



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

Ingeniero Técnico Agrícola.
Especialidad Explotaciones Agropecuarias.

**Estudio de la influencia de factores pre- y
poscosecha en la calidad y vida útil del tomate
tipo Raf**

Alumno:

D. Indalecio Jesús Rueda Castillo.

Almería, abril de 2013

Directores:

Dra. D^a. Irene Domínguez Pérez.

Dr. D. Fernando Diánez Martínez.



ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR Y FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

DATOS PERSONALES

Autor: INDALECIO JESÚS RUEDA CASTILLO

DATOS DEL TRABAJO FIN DE CARRERA

Título del TFC: ESTUDIO DE LA INFLUENCIA DE FACTORES PRE- Y POSCOSECHA EN LA CALIDAD Y VIDA ÚTIL DE TOMATE TIPO RAF.

Lugar de realización del trabajo: INSTITUTO DE INVESTIGACIÓN Y FORMACIÓN AGRARIA Y PESQUERA. CENTRO IFAPA LA MOJONERA (ALMERÍA).

Fecha de lectura: 2013.

Titulación: INGENIERÍA TÉCNICA AGRÍCOLA (PLAN 2000).

Especialidad: EXPLOTACIONES AGROPECUARIAS.

Director académico: Dr. FERNANDO DIÁNEZ MARTÍNEZ.

Director experimental: Dra. IRENE DOMÍNGUEZ PÉREZ.

RESUMEN

Dentro de las variedades de tomate que se producen en Almería, el tomate Raf destaca por su excelente calidad organoléptica. Este fruto es considerado el pata negra de los tomates, posicionándose hasta ser una referencia por su inconfundible sabor.

El objetivo general de este trabajo es la búsqueda de estrategias que permitan mejorar la calidad de tomate tipo Raf así como prolongar su vida útil, facilitando así la comercialización y exportación de esta variedad de tomate.

Para conocer la influencia que los distintos tratamientos ejercen sobre la calidad y vida útil de las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) se han determinado parámetros de calidad físico-químicos y sensoriales así como el contenido de licopeno.

Para un primer ensayo se ha llevado a cabo la conservación de frutos de origen comercial a 10, 13 y 20 °C. A 10 °C los frutos no experimentaron daños por frío, resultando la temperatura más idónea para su conservación durante un periodo de tiempo prolongado (7 días a 10 °C + 3 días a 20 °C).

Como segundo ensayo se evaluó la influencia que la CE en la solución nutritiva (≈ 4 y $7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) y el aporte de CO_2 (370 y $550 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) ejercen sobre la calidad y vida útil en tomates tipo Raf (cv. Delizia), durante su conservación a 20 °C. Los frutos en estudio fueron suministrados por el grupo de Producción Agraria del centro IFAPA La Mojonera. Un aumento de la CE de la solución nutritiva ejerció un efecto positivo en la calidad del tomate tipo Raf (cv. Delizia), sin embargo este efecto se vio afectado en gran medida por la concentración de CO_2 presente durante el cultivo de los frutos. Los tomates tratados con una mayor CE y sin aporte de CO_2 resultaron frutos más firmes, con un mayor contenido en SST, ácido cítrico y licopeno así como una mayor vida útil.

Para concluir este trabajo, se ha realizado un tercer ensayo acerca de la actividad respiratoria y la tasa de emisión de etileno, las cuales se vieron afectadas por la temperatura de conservación (10 y 20 °C) y los factores precosecha en estudio. La determinación de estos parámetros en un sistema estático permitió el empleo de un modelo matemático a partir del cual se determinó la concentración de O_2 óptima para la conservación de los frutos, así como las características del film a emplear.

ABSTRACT

Of the tomato varieties produced in Almeria, the Raf tomato stands out for its excellent organoleptic quality. This fruit is considered the “pata negra” of tomatoes, positioning itself as a reference for its unmistakable flavour.

The general objective of this work is the search for strategies that allow for the improving of Raf type tomatoes’ quality as well as the prolonging of its shelf-life in order to facilitate the commercialisation and exportation of this type of tomato.

To know the influence the distinct treatments have on the quality and shelf life of the Raf type tomato samples, physicochemical and sensorial quality parameters as well as the lycopene content were determined.

As a first experiment, the conservation of commercial fruits was carried out at 10, 13 and 20 °C. At 10 °C the fruits did not experience any chilling injuries, making this the most suitable temperature for their conservation over a prolonged period of time (7 days at 10 °C + 3 days at 20 °C)

In a second experiment, the influence of EC in the nutritive solution (≈ 4 y $7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) and the addition of CO_2 (370 y $550 \mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$) on the quality and shelf life of the Raf type tomato (cv. Delizia) during its conservation at 20 °C were also evaluated. The fruits in this study were provided by the Agrarian Production Group of the IFAPA La Mojonera centre. An increase of EC in the nutritive solution had a positive effect on the Raf type tomato quality (cv. Delizia), this effect was nevertheless largely affected by the CO_2 present during the fruits’ cultivation. The tomatoes treated with higher EC without CO_2 addition were firmer fruits with a higher TSS, citric acid and lycopene content as well as a longer shelf life.

