaza, Tadesse Beyene, Maria Signorini, Piero Bruschi, y Gidey Yirga. «Traditional medicinal plants used by Kunama ethnic group in Northem Ethiopia.» *Journal of Medicinal Plants Research* 9, nº 15 (2015): 494-509.
- Giuliana, M, E Nardella, G Gatta, A De-Caro, y M Quitadamo. «Processing tomato cultivated under water deficit conditions: The effect of azoxystrobin.» *Acta Horticultrae. III International Symposium on Tomato Diseases* 914 (2011): 287-294.

- Gogoi, Jyotchna, Khonamai Nakhuru, Rudragaoud Policegoudra, Pronobesh Chattopadhyay, Ashok Rai, y Vijay Veer. «Isolation and characterization of bioactive components from *Mirabilis jalapa L. radix.*» *Journal of Traditional and Complementary Medicine* 6 (2016): 41-47.
- Gómez, M., A. Segura, y A. Fernández. «Metabolite profiling and quantification of phenolic compounds in methanol extracts of tomato fruit.» *Phytochemistry* 71, 2010: 1848-1864.
- Gómez, Ricardo, Joaquín Costa, María Amo, Andrés, Picazo, Marta Alvarruiz, y José Pardo. «Physicochemical and colorimetric evaluation of local varieties of tomato grown in SE Spain.» *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81 (2001): 1101-1105.
- González-Tejero, M, y otros. «Medicinal plants in the Mediterranean area: Synthesis of the results of the project Rubia.» *Journal of Ethnopharmacology* 116 (2008): 341-357.
- Granado, F, B Olmedilla, y I. Blanco. «Major fruit and vegetable contributors to the main serum carotenoids in the Spanish diet.» *European Journal of Clinical Nutrition* 50, nº 4 (1996): 246-250.
- Granado, F, S Blázquez, y B Olmedilla. «Changes in carotenoid intake from fruit and vegetables in the Spanish population over the period 1964:2004.» *Public Health Nutrition* 10, nº 10 (2007): 1018-1023.
- Granado-Lorencio, Fernando, y Elena Hernández-Alvarez. «Functional foods and health effects: A nutritional biochemistry perspective.» *Current Medicinal Chemistry* 23 (2016): 1-23.
- Grzeszczuk, Monika, Anna Stefaniak, y Anna Pachlowska. «Biological value of various edible flower species.» *Acta Scientiarum Polonorum Hortorum Cultus*, nº 15 (2016): 109-119.
- Guarner, F. «Papel de la flora intestinal en la salud y en la enfermedad.» *Nutrición Hospitalaria* 22, nº 2 (2007): 14-19.
- Guerreiro, Duarte, y otros. «Post-harvest treatment of cherry tomatoes by gamma radiation: Microbial and physicochemical parameters evaluation.» *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 36 (2016): 1-9.
- Guillot, Daniel. «Plantas Ornamentales de Noguera (Teruel) Angiospermas Dicotiledoneas (II).» *REHALDA* 11 (2009).
- Hadland, Scott, John Knight, y Sions Harris. «Medical marijuana: Review of the science and implications for developmental behavioral pediatric practice.» *Journal of Developmental and Behavioral Pediatrics* 36, nº 2 (2015): 115-123.
- Halliwell, B, y M Whiteman. «Measuring reactive species and oxidative damage in vivo and in cell culture: how should you do it and what do the results mean?» *British Journal of Pharmacology* 142, nº (2) (2004): 231-255.
- Harris, R, G Jang, y S Tsunoda. «Dietary effects on drug metabolism and transport.» *Clinical Pharmacokinetics* 42 (2003): 1071-1088.
- Hasler, CM, y AC Brown. «American dietetic association. Position of the american dietetic association: Functional foods.» *Journal of the American Dietetic Association* 109, nº 4 (2009): 735-746.
- Hassine, M, Z Zardi-Berguaoui, M Znati, G Flamini, Jannet Ben, y M Hamza. «Chemical composition, antibacterial and cytotoxic activities of the essential oil from the flowers of

Tunisian *Convolvulus althaeoides* L.» *Natural Product Research* 28, n° 11 (2014): 769-775.

- He, Xirui, y otros. «Local and traditional uses, phytochemistry, and pharmacology of *Sophora japonica* L.: A review.» *Journal of Ethnopharmacology* 187 (2016): 160-182.
- Hendry, G, y J Houghton. «Natural food colorants.» En *Carotenoids*, de G Britton. Springer Science and Business Media, 1996.
- Herbarium. Plantas y Hongos. 05 de April de 2017. <https://www.plants.usda.gov/core/profile?symbol=CAOF> (último acceso: 05 de April de 2017).
- Hernández, Juan, y Gabriele Volpato. «Herbal mixtures in the traditional medicine of Eastern Cuba.» *Journal of Ethnopharmacology* 90 (2004): 293-316.
- Hernández, L. «Revisión Bibliográfica "El cultivo del *Anthurium*".» Editado por Universidad Autónoma del Estado de México. *Cultivos Tropicales* (Red de Revistas Científicas de América Latina y el Caribe) 25, n° 4 (2004).
- Hernández-Gras, Frances, Karel De-Poureq, Djédoux Angaman, y Albert Boronat. «Biosíntesis y acumulación de carotenoides en el fruto de tomate.» En *Carotenoides en agroalimentación y salud*, de Antonio Meléndez-Martínez, 208-222. México: Editorial Terracota, SA de CV, 2016.
- Hopkins, Allison, Marnie Lamm, Janet Funk, y Cheryl Ritenbaugh. «*Hibiscus sabdariffa* L. in the treatment of hypertension and hyperlipidemia: A comprehensive review of animal and human studies.» *Fitoterapia* 85 (2013): 84-94.
- Hosseinzadeh, H, y H Younesi. «Antinociceptive and anti-inflammatory effects of *Crocus sativus* L. stigma and petal extracts in mice.» *BMC pharmacology* 2, n° 1 (2002): 7.
- Howlett, John. «Functional Foods from Science to Health and Claims. Europe Concise Monograph Series.» International Life Sciences Institute (ILSI Europe), 2008: 1-44.
- Huang, James, Chris Huang, y Michael Liebman. «Oxalate contents of commonly used Chinese medicinal herbs.» *Journal of Traditional Chinese Medicine* 35, n° 5 (2015): 594-599.
- Hunter, Norah. *The art of floral design*. USA: DELMAR CENGAGE Learning, 2013.
- ICBN. «International Code of Botanical Nomenclature.» 12 de February de 2001. <http://www.bgbm.org/iapt/nomenclature/code/saintlouis/0001ICSLContents.htm> (último acceso: 04 de April de 2017).
- Ikawati, Sismindari, Sitarina Widayari, Atina Husaana, y Muhammad Sumantri. «Therapeutic effect of a ribosome-inactivating protein from *Mirabilis jalapa* L. against mouse skin cancer induced by co-carcinogen dimethylbenzanthracene and UVB radiation.» *Journal of Pharmaceutical Research* 13, n° 4 (2014): 111-115.
- Infante, R. «Polifenoles del vino y oxidabilidad de las lipoproteínas ¿Blanco o tinto?» *Clínica e Investigación en Arteriosclerosis* 9 (1997): 19-22.
- Islam, N, I Khan, A Rauf, N Muhammad, M Shahid, y M Shah. «Antinociceptive, muscle relaxant and sedative activities of gold nanoparticles generated by methanolic extract of *Euphorbia milii*.» *BMC Complementary and Alternative Medicine* 15 (2015): 160.
- Jain, Jitendra, Sheetal Kumane, y S Bhattacharya. «Medicinal flora of Madhya Pradesh and Chattisgarh-A review.» *Journal of Traditional Knowledge* 5, n° 2 (2006): 237-242.