To conclude a final experiment concerning respiration and ethylene emission rate was carried out. Both parameters were affected by the conservation temperature (10 and 20 °C) and the pre-harvest factors in the study. The determination of these parameters in a static system allowed for the using of a mathematical model by which the optimal O_2 concentration for the conservation of the fruits was established, as well as the characteristics of the film to be used.

Índice

Índice general

1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Sector hortofrutícola almeriense	1
1.2. Aspectos generales del tomate Raf.....	3
1.3. Importancia de la calidad y evolución de los cultivos	5
2. INTERÉS Y OBJETIVOS.....	7
2.1. Interés.....	7
2.2. Objetivos.....	9
3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	10
3.1. Principales cambios durante el periodo de conservación de frutas y hortalizas	10
3.2. Proceso respiratorio en frutas y hortalizas durante su maduración	13
3.3. Importancia de la calidad en los productos hortofrutícolas	16
3.4. Influencia de factores precosecha en la calidad del tomate.....	18
3.4.1. Influencia de la CE de la solución nutritiva en la calidad del tomate	20
3.4.2. Estudios sobre la influencia del aporte de CO ₂ sobre la calidad del tomate.....	23
3.5. Influencia de factores poscosecha en la calidad del tomate	24
3.5.1. Conservación refrigerada.....	24
3.5.2. Conservación en atmósfera modificada	26
3.5.2.1. Procedimientos matemáticos y optimización para el envasado de frutas y hortalizas en atmósfera modificada	28

4. MATERIAL Y MÉTODOS	30
4.1. Materiales	30
4.1.1. Equipos.....	30
4.1.2. Reactivos	31
4.1.3. Gases de calibración	31
4.2. Metodología	32
4.2.1. Material vegetal	32
4.2.2. Conservación.....	35
4.2.3. Análisis de calidad	36
4.2.3.1. Parámetros físico-químicos	36
4.2.3.2. Análisis sensorial	40
4.2.4. Determinación del contenido en licopeno.....	41
4.2.5. Determinación de vida útil.....	43
4.2.6. Determinación de la tasa respiratoria y producción de etileno. Diseño de un envase óptimo para la conservación de tomate Raf cv. Delizia.....	43
4.2.7. Representación de datos y análisis estadístico	49
5. RESULTADOS	50
5.1. Determinación de la influencia que ejerce la temperatura de conservación en la calidad y vida útil de tomate Raf (cv. Delicia).....	50
5.1.1. Parámetros físicos	51
5.1.2. Parámetros químicos	56
5.1.3. Análisis sensorial	58
5.1.4. Contenido en licopeno	61

5.1.5. Estudio de la vida útil	63
5.2. Determinación de la influencia que el aumento de la conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva y aporte de CO ₂ ejercen sobre la calidad y vida útil del tomate tipo raf (cv. Delicia)	65
5.2.1. Parámetros físicos	66
5.2.2. Parámetros químicos	72
5.2.3. Contenido en licopeno	78
5.2.4. Estudio de la vida útil	81
5.3. Estudio del proceso respiratorio en sistema estático. Diseño de un envase óptimo para la conservación de tomate tipo Raf (cv. Delizia)	83
5.3.1. Influencia de los factores precosecha en la actividad respiratoria y producción de etileno de tomates tipo Raf (cv. Delizia)	84
5.3.2. Diseño de un envase óptimo para la conservación de tomate tipo Raf (cv. Delizia).....	95
6. CONCLUSIONES	111
7. BIBLIOGRAFÍA	113
8. ANEXOS	141

Índice de tablas

Tabla 4.1.3.1. Composición de los patrones empleados para la realización de la recta de calibrado	31
Tabla 4.2.1.1. Nomenclatura y condiciones de cultivo empleadas en los distintos tratamientos en estudio	33
Tabla 5.1.1.1. Evolución del color (^o Hue) en superficie y pulpa en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación	55
Tabla 5.1.2.1. Evolución de los parámetros químicos en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación	56
Tabla 5.2.1.1. Análisis de la varianza de los cambios en pérdida de peso, firmeza, color en piel y pulpa de las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO ₂ empleadas durante su cultivo y tiempo de conservación	67
Tabla 5.2.1.2. Evolución de la firmeza durante la conservación a 20 °C de tomates tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO ₂	70
Tabla 5.2.1.3. Evolución del color durante la conservación a 20°C de tomates tipo Raf (cv. Delizia), cultivados bajo diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO ₂	72
Tabla 5.2.2.1. Análisis de la varianza de los cambios en pH, contenido en sólidos solubles totales (SST) y ácido cítrico en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO ₂ empleadas durante su cultivo y tiempo de conservación	73
Tabla 5.2.2.2. Evolución del pH durante la conservación a 20 °C de tomates tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO ₂	74
Tabla 5.2.3.1. Análisis de la varianza de los cambios en el contenido de licopeno (mg/100g p.f.), en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) afectadas por la CE y diferentes concentraciones de CO ₂ empleadas durante su cultivo y tiempo de conservación	78
Tabla 5.3.1.1. Análisis de la varianza de los valores de actividad respiratoria obtenidos para las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservadas a 20 y 10 °C afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de	