- Jankovic, Ivana, Zlatko Satovic, Zlatko Liber, Nevena Kuzmanovic, Ivan Radosavljevic, y Dmtar Lakusic. «Genetic diversity and morphological variability in the Balkan endemic *Campanula secundiflora* s.l. (Campanulaceae).» *Botanical Journal of the Linnean Society* 180 (2016): 64-88.
- Jara-Palacios, María, Dolores Hernanz, Susana González-Manzano, Celestino Santos-Buelga, Luisa Escudero-Gilete, y Francisco Heredia. «Detailed phenolic composition of white grape by- products by RRLC/MS and measurement of the antioxidant activity.» *Talanta* 125 (2014): 51-57.
- Jara-Palacios, María, Dolores Hernanz, Tania Cifuentes, María Escudero, Francisco Heredia, y Jeremy Spencer. «Assessment of white grape pomace from winemaking as source of bioactive compounds, and its antiproliferative activity.» *Food Chemistry* 183 (2015): 78-82.
- Jarquín, L., E. Mercado, J. Maldonado, y J. Lopez. «Lycopene content and color index of tomatoes are affected by the greenhouse cover.» *Scientia Horticulturae* 155 (2013): 43-48.
- Ji, Jing, Gang Wang, Wang, Jiehua Wang, y Ping Wang. «Funtional analysis of multiple carotenogenic genes from *Lycium barbarum* and *Gentiana lutea* L. for their effect on B-carotene production in transgenic tobacco.» *Biotechnology Letters* 31, n° 2 (2009): 305-312.
- Jin, Y, Y Wang, y T Qu. «Ultrasonic extraction and stability of flower pigment from *Coreopsis grandiflora*.» *China Brewing* 02 (2014).
- Johnstone, P, T Hartz, M LeStrange, J Nunez, y E Miyao. «Managing fruit soluble solids with late-season deficit irrigation in drip-irrigated processing tomato production.» *HortScience* 40 (2005): 1857-1861.
- Judita, Zozomová-Lihová, Marhold Karol, y Spaniel Stanislav. «Taxonomy and evolutionary history of *Alyssum montanum* (Brassicaceae) and related taxa in southwestern Europe and Morocco: Diversification driven by polyploidy, geographic and ecological isolation.» *International Association for Plant Taxonomy* 63, n° 3 (2014): 562-591.
- Kaido, T, D Veale, I Havlik, y D Rama. «Preliminary screening of plants used in South Africa as traditional herbal remedies during pregnancy and labour.» *Journal of Ethnopharmacology* 55 (1997): 185-191.
- Kaisoon, Onanong, Sirithon Siriamornpun, Natthida Weerapreeyakul, y Naret Meeso. «Phenolic compounds and antioxidant activities of edible fowers from Thailand.» *Journal of Functional Foods* 3 (2011): 88-99.
- Kasahara, Yoshimasa, Ken Yasukawa, Susumu Kitanaka, M Khan, y Fred Evans. «Effect of Methanol Extract from Flower Petals of *Tagetes patula* L. on Acute and Chronic Inflammation Model.» *Phytotherapy Research* 16 (2002): 217-222.
- Kayani, Hammad, Saifullah Khan, Sheeba Naz, y Iqbal Chaudhary. «Micropropagation of *Agastache anisata* using nodal segments as explants and cytotoxic activity of its methanolic extracts.» *Pakistan Journal of Botany* 45, n° 6 (2013): 2105-2109.
- Kew. Kew Royal Botanic Gardens. 11 de 06 de 2017. http://apps.kew.org/wcsp/namedetail.do?name_id=193198.

- Keyhaninejad, Nedad, Richard Richins, y Mary Connell. «Carotenoid Content in Field-grown versus Greenhouse-grown Peppers: Different responses in leaf and fruit.» *HortScience* 47 (7), 2012: 852-855.
- Kim, In, y otros. «Chrysanthemum morifolium Ramat (CM) extract protects human neuroblastoma SH-SY5Y cells against MPP+- induced cytotoxicity.» *Journal of Ethnopharmacology* 126, n° 3 (2009): 447-454.
- Kimura, Mieko, y Delia Rodriguez-Amaya. «A scheme for obtaining standards and HPLC quantification of leafy vegetable carotenoids.» *Food Chemistry* 78 (2002): 389-398.
- Kishimoto, Sanae, Katsuhiko Sumitomo, Masafumi Yagi, Masayoshi Nakayama, y Akemi Ohmiya. «Three routes to orange petal color via carotenoid components in 9 compositae species.» *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 76, n° 3 (2007): 250-257.
- Kishimoto, Sanae, Takashi Maoka, Katsuhiko Sumitomo, y Akemi Ohmiya. «Analysis of carotenoid composition in petals of calendula (*Calendula officinalis* L.).» *Bioscience Biotechnology Biochemistry* 69, 2005: 2122-2128.
- Kishimoto, Sanae, Takashi Maoka, Masayoshi Nakayama, y Akemi Ohmiya. «Carotenoid composition in petals of chrysanthemum (*Dendranthema grandiflorum* (Ramat.) Kitamura).» *Phytochemistry* 65 (2004): 2781-2787.
- Kishimoto, Sanae, y Akemi Ohmiya. «Studies on carotenoids in the petals of Compositae plants.» *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 78, n° 3 (2009): 263-272.
- Klaring, Hans, Yvonne Klopotek, Angelika Krumben, y Dietmar Schwarz. «The effect of reducing the heating set point on the photosynthesis, growth, yield and fruit quality in greenhouse tomato production.» *Agricultural and Forest Meteorology* 214-215, n° 15 (2015): 178-188.
- Klopotek, Y., y H. Klaring. «Accumulation and remobilisation of sugars and starch in the leaves of young tomato plants in response to temperature.» *Scientia Horticulturae* 180 (2014): 262-267.
- Koduru, Srinivas, D Grierson, y A Afolayan. «Ethnobotanical information of medicinal plants used for treatment of cancer in the Eastern Cape Province, South Africa.» *Current Science* 92, n° 7 (2007): 906-908.
- Koike, Kazuo, y otros. «Triptenoid saponins from *Dianthus chinensis*.» *Tetrahedron* 50, n° 45 (1994): 12811-12820.
- Kolodziejczyk-Czepas, Joanna. «*Trifolium* species-the latest findings on chemical profile, ethnomedicinal use and pharmacological properties. Review.» *Journal of Pharmacy and Pharmacology* 68 (2016): 845-861.
- KONICA-MINOLTA. «KONICA MINOLTA Sensing Americas.» *Entendiendo El Espacio de Color CIE L*A*B**. Editado por KONICA MINOLTA. 26 de Diciembre de 2016. <http://sensing.konicaminolta.com.mx/2014/09/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/> (último acceso: 26 de Diciembre de 2016).
- Kumar, Suresh, y otros. «Influence of growth stage specific water stress on the yield, physico-chemical quality and functional characteristics of tomato grown in shallow basaltic soils.» *Scientia Horticulturae* 197 (2015): 261-271.

- Kusakabe, A, y otros. «Application of partial rootzone drying to improve irrigation water use efficiency in grapefruit trees.» *Agricultural Water Management* 178 (2016): 66-75.
- LaFountain, Amy, Harry Frank, y Yao Wu. «Carotenoids composition of the flowers of *Minulus lewisii* and related species: Implications regarding the prevalence and origin of two unique, allenic pigments.» *Archives of Biochemistry and Biophysics* 573 (2015): 32-39.
- Lahoz, Inmaculada, y otros. «Effect of water deficit on the agronomical performance and quality of processing tomato.» *Scientia Horticulturae* 200 (2016): 55-65.
- Lai, Jia-Ping, Yew Lim, Jin Su, Han Shen, y Choon Ong. «Identification and characterization of major flavonoids and caffeoylquinic acids in three Compositae plants by LC/DAD-APCI/MS.» *Journal of Chromatography B-Analytical Technologies in the Biomedical and Life Sciences* 848, n° 2 (2007): 215-225.
- Lampe, JW. «Health effects of vegetables and fruit: assessing mechanisms of action in human experimental studies.» *The American Journal of Clinical Nutrition* 70, n° (3) (1999): 475s-490s.
- Lea, U, R Slimestad, P Smedving, y C Lilo. «Nitrogen deficiency enhances expression of specific MYB and bHLH transcription factors and accumulation of end product in the flavonoid pathway.» *Planta* 225 (2007): 1245-1253.
- Lee, Wen-Chin, y otros. «Polyphenol extracts from *Hibiscus sabdariffa* linnaeus attenuate nephropathy in experimental type 1 diabetes.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57, n° 6 (2009): 2206-2210.
- Li, An-Na, Sha Li, Hua-Bin Li, Dong-Ping Xu, Xiang-Rong Xu, y Feng Chen. «Total phenolic contents and antioxidant capacities of 51 edible and wild flowers.» *Journal of Functional Foods* 6 (2014): 319-330.
- Li, Hong-yu, Kazuo Koike, Taichi Ohmoto, Yu-su Li, y Gui-fen Guo. «L-Dianose, a new monosaccharide from *Dianthus chinensis* L.» *Carbohydrate Research* 252 (1994): 303-307.
- Li, Xue, Shi Zhu, Yun Liu, Shu Xue, y Wen Li. «Multivariate statistical analysis of low light tolerance in tomato (*Solanum Lycopersicum* Mill.) cultivars and their ultrastructural observations.» *Journal Plant Growth Regul* 32, 2013: 646-653.
- Lichtenthaler, Hartmut, y Stefan Burkart. «Photosynthesis and high light stress.» *Bulgarian Journal of Plant Physiology* 25, n° 3-4 (1999): 3-16.
- Lim, T. *Edible medicinal and non-medicinal plants. Vols. 7, Flowers.* Netherlands: Springer, 2014.
- Lin, Hui-Hsuan, Hui-Pei Huang, Chi-Chou Huang, Jing-Hsien Chen, y Chau-Jong Wang. «*Hibiscus* polyphenol-rich extract induces apoptosis in human gastric carcinoma cells via p53 phosphorylation and p38 MAPK/FasL cascade pathway.» *Molecular Carcinogenesis* 43, n° 2 (2005): 86-99.
- Lin, L, y J Hanly. «Identification of the phenolic components of chrysanthemum flower (*Chrysanthemum morifolium* Ramat).» *Food Chemistry* 120, n° 1 (2010): 319-326.
- Lizcano, Leandro, Fadil Bakkali, M Ruiz-Larrea, y José Ruiz-Sanz. «Antioxidant activity and polyphenol content of aqueous extracts from Colombian Amazonian plants with medicinal use.» *Food Chemistry* 119 (2010): 1566-1570.

- López, Gloria. Biomecánica de la epidermis y la cutícula del fruto de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) y su relación con el agrietado. Tesis doctoral, Málaga: Universidad de Málaga, 2006.
- Lu, Baiyilu, Maiquan Li, y Ran Yin. «Phytochemical content, health benefits, and toxicology of common edible flowers: A review (2000-2015).» *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56 (2016): S130-S148.
- Lule, Ssonki, y Wenshui Xia. «Food phenolics, pros and cons: A review.» *Food Reviews International* 21 (2005): 367-388.
- Mactavish, Hazel, Noel Davies, y Robert Menary. «Emission of volatiles from brown *Boronia* flowers: Some comparative observations.» *Annals of Botany* 86, 2000: 347-354.
- MAGRAMA. Anuario de Estadística 2013 (Datos 2012 y 2013) Completo. 2013. <http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/publicaciones/anuario-de-estadistica/2013/default.aspx?parte=3&capitulo=13&grupo=6&seccion=27> (último acceso: 20 de Marzo de 2017).
- Makinde, S, A Ojekale, y T Oshinaike. «An ethnomedical and ethnobotanical survey of plants herbal therapy used for obesity, asma, diabetes and fertility by the badagry people of Lagos State, Nigeria.» *Journal of Medicinal Plants Studies* 3, nº 5 (2015): 01-06.
- Malamas, M, y M Marselos. «The tradition of medicinal plants in Zagori, Epirus (northwestern Greece).» *Journal of Ethnopharmacology* 37 (1992): 197-203.
- Mallavadhni, U, Gayatri Sahu, y J Muralidhan. «Screening of *Plumbago* species for the bio-active marker Plumbagin.» *Pharmaceutical Biology* 40, nº 7 (2002): 508-511.
- Maoka, Takashi, Tetsuji Etoh, Sanae Kishimoto, y Syusaku Sakata. «Carotenoids and their fatty acid esters in the petals of *Adonis aestivalis*.» *Journal of Oleo Science* 60 (2), 2011: 47-52.
- Markham, Kenneth, y R Hammett. «The basis of yellow colouration in *Lathyrus aphaca* flowers.» *Phytochemistry* 37, nº 1 (1994): 163-165.
- Martínez, M, y otros. «*Taraxacum officinale* and related species-An ethnopharmacological review and its potential as a commercial medicinal plant. Review.» *Journal of Ethnopharmacology* 169 (2015): 244-262.
- Martínez-Flórez, S, J González-Gallego, J Culebras, y J Tuñón. «Los flavonoides: propiedades y acciones antioxidantes.» *Nutrición Hospitalaria* 17, nº 6 (2002): 271-278.
- Martínez-Valverde, I, M Periago, y G Ros. «Significado nutricional de los compuestos fenólicos en la dieta.» *Archivo Latinoamericana de Nutrición* 50 (2000): 5-18.
- Martínez-Valverde, Isabel, María Periago, Gordon Provan, y Andrew Chesson. «Phenolic compounds, lycopene and antioxidant activity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*).» *Journal of the Science of Food and Agriculture* 82 (2002): 323-330.
- McGee, H. *On food and cooking: The science and lore of the kitchen*. New York: Scribner, 2004.
- McMahan, Margaret, y John Kelly. «Anatomy and pigments of chrysanthemum leaves developed under spectrally selective filters.» *Scientia Horticulturae* 64, 1995: 203-209.
- Meléndez-Martínez, A. *Carotenoides en agroalimentación y salud*. Ed. Terracota, 2016.

- Meléndez-Martínez, A. «Carotenoides: Estructura, propiedades y funciones.» En Carotenoides en agroalimentación y salud, de A Meléndez-Martínez, 12-31. Ed. Terracota, 2016.
- Meléndez-Martínez, A, G Britton, I Vicario, y F Heredia. «Relationship between the colour and the chemical structure of carotenoid pigments.» *Food Chemistry* 101 (2007): 1145-1150.
- Meléndez-Martínez, Antonio. Estudio de los carotenoides y del color de zumos de naranja. Sevilla: Universidad de Sevilla. Facultad de Farmacia, 2005.
- Melendez-Martinez, Antonio, Isabel Vicario, y Francisco Heredia. «Applicability of the measurement of visible spectroscopic data and color in the analysis of food carotenoids.» En *Carotenoids: properties, effects and diseases*, de M Yamaguchi, 29-58. NY (United States): Nova Science Publishers, Inc., Hwauppauge, 2011.
- Meléndez-Martínez, Antonio, Isabel Vicario, y Francisco Heredia. «Applicability of the measurement of visible spectroscopic data and colour in the analysis of food carotenoids.» En *Biochemistry Research Trends: Carotenoids: Properties, Effects and Diseases*, de Masayoshi Yamaguchi, 29-57. New York: Nova Science Publishers, Inc., 2012.
- Meléndez-Martínez, Antonio, Paul Fraser, y Peter Bramley. «Accumulation of health promoting phytochemicals in wild relatives of tomato and their contribution to in vitro antioxidant activity.» *Phytochemistry* 71, 2010: 1104-1114.
- Meléndez-Martínez, Antonio, Paula Mapelli, Ana Benítez, y Carla Stinco. «A comprehensive review on the colorless carotenoids phytoene and phytofluene.» *Archives of Biochemistry and Biophysics* 572 (2015): 188-200.
- Micek, Jiri, y Otakar Rop. «Fresh edible flowers of ornamental plants - A new source nutraceutical foods.» *Trends in Food Science and Technology* 22, nº 10 (2011): 561-569.
- Miglio, C, E Chiavaro, A Visconti, V Fogliano, y N Pellegrini. «Effects of different cooking methods on nutritional and physicochemical characteristics of selected vegetables.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 56 (2008): 139-147.
- Mikulic-Petkovsek, Maja, Darinka Koron, and Robert Veberic. "Quality parameters of currant berries from three different cluster positions." *Scientia Horticulturae* 210 (2016): 188-196.
- Ministerio-de-la-Presidencia. «Real Decreto 1487/2009, de 26 de septiembre, relativo a los complementos alimenticios.» *Boletín Oficial del Estado*, nº Sección I (2009): 85370-85378.
- Minutolo, María, Carmine Amalfitano, Antonio Evidente, Luigi Frusciante, y Angela Errico. «Polyphenol distribution in plant organs of tomato introgression lines.» *Natural Product Research* 27, nº 9 (2013): 787-795.
- Mohamed, Asmaa, Fouad Ahmed, y Osama Ahmed. «Hepatoprotective and antioxidant activity of Zinnia elegans leaves ethanolic extract.» *International Journal of Scientific Engineering Research* 6, nº 2 (2015): 154-161.
- Molesini, Barbara, Davide Treggiari, Andrea Dalbeni, Pietro Minuz, y Tiziana Pandolfini. «Plant cystine-knot peptides: pharmacological perspectives.» *British Journal of Clinical Pharmacology* 83, nº 1 (2017): 63-70.

- Momoeda, Mikio, Hidetaka Sasaki, Eiko Tagashira, Masayuki Ogishima, Yuichi Takano, y Kazunori Ochiai. «Efficacy and safety of vitex agnus-castus extract for treatment of premenstrual syndrome in japanese patients: A prospective, open-label study.» *Advances in Therapy* 31, nº 3 (2014): 362-373.
- Moran, N, y T Jarvik. «Lateral transfer of genes from fungi underlies carotenoid production in aphids.» *Science* 328 (2010): 624-627.
- Morello, Santiago, Liliana Giussani, y Silvana Sede. «Análisis preliminar de la variabilidad genética de *Escallonia Alpina* y *E. rubra* (Escalloniaceae).» *DARWINIANA* 1, nº 2 (2013): 227-236.
- Moriana, Alfonso, y otros. Protocolo para la programación del riego deficitario controlado en olivar empleando la cámara de presión. Marzo de 2017.
- Murugananthan, N, S Solomon, y M Senthamilselvi. «Antimicrobial activity of *Cucurbita maxima* flowers (Pumpkin).» *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry* 5, nº 1 (2016): 15-18.
- Mutambara, Solomon, Michael Darkoh, y Julius Althopheng. «A comparative review of water management sustainability challenges in smallholder irrigation schemes in Africa and Asia.» *Agricultural Water Management* 171 (2016): 63-72.
- Naczek, M, y F Shahidi. «Phenolics in cereals, fruits and vegetable: occurrence, extraction and analysis.» *Journal of Pharmaceutical and Biomedical analysis* 41, nº 5 (2006): 1523-1542.
- Naczek, Marian, y Fereidoon Shahidi. «Review Extraction and analysis of phenolics in food.» 1054 (2004): 95-111.
- Nakamura, Seikou, y otros. «Alkaloid constituents from flower buds and leaves of sacred lotus (*Nelumbo nucifera*, Nymphaeaceae) with melanogenesis inhibitory activity in B16 melanoma cells.» *Bioorganic and Medicinal Chemistry* 21, nº 3 (2013): 779-787.
- Nan, Monica, Adela Pintea, Andrea Bunea, Sigrid Esianu, y Mircea Tamas. «HPLC analysis of carotenoids from *Inula Helenium* L. flowers and leaves.» *Farmacia* Vol. 60, 2012: 501-509.
- Nangare, D, Yogeshwar Singh, P Kumar, y P Minhas. «Growth, fruit yield and quality of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as affected by deficit irrigation regulated on phenological basis.» *Agricultural Water Management* 171 (2016): 73-79.
- Nath, L, K Manjunath, R Savadi, y K Akki. «Anti-inflammatory activity of *Mirabilis jalapa* Linn. leaves.» *Journal of Basic and Clinical Pharmacy* 1, nº 2 (2010): 93.
- Nayak, B, y Lexley Pinto. «*Catharanthus roseus* flower extract has wound-healing activity in Sprague Dawley rats.» *BMC Complementary and Alternative Medicine* 6, nº 1 (2006): 41.
- NC. *Gaillardia x grandiflora*. 11 de 06 de 2017. <https://plants.ces.ncsu.edu/plants/all/gaillardia-x-grandiflora/>.
- Nia, Amir, Sanaz Bahman, Hassanali Badi, Ali Mehrafarin, y Mohammadreza Labbafi. «Morpho-physiological and phytochemical traits of *Gazania rigens* affected by foliar application of bio-stimulants.» *EurAsian Journal of BioSciences* 9 (2015): 21-28.
- Nidavani, R, A Mahalakshmi, y M Shalawadi. «Potent ulcer protective action of antiInflammatory herbs: A short review.» *World Journal of Pharmaceutical Research* 3, nº 6 (2014): 2957.

- Nielsen, A, C Olsen, y B Moller. «Flavonoids in flowers of 16 *Kalanchoe blossfeldiana* varieties.» *Phytochemistry* 66, n° 24 (2005): 2829-2835.
- Nisar, Nazia, Li Li, Shan Lu, Nay Khin, y Barry Pogson. «Carotenoid metabolism in plants. Review.» *Molecular Plant* 8 (2015): 68-82.
- Noquera-Artiaga, L, L Lipan, L Vázquez-Araújo, C Barber, D Pérez-López, y A Carbonell-Barrachina. «Opinion of spanish consumers on hydrosustainable pistachios.» *Journal of Food Science* 81, n° 10 (2016): S2559-S2565.
- NRCS. USDA United States Department of Agriculture. Natural Resources Conservation Service. 05 de April de 2017. <https://www.plants.usda.gov/core/profile?symbol=CAOF> (último acceso: 05 de April de 2017).
- Nugraha, Ari, y Paul Keller. «Revealing indigenous indonesian traditional medicine: Antiinfective agents.» *NPC Natural Product Communications* 6, n° 12 (2011): 1953-1966.
- OGTR. «The biology and ecology of *Rosa x hybrida* (Rose).» Australian Government. Department of Health and Ageing Office of the Gene Technology Regulator (OGTR), 2005: 1-18.
- Ojo, O, A Ojo, B Ajiboye, I Olayide, y A Fadaka. «*Helianthus annuus* leaf ameliorates postprandial hyperglycaemia by inhibiting carbohydrate hydrolyzing enzymes associated with type-2 diabetes.» *Iranian Journal of Toxicology* 10, n° 5 (2016).
- Ojurongbe, O, J Ojo, D Adefokun, O Abiodun, G Odewale, y E Awe. «In vivo antimalarial activities of *russelia equisetiformis* in plasmodium berghei infected mice.» *Indian Journal of Pharmaceutical Sciences* 77, n° 4 (2015): 504-510.
- Okada, Y, M Okita, Y Murai, y Y Okana. «Isolation and identification of flavonoids from *Coreopsis lanceolata* L. petals.» *Journal Natural Product Research* 28, n° 3 (2014).
- Olaru, O, A Anghel, V Istudor, R Ancuceanu, y M Dinu. «Contributions to the pharmacognostical and phytobiological study of *Fallopia aubertii* (L. Henry) Holub. (Polygonaceae).» *Farmacia* 61, n° 5 (2013): 991-999.
- Olivoto, Tiago, y otros. «Plant secondary metabolites and its dynamical systems of induction in response to environmental factors: A review.» *African Journal of Agricultural Research* 12, n° 21 (2017): 71-84.
- Olsen, Kristine, y otros. «Temperature and nitrogen effects on regulators and products of the flavonoid pathway: experimental and kinetic model studies.» *Plant Cell and Environment* 32, n° 3 (2009): 286-299.
- Oumzil, H, y otros. «Antibacterial and antifungal activity of essential oils of *Mentha suaveolens*.» *Phytotherapy Research* 16, n° 8 (2002): 727-731.
- Ozbahce, A., y A. Tari. «Effects of different emitter space and water stress on yield and quality of processing tomato under semi-arid climate conditions.» *Agriculture Water Manage* 97 (2010): 1405-1410.
- Pan, Qifang, y otros. «Investigation of the chemomarkers correlated with flower colour in different organs of *Catharanthus roseus* using NMR-based metabolomics.» *Phytochemical Analysis* 25, n° 1 (2014): 66-74.
- Park, Kyung, y otros. «Adsorption characteristics of gardenia yellow as natural photosensitizer for dye- sensitized solar cells.» *Dyes and Pigments* 96, 2013: 595-601.

- Park, Me-Hea, Peerapong Sangwanangkul, y Dong-Ryeol Baek. «Changes in carotenoid and chlorophyll content of black tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.) during storage at various temperatures.» Saudi Journal of Biological Sciences, 2016.
- Parvu, A, M Parvu, L Vlase, P Miclea, A Mot, y R Silaghi-Dumitrescu. «Antiinflammatory effects of *Allium Schoenoprasum* L. Leaves.» Journal Physiol Pharmacol 65, n° 2 (2014): 309-315.
- Pasantin, A, y P Pripdeevech. «Constituents, antibacterial and antioxidant activities of essential oils from *Trachelospermum jasminoides* flowers.» Natural Product Communications 9, n° 12 (2014): 1791-1794.
- Patané, Cristina, Simona Tringali, y Orazio Sortino. «Effects of deficit irrigation on biomass, yield, water productivity and fruit quality of processing tomato under semi-arid Mediterranean climate conditions.» Scientia Horticulturae 129, 2011: 590-596.
- PCE. PCE Instruments UL Ltd. 28 de Diciembre de 2016. www.industrial-needs.com.
- Pearce, B, R Grange, y K Hardwick. «The growth of young tomato fruit. I. Effects of temperature and irradiance on fruit grown in controlled environments.» Journal of Horticultural Science 68 (2015): 1-11.
- Peet, M. «Fruit cracking in tomato.» Hort Technology 2, n° 2 (1992): 216-223.
- Pérez, J, y J Martínez. Biotecnología del azafrán. Vol. 31. Universidad de Castilla La Mancha, 2000.
- Pernice, Rita, y otros. «Antioxidants profile of small tomato fruits: Effect of irrigation and industrial process.» Scientia Horticulturae 126 (2010): 156-163.
- Perveen, Rashida, Hafiz Rasul, Faquir Anjud, Masood Butt, Imran Pasha, y Sarfraz Ahmad. «Tomato (*Solanum lycopersicum*) carotenoids and lycopenes chemistry; Metabolism, absorption, nutrition, and allied health claims - A comprehensive review.» Critical Reviews in Food Science and Nutrition 55 (2015): 919-929.
- Petrova, Ivanka, Nadezhda Petkova, y Ivan Ivanov. «Five edible flowers-valuable source of antioxidants in human nutrition.» International Journal of Pharmacognosy and Phytochemical Research 8, n° 4 (2016): 604-610.
- Pillai, Sneha, y S Mini. «Polyphenols rich *Hibiscus rosa sinensis* Linn. petals modulate diabetic stress signalling pathways in streptozotocin-induced experimental diabetic rats.» Journal of Functional Foods 20 (2016): 31-42.
- Pintea, Adela, Constantin Bele, Sanda Andrei, y Carmen Socaciu. «HPLC analysis of carotenoids in four varieties of *Calendula officinalis* L. flowers.» Acta Biologica Szegediensis 47, 2003: 37-40.
- Pliego, Naremi. Catálogo de plantas medicinales del Jardín Botánico del Instituto de Biología. México: TLAHUI A. C., 2011.
- Poiroux-Gonord, Florine, Luc Bidet, Anne Fanciullino, Helene Gautier, Felicie Lauri-Lopez, y Laurent Urban. «Health benefits of vitamins and secondary metabolites of fruits and vegetables and prospects to increase their concentrations by agronomic approaches.» Journal of Agricultural and Food Chemistry 58 (2010): 12065-12082.
- Pooja, A, y otros. «Antimicrobial activity of ethno-medicinal plants against cariogenic pathogens.» Journal of Medicinal Plants Studies 4, n° 3 (2016): 283-290.

- Popescu, Ruxandra, y Brigitte Kopp. «The genus *Rhododendrom*: An ethnopharmacological and toxicological review.» *Journal of Ethnopharmacology* 47 (2013): 42-62.
- Prasad, Amrita, K Krishnaveni, K Neha, y T Neethu. «A review on management of common Oleander and yellow Oleander poisoning.» *World Journal of Pharmacy and Pharcautical Sciences* 5, nº 12 (2016): 493-503.
- Preethi, P. «Herbal medicine for diabetes mellitus: A Review.» *International Journal of Phytopharmacy* 3, nº 1 (2013): 01-22.
- Prior, R. «Fruits and vegetables in the prevention of cellular oxidative damage.» *The American journal of clinical nutrition* 78, nº 3 (2003): 570S-578S.
- Prohens, J, R Miro, A Rodriguez-Burruezo, S Chiva, G Verdu, y F Nuez. «Temperature, electrolyte leakage, ascorbic acid content and sunscald in two cultivars of pepino, *Solanum muricatum*.» *Journal Horticultural and Science Biotechnology* 79 (2004): 375-379.
- Proietti, P, L Nasini, and F Famiani. "Effect of different leaf-to-fruit ratios on photosynthesis and fruit growth in olive (*olea europaea* L.)." *Photosynthetica* 44 (2006): 275-285.
- Puntieri, Javier, Nuria Gatica, y Javier Grosfeld. «Flower removal increases rhizome mass in natural populations of *Alstroemeria aurea* (*Alstroemeriaceae*).» *Flora* 209 (2014): 332-339.
- Quadir, M, M Hickey, A Boulton, y R Hoogers. «Accumulation of total soluble solids in processing tomatoes.» In IX Intenational Symposium on the Processing Tomato 724 (2004): 97-102.
- Rafter, J. «Scientific basis of biomarkers and benefits of functional foods for reduction of disease risk: cancer.» *British Journal of Nutrition* 88, nº S2 (2002): S219-S224.
- Rahman, Habibur, Puramsetti Priyanka, Thumma Lavanya, Nukabathini Srilakshmi, y Payili Kumar. «A review on ethnobotany, phytochemisrty and pharmacology of *Citrullus Lanatus* L.» *International Research Journal of Pharmaceutical and Applied Sciences (IRJPAS)* 3, nº 2 (2013): 77-81.
- Raiola, Assunta, Rita Del-Giudice, Daria Monti, Gian Tenore, Amalia Barone, y María Rigano. «Bioactive compound content and cytotoxic effect on human cancer cells of fresh and processed yellow tomatoes.» *Journal Molecules* 21 (2015): 33.
- Rakjapoor, Balasubramanan, Z Burkan, y R Kumar. «Oxidants and human diseases: Role of antioxidant medicinal plants-A review.» *Pharmacologyonline* 1 (2010): 117-1131.
- Ramadan, Basma, Mona Schaalán, y Amina Tolba. «Hypoglycemic and pancreatic protective effects of *Portulaca oleracea* extract in alloxan induced diabetic rats.» *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 2017.
- Ramos-Bueno, R, M Rincón-Cervera, M González-Fernández, y J Guil-Guerrero. «Phytochemical composition and antitumor activities of new salad greens: *Rucola* (*Diplotaxis tenuifolia*) and corn salad (*Valerianella locusta*).» *Plant Foods for Human Nutrition* 71, nº 2 (2016): 197-203.
- Ramos-Fernández, J, V López-Morales, F Lafon, G Enea, y J Duplaix. «A neurofuzzy structure modelling evapotranspiration in a greenhouse crop.» *Ingeniería Investigación y Tecnología* XI, nº 2 (2009).

- Ranjarisoa, Lala, Noeline Razanamihaja, y Herintsoa Rafatro. «Use of plants in oral health care by the population of Mahajanga, Madagascar.» *Journal of Ethnopharmacology* 193 (2016): 179-194.
- Rashed, K, R Medda, D Spano, y F Pintus. «Evaluation of antioxidant, antityrosinase potentials and phytochemical composition of four Egyptian plants.» *International Food Research Journal* 23 (2016): 203-210.
- Rashed, Khaled, y otros. «Potent antiviral activity of *Solanum rantonnetii* and the isolated compounds against hepatitis C virus in vitro.» *Journal of Functional Foods* 11 (2014): 185-191.
- Rawson, Howard, y Helena Gómez. «Explicaciones sobre el desarrollo de la planta.» En *Agricultura y la Alimentación*. Trigo Regado, de Howard Rawson y Helena Gómez, Sección 6. Roma: FAO, 2001.
- Regal, P., A Amorim, y Fente, C Cepeda. «Review of methods for analysis of carotenoids.» *Trends in Analytical Chemistry*, 2014.
- Reyhan, A, E Kupeli, y F Ergun. «The biological activity of *Centaurea L.* species.» *Gazi University Journal of Science* 17, nº 4 (2004): 149-164.
- Rhodes, M, y L Woollorton. *The biosynthesis of phenolic compounds in wounded plant storage tissues*. Kahl, G: De Gruyter W., 1978.
- Riaz, Atif, y otros. «Effect of drought stress on growth and flowering of marigold (*Tagetes erecta L.*)» *Pakistan Journal of Botany* 45, 2013: 123-131.
- Ripoll, Julie, Laurent Urban, Béatrice Brunel, y Nadia Bertin. «Water deficit effects on tomato quality depend on fruit developmental stage and genotype.» *Journal of Plant Physiology* 190 (2016): 26-35.
- Roberfroid, M. «Global view on functional foods: European perspectives.» *British Journal of Nutrition* 88, nº S2 (2002): S133-S138.
- Rodríguez-Amaya, Delia. *A guide to carotenoid analysis in foods*. Washington: Estados Unidos, 2001.
- Rodríguez-Amaya, Delia. *Carotenoids and food preparation: the retention of provitamin A carotenoids in prepared, processed and stored foods*. Washington, D.C., Estados Unidos: OMNI/USAID, 1997.
- Rodríguez-Amaya, Delia. «Latin American food sources of carotenoids.» *Archivos Latinoamericanos de nutrición*. Organó Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición vol. 49, 1999: 11.
- Rodríguez-Amaya, Delia, Mieko Kimura, Helena Godoy, y Jaime Amaya-Farfan. «Updated Brazilian database on food carotenoids: Factors affecting carotenoid composition.» *Journal of Food Composition and Analysis (Journal of Food Composition and Analysis)* 21 (2008): 445-463.
- Rosales, Miguel. *Producción y calidad nutricional en frutos de tomate cherry cultivados en dos invernaderos mediterráneos experimentales: Respuesta metabólica fisiológicas*. Granada: Universidad de Granada. Facultad de Ciencias. Tesis Doctoral, 2008.
- Rugna, A., R. Ricco, A. Gurni, y M. Wagner. «Variation in leaves polyphenol content in *Smilax campestris* Griseb. (Smilacaceae) according to their development.» *Latin American Journal of Pharmacy* 27 (2008): 247-249.

- Ruiz, Antonieta, y otros. «Hydroxycinnamic acids and flavonols in native edible berries of South Patagonia.» *Food Chemistry* 167 (2015): 84-90.
- Saeedi, R, N Etemadi, A Nikbakht, A Khoshgoftarmanesh, y M Sabzalian. «Calcium chelated with amino acids improves quality and postharvest life of *Lisianthus* (*Eustoma grandiflorum* cv. Cinderella Lime).» *HortScience* 50, n° 9 (2015): 1394-1398.
- Sahib, Najla, Farroq Anwar, Anwarul Gilani, Azizah Hamid, Nazamid Saari, y Khalid Alkharfy. «Coriander (*Coriandrum sativum* L.): A potential source of high-value components for functional foods and nutraceuticals-A review.» *Phytotherapy Research* 27, n° 10 (2013): 1439-1456.
- Saito, Takeshi, y otros. «Salinity stress affects assimilate metabolism at the gene-expression level during fruit development and improves fruit quality in tomato (*Solanum lycopersicum* L.).» *Journal of the Japanese Society for Horticultural Science* 77, n° 1 (2008): 61-68.
- Sánchez-Rodríguez, Eva, Juan Ruiz, Federico Ferreres, y Diego Moreno. «Phenolic profiles of cherry tomatoes as influenced by hydric stress and rootsck technique.» *Food Chemistry* 134 (2012): 775-782.
- Sánchez-Rodríguez, Eva, Rubio Wiheimi, B. Blanco, C. Constán, L. Romero, y J. Ruiz. «Variation in the use efficiency of N under moderate water deficit in tomato plants (*Solanum lycopersicum*) differing in their tolerance to drought.» *Acta Physiol Plant* 33, 2011: 1861-1865.
- Sánchez-Rodríguez, R., R. Leyva, C. Constán-Aguilar, L. Romero, y J. Ruiz. «Grafting under water stress in tomato cherry: improving the fruit yield and quality.» *Annals of Applied Biology* ISSN 0003-4746 (Department of Plant Physiology, Faculty of Sciences, University of Granada, Granada, Spain), n° 3 (2012): 1-11.
- Sandhya, D, G Sowjanya, K Laxmi, y M Sulakshana. «Edible flowers-A Review article.» *International Journal of Advanced Research in Science and Technology* 3 (2014): 51-57.
- Saraswanthi, J, K Venkatesh, Nirmala Baburao, M Hilal, y A Rani. «Phytopharmacological importance of *Pelargonium* species.» *Journal of Medicinal Plants Research* 5, n° 13 (2011): 2587-2598.
- Sathasivampillai, Saravanan, Pholtan Rajamanoharan, y Michael Munday. «Plants used to treat diabetes in Sri Lankan Siddha Medicine-An ethnopharmacological review of historical and modern sources.» *Journal of Ethnopharmacology*, 2016.
- Satorres, S, A Chiaramello, C Tonn, y A Laciari. «Antibacterial activity of organic extracts from *Zinnia peruviana* (L.) against gram-positive and gram-negative bacteria.» *Journal of Food and Agriculture* 24 (2012): 344-347.
- Schellenberg, R. «Treatment for the premenstrual syndrome with agnus castus fruit extract: prospective, randomised, placebo controlled study.» *Institute for Health Care and Science* 322 (2001): 134-137.
- Schmitzer, Valentina, Robert Veberic, Gregor Osterc, y Franci Stampar. «Changes in the phenolic concentration during flower development of rose 'KORcrisett'.» *Journal of the American Society for Horticultural Science* 134, n° 5 (2009): 491-496.
- Schutz, Katrin, Reinhold Carle, y Andreas Schieber. «*Taraxacum*-A review on its phytochemical and pharmacological profile.» *Journal of Ethnopharmacology* (107), 2006: 313-323.

- Sepaskhah, A, y S Ahmadi. «A Review on Partial Root-Zone Drying Irrigation.» *International Journal of Plant Production* 4, n° 4 (2010).
- Serkedjievaa, J, N Manolova, I Zgorniak-Nowosielska, B Zawilinska, y J Grzybek. «Antiviral activity of the infusion (SHS-174) from flowers of *Sambucus nigra* L., aerial parts of *Hypersicum perforatum* L. and roots fo *Saponaria officinalis* L. against influenza and herpes simplex viruses.» *Phytotherapy Research* 4 (1990): 97-100.
- Seroczynska, Anna, Aleksandra Korzeniewska, Joanna Sztangret, Katarzyna Niemirowicz, y Marek Gajewski. «Relationship between carotenoids content and flower or fruit flesh colour of winter squash (*Cucurbita maxima* Duch).» *Horticultrae* 18/1, 2006: 51-61.
- Serrano, Zoilo. *Prontuario del cultivo de tomate*. España: Junta de Andalucía. Consejería de Agricultura y Pesca, 2014.
- Serrano-Ríos, M, A Sastre-Gallego, y J Cobo-Sanz. *Tendencias en alimentos funcionales: temas seleccionados*. Madrid: YouUs, 2005.
- Shahidi, Fereidoon, y Marian Naczsk. *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. U.S.: CRC Press Taylor and Francis Group, 2004.
- Shahidi, Fereidoon, y Priyatharini Ambigaipalan. «Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effect-A review.» *Journal of Functiional Foods* 18 (2015): 820-897.
- Shao, Guang-Cheng, Zhan-Yu Zhang, Na Liu, Shuang-En Yu, y Weng-Gang Xing. «Comparative effects of deficit irrigation (DI) and partial rootzone drying (PRD) on soil water distribution, water use, growth and yield in greenhouse grown hot pepper.» *Scientia Horticulturae* 119 (2008): 11-16.
- Sharma, Kriti, Akshita Pareek, y Ekta Chauhan. «Evaluation of Hyperglycemic and Hyperlipidemic Mitigating Impact of *Hibiscus Rosa Sinensis* (Gudhal) Flower in Type II Diabetes Mellitus Subjects.» *International Journal of Applied Biology and Pharmaceutical Technology* 7, n° 2 (2016).
- Sies, H, C Berndt, y D Jones. «Oxidative stress.» *Annual Review of Biochemistry* 86, n° 1 (2017).
- Sikarwar, Mukesh, Lee Chung, Lo Ting, Lim Chee, Shivkanya Fuloria, y Kaveti Balaji. «Phytochemical constituents and pharmacological activities of *Lagerstroemia floribunda* Jack. (Kedah bungor): A Review.» *Journal of Applied Pharmaceutical Science* 6 (2016): 185-190.
- Silveira-Rodríguez, M, S Monereo-Megías, y B Molina-Baena. «Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos?» *Rev. Esp. Salud Pública* 77 (2003): 317-331.
- Singab, A, H El-Hefnawy, y D El-Kolobby. «Biological studies concerning the antioxidant and antimicrobial activities of *Pelargonium* species cultivated in Egypt (Family-Geraniaceae).» *International Current Pharmaceutical Journal* 4, n° 2 (2015): 340-342.
- Singh, Pratap, Rajendra Singh, Nitin Sati, y Om Sati. «Antioxidant, antibacterial and antifungal activity of *Impatiens sulcata* Wallich in Roxb. extracts.» *International Journal of Life Sciences Scientific Research* 2, n° 6 (2016): 671-677.
- Siriamornpun, Sirithon, Onanong Kaisoon, y Naret Meeso. «Changes in colour, antiocidant activities and carotenoids (lycopene, B-carotene, lutein) of marigold flower

(*Tagetes erecta* L.) resulting from different drying processes.» *Journal of Functional Foods* 4 (2012): 757-766.

- Slimestad, Rune, y Michel Verheul. «Review of flavonoids and other phenolics from fruits of different tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cultivars.» *Journal Science Food Agriculture* 89 (2009): 1255-1270.
- Soichi, A, y otros. «A mainstay of functional food science in Japan-history, present status, and future outlook.» *Bioscience, Biotechnology, and Biochemistry* 65, nº 1 (2001): 1-13.
- Sotelo, Tamara, María Cartea, Pablo Velasco, y Pilar Soengas. «Identification of antioxidant capacity related QTLs in *Brassica oleracea*.» *PLOS ONE* 9, 2014: 1-9.
- Srinivasan, Krishnapura. «Biological activities of red pepper (*Capsicum annum*) and its pungent principle capsaicin: A review.» *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 56, nº 9 (2016): 1488-1500.
- Srivastava, R, H Ahmed, y R Dixit. «*Crocus sativus* L.: A comprehensive review.» *Pharmacognosy Reviews* 4, nº 8 (2010): 200.
- Stafford, Gary, Mikael Pedersen, Johannes Staden, y Anna Jager. «Review on plants with CNS-effects used in traditional South African medicine against mental diseases.» *Journal of Ethnopharmacology* 119 (2008): 513-537.
- Stakhova, L., V. Ladygin, y L. Stakhov. «The effect of quercetin on the accumulation of carbohydrates and amino acids in tomato fruits.» *Russian Journal of Plant Physiology* (48), 2001: 160-164.
- Steidle, Antonio, Sérgio Zolnier, y Aparecido Waldir. «Tranpiracao do tomateiro cultivado em substrato e sua influencia na fracao lixiviada e na conductividade electrica da solucao nutritiva drenada.» *Acta Scientiarum Agronomy*, 2010: DOI:10.4025/actasciagron.v32i4.3246.
- Stewart, A, S Bozonnet, W Mullen, G Jenkins, M Lean, y A Crozier. «Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-base products.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 48, nº 7 (2000): 2663-2669.
- Stinco, Carla. Nuevos estudios sobre el color, la bioaccesibilidad y actividad antioxidante de carotenoides en alimentos vegetales. Sevilla: Universidad de Sevilla. Tesis doctoral, 2012.
- Stinco, Carla, Ana Benítez-González, Dolores Hernanz, Isabel Vicario, y Antonio Meléndez-Martínez. «Development and validation of a rapid resolution liquid chromatography method for the screening of dietary plant isoprenoids: Carotenoids, tocopherols and chlorophylls.» *Journal of Chromatography A* 370 (2014): 162-170.
- Stinco, Carla, Francisco Heredia, Isabel Vicario, y Antonio Meléndez. «In vitro antioxidant capacity of tomato products: Relationships with their lycopene, phytoene, phytofluene and alpha-tocopherol contents, evaluation of interactions and correlation with reflectance measurements.» *LWT - Food Science and Technology* 65, 2016: 718-724.
- Stinco, Carla, Francisco Rodríguez, María Escudero, Belén Gordillo, Isabel Vicario, y Antonio Meléndez. «Lycopene isomers in fresh and processed tomato products: Correlations with instrumental color measurements by digital image analysis and spectroradiometry.» *Food Research International* 50, 2013: 111-120.

- Subramanian, P, P Rao, P Sudhakar, S Reddy, y P Reddy. «Pharmacognostic evaluation of *Heliotropium peruvianum* L.: A homoeopathic drug.» *Indian Journal of Research in Homoeopathy* 7, nº 3 (2017).
- Sugawara, Tetuya, y Kiharu Igarashi. «Identification of major flavonoids in petals of edible *Chrysanthemum* flowers and their suppressive effect on carbon tetrachloride-induced liver injury in mice.» *Food Science and Technology Research* 15, nº 5 (2009): 499-506.
- Szkudelska, K, M Szumacher-Strabel, J Szczechowiak, y M Bryszak. «The effect of triterpenoid saponins from *Saponaria officinalis* on some blood hormones, metabolic parameters and fatty acid composition in dairy cows.» *The Journal of Agricultural Science* 154, nº 3 (2016): 532-541.
- Taiz, Lincoln, y Eduardo Zeiger. *Fisiología Vegetal*. Vol. 1. U.S.A.: Universitat Jaume I, 2006.
- Takashi, Maoka, Tetsuji Etoh, Sanae Kishimoto, y Syusaku Sakata. «Carotenoids and their fatty acid esters in the petals of *Adonis aestivalis*.» *Journal of Oleo Science* 60, nº 2 (2011): 47-52.
- Tanaka, Yoshikazu, Nobuhiro Sasaki, y Akemi Ohmiya. «Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids.» *The Plant Journal* 54 (2008): 733-749.
- Tang, Ying, Hai-liang Xin, y Mei-li Guo. «Review on research of the phytochemistry and pharmacological activities of *Celosia argentea*.» *Revista Brasileira de Farmacognosia* 26 (2016): 787-796.
- TERRAIN. *Osteospermum fruticosum* (Dimorphotheca). 11 de 06 de 2017. <http://www.terrain.net.nz/friends-of-te-henui-group/exotic-trees/osteospermum-fruticosum-dimorphotheca.html>.
- Tlili, Nizar, Nizar Nasri, Esseddine Saadaoul, Abdelhamid Khaldi, y Saida Triki. «Carotenoid and tocopherol composition of leaves, buds, and flowers of *Capparis spinosa* grown wild in Tunisia.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 57 (2009): 5381-5385.
- Tomás-Barberán, F, y J Espin. «Phenolic compounds and related enzymes as determinants of quality in fruits and vegetables.» *Journal of the Science of Food and Agriculture* 81, nº 9 (2001): 853-876.
- Tshabalala, Bongani, Kazeem Alayande, Saheed Sabiu, y Anofi Ashafa. «Antimicrobial and anthelmintic potential of root and leaf extracts of *Gazania krebsiana* Less. subsp. *serrulata* (DC.) Roessler: An in vitro assesment.» *European Journal of Integrative Medicine* 8 (2016): 533-539.
- Uddin, Riaz, y otros. «HPLC-analysis of polyphenolic compounds in *Gardenia jasminoides* and determination of antioxidant activity by using free radical scavenging assays.» *Advanced Pharmaceutical Bulletin* 4, nº 3 (2014): 273-281.
- UDV. Herbario virtual de medicina occidental Comunidad Valenciana. Universidad de Valencia. 29 de Enero de 2017. <http://herbarivirtual.uib.es/cas-uv/especie/5924.html>.
- Umamaheswari, A, R Shreevidya, y Aparna Nuni. «In vitro antibacterial activity of *Bougainvillea spectabilis* leaves extracts.» *Advances in Biological Research* 2 (2008): 01-05.

- USDA. «Color classification requirements in United States Standards for grades of fresh tomatoes.» United States, United Fresh Fruit and Vegetable Association, Agricultural Marketing Service, Fruit and Vegetable Division, 1975.
- Van-Die, M, H Burger, H Teede, y K Bone. «Vitex agnus-castus extracts for female reproductive disorders: a systematic review of clinical trials.» *Planta Medica* 79, nº 7 (2013): 562-575.
- Van-Wyk, B. «A review of commercially important African medicinal plants.» *Journal of Ethnopharmacology* 176 (2015): 118-134.
- Veale, D, I Havlik, D Oliver, y T Dekker. «Pharmacological effects of *Agapanthus africanus* on the isolated rat uterus.» *Journal of Ethnopharmacology* 66 (1999): 257-262.
- Vega, José, y Luis Romero. XIII Reunión de la Sociedad Española de Fisiología Vegetal. Sevilla: Universidad de Sevilla, 1999.
- Vergani, Rubén. «*Lycopersicum esculentum*: una breve historia del tomate.» *Revista Horticultura* 158 (2002): <http://www.horticom.com/pd/imagenes/50/956/50956.pdf>.
- Verheul, Michel, Rune Slimestad, y Irene Holta. «From producer to consumer: Greenhouse tomato quality as affected by variety, maturity stage at harvest, transport conditions, and supermarket storage.» *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 63 (2015): 5026-5034.
- Verschuren, P. «Functional foods: Scientific and global perspectives.» *British Journal of Nutrition* 88 (2002): S125-S130.
- Villalba, Eustaquio. El cultivo del tomate en Tenerife y Gran Canaria. España: IDEA, 2007.
- Vinha, Ana, Rita Alves, Sérgio Barreira, Ana Castro, y Anabela Costa. «Effect of peel and seed removal on the nutritional value and antioxidant activity of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruits.» *LWT - Food Science and Technology* 55 (2014): 197-202.
- Vini, Ravindran, y Sreeharshan Sreeja. «*Punica granatum* and its therapeutic implications on breast carcinogenesis: A review.» *BioFactors* 41, nº 2 (2015): 78-89.
- Vivar-Evans, Susana, Víctor Barradas, María Sánchez-Coronado, Alicia Gamboa, y Alma Orozco-Segovia. «Ecophysiology of seed germination of wild *Dahlia coccinea* (Asteraceae) in a spatially heterogeneous fire-prone habitat.» *Acta Oecologica* 29, nº 2 (2006): 187-195.
- Voung, Quan, y otros. «Phenolic compounds, antioxidant and anticancer properties of the Australian Maroon Bush *Scaevola spinescens* (Goodeniaceae).» *Bioanalysis and Biomedicine*, 2014.
- Walfisch, Y, S Walfisch, R Agbaria, J Levy, y Y Sharoni. «Lycopene in serum, skin and adipose tissues after tomato-oleoresin supplementation in patients undergoing haemorrhoidectomy or perianal fistulotomy.» *British Journal of Nutrition* 90, nº 4 (2003): 759-766.
- Wang, C, L Chen, y L Yang. «Antitumor activity of four macrocyclic ellagitannins from *Cuphea hyssopifolia*.» *Cancer letters* 140, nº 1 (1999): 195-200.
- Wang, Feng, Miao Miao, Hui Xia, Li-Gang Yang, Shao-Kang Wang, y Gui-Ju Sun. «Antioxidant activities of aqueous extracts from 12 Chinese edible flowers in vitro and in vivo.» *Food and Nutrition Reserarch* 61, nº 1 (2016): 1265324.

- Wang, Feng, Shaozhong Kang, Taisheng Du, Fusheng Li, y Rangjian Qiu. «Determination of comprehensive quality index for tomato and its response to different irrigation treatments.» *Agricultural Water Management* 98, n° 8 (2011): 1228-1238.
- Wessinger, Carolyn. «A genetic route to yellow flowers. Commentary.» *New Phytologist* 206 (2015): 1193-1195.
- Whitley, Glenn. «The medicinal and nutritional properties of *Dahlia* spp.» *Journal of Ethnopharmacology* 14, n° 1 (1985): 75-82.
- Wilcox, J, G Catignari, y S Lazzarus. «Tomatoes and cardiovascular health.» *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 43 (2003): 1-18.
- Wongwattanasathien, O, K Kangsadalampai, y L Tongyongk. «Antimutagenicity of some flowers grown in Thailand.» *Food and Chemical Toxicology* 48 (2010): 1045-1051.
- Wu, Liang-Yu, Hong-Zhou Gao, Xun-Lei Wang, Jian-Hui Ye, Jian-Liang Lu, y Yue-Rong Liang. «Analysis of chemical composition of *Chrysanthemum indicum* flowers by GC/MS and HPLC.» *Journal of Medicinal Plants research* 4, n° 5 (2010): 421-426.
- Wyszecski, G, y W Stiles. *Color science. Concepts and methods. Quantitative data and formulae.* Vol. 2 edición. Nueva York, Estados Unidos: John Wiley and Sons, Inc, 1982.
- Xiukang, Wang, y Xing Yingying. «Evaluation of the effect of irrigation and fertilization by drip fertigation on tomato yield and water use efficiency in greenhouse.» *International Journal of Agronomy* ID 3961903 (2016): 10.
- Xu, Dong, Jie Zheng, Yue Zhou, Ya Li, Sha Li, y Hua Li. «Ultrasound-assisted extraction of natural antioxidants from the flower of *Limonium sinuatum*: Optimization and comparison with conventional methods.» *Food Chemistry* 217 (2017): 552-559.
- Xu, Dong, y otros. «Natural antioxidants in foods and medicinal plants: Extraction, assesment and resources. Review.» *International Journal of Molecular Sciences* 18 (2017): 2-32.
- Yang, Jianming, y Guo Lizhong. «Biosynthesis of beta-caroteno in engineered *E. coli* using the MEP and MVA pathways.» *Microbial Cell Factories*, 2014: 13.
- Yasunaka, Kakuko, y otros. «Antibacterial activity of crude extracts from Mexican medicinal plants and purified coumarins and xanthenes.» *Journal of Ethnopharmacology* 97 (2005): 293-299.
- Yeager, Selene. *La guía médica de remedios alimenticios: desde el aguacate hasta las zanahorias, expertos en la nutrición revelan qué debe comer para prevenir y tratar más de 100 enfermedades.* Estados Unidos de América: Prevention, 2001.
- Yoon, Hyungeun. «Effects of aging on the phenolic content and antioxidant activities of magnolia (*Magnolia denudata*) flower extracts.» *Food Science and Biotechnology* 23, n° 5 (2014): 1715-1718.
- Yoon, S, K Lee, D Kim, D Hwang, y K Won. «Effect of absolute from *Hibiscus syriacus* L. flower on wound healing in keratinocytes.» *Pharmacognosy Magazine* 13, n° 49 (2017): 85-89.
- Yu, Bo, Genfa Zhu, y Yingbo Sun. «A study on the sensibility of embryogenic suspension cells of *Anthurium andraeanum* to two antibiotics.» *Agricultural Biotechnology* 4, n° 2 (2015): 8-11.

- Zegbe, J, M Behboudian, y B Clothier. «Responses of 'Petopride' processing tomato to partial rootzone drying at different phenological stages.» *Irrigation Science* 24, n° 3 (2006): 203-210.
- Zhang, H, Z Wang, y P Xia. «Rugao area *Pterocarya stenoptera* leaves tannin extraction technology research.» *Advanced Materials Research*, 2014.
- Zhang, Jinxia, Ziyong Cheng, Xiaoli Li, Rui Zhang, y Aizhuo Li. «Regulated deficit irrigation effects on tomato growth and irrigation water use efficiency.» *Hydraulic Engineering, 2012 Sree Conference on Hydraulic Engineering and 2nd Sree Workshop on Environment and Safety Engineering*, 2013: 139-144.
- Zhang, Juanmei, Xin Rui, Li Wang, Ying Guan, Xingmin Sun, y Mingsheng Dong. «Polyphenolic extract from *Rosa rugosa* tea inhibits bacterial quorum sensing and biofilm formation.» *Food Control*, n° 42 (2014): 125-131.
- Zhen, Jing, y otros. «Phytochemistry, antioxidant capacity, total phenolic content and antiinflammatory activity of *Hibiscus sabdariffa* leaves.» *Food Chemistry* 190 (2016): 673-680.
- Zhen-Gang, Wang, y Ren Jun. «Current status and future direction of Chinese herbal medicine.» *TRENDS in Pharmacological Sciences* 23, n° 8 (2002).
- Zhu, Changfu, y otros. «The regulation of carotenoid pigmentation in flowers.» *Archives of Biochemistry and Biophysics* 504 (2010): 132-141.
- Zielinska, Sylwia, y Adam Matkowski. «Phytochemistry and bioactivity of aromatic and medicinal plants from the genus *Agastache* (Lamiaceae).» *Phytochemistry Reviews* 13 (2014): 391-416.