CO ₂ empleadas durante su cultivo, así como el tiempo de conservación en el interior de los envases	85
Tabla 5.3.1.2. Valores de Q ₁₀ determinados para las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo distintas CE en la solución nutritiva a la vez que distintas concentraciones de CO ₂	91
Tabla 5.3.1.3. Análisis de la varianza de los valores de producción de etileno obtenidos para las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservadas a 20 y 10 °C afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO ₂ empleadas durante su cultivo, así como el tiempo de conservación en el interior de los envases.	92
Tabla 5.3.2.1. Análisis de la varianza de los valores de actividad respiratoria teóricos obtenidos para las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservadas a 20 y 10 °C afectadas por la CE de la solución nutritiva, la concentración de CO ₂ empleadas durante su cultivo, así como la concentración de O ₂ presente en el interior de los envases.	102
Tabla 5.3.2.2. Valores de O ₂ considerados como óptimos para el envasado de tomate tipo Raf cultivados bajo distintas CE en la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO ₂ . Valores de TRO ₂ estimados para dichas concentraciones de oxígeno.	104
Tabla 5.3.2.3. Valores de la varianza de O ₂ (%), TRO ₂ asociada a dicha concentración y valores de transferencias de O ₂ óptimos para el envasado de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 y 10 °C afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO ₂ empleada durante su cultivo, así como la concentración de O ₂ presente en el interior de los envases.....	105
Tabla 5.3.2.4. Valores de velocidad de transferencia de O ₂ (OTR) óptimos para el envasado de tomate tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo distintas CE en la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO ₂	107
Tabla 5.3.2.5. Valores de permeabilidad a O ₂ de distintos polímeros comerciales que podrían ser empleados en la conservación de frutas y hortalizas.....	108
Tabla 5.3.2.6. Valores de permeabilidad a CO ₂ de distintos polímeros comerciales que podrían ser empleados en la conservación de frutas y hortalizas.....	109

Índice de figuras

Figura 1.1.1. Evolución de la superficie, producción y rendimiento por hectárea	1
Figura 1.1.2. Evolución de la producción hortofrutícola (1975-2011). En toneladas	2
Figura 3.2.1. Cambios en la concentraciones de O ₂ y CO ₂ (mL/100mL), medidos en un sistema cerrado	13
Figura 3.2.2. Biosíntesis del etileno	14
Figura 3.2.3. Patrones de respiración de frutas climatéricas y no climatéricas durante la maduración.....	15
Figura 4.2.3.2.1. Escala empleada para la evaluación de la calidad visual general de las muestras de tomate en estudio	40
Figura 4.2.3.2.2. Escala empleada para la evaluación del aroma de las muestras de tomate en estudio	41
Figura 4.2.4.1. Espectro UV-Vis del licopeno	42
Figura 4.2.6.1. Esquema del cromatógrafo de gases adaptado para la determinación conjunta de CO ₂ , O ₂ , N ₂ y C ₂ H ₄	45
Figura 4.2.6.2. Cromatogramas obtenidos a partir de una muestra patrón conteniendo CO ₂ , O ₂ , N ₂ y etileno A). Señales adquiridas en el detector de conductividad térmica (TCD), B). Señales adquiridas en el detector de llama (FID) *ruidos electrónicos correspondientes al cierre/apertura de las válvulas	45
Figura 5.1.1.1. Pérdida de peso observada en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación. Diferentes letras indican que existen diferencias significativas entre tratamientos a p ≤ 0.001	52
Figura 5.1.1.2. Firmeza observada en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación.	54
Figura 5.1.3.1. Evolución de la calidad visual general en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación	59

Figura 5.1.3.2. Evolución del aroma en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de	60
Figura 5.1.3.3. Evolución del sabor en muestras de tomate tipo Raf sometidas a diferentes temperaturas de conservación.....	61
Figura 5.1.4.1. Contenido de licopeno en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación	62
Figura 5.2.1.1. Evolución de la pérdida de peso observada durante la conservación a 20 °C de tomates tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO ₂	68
Figura 5.2.2.1. Evolución de la concentración de SST (°Brix), a lo largo de la conservación a 20 °C, en tomates tipo Raf (var. Delizia) cultivados bajo diferentes CE en la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO ₂	75
Figura 5.2.2.2. Evolución de la acidez (%ac. cítrico), a lo largo de la conservación a 20 °C, en tomates tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo diferentes CE y distintas concentraciones de CO ₂	76
Figura 5.2.3.1. Evolución del contenido en licopeno (mg/100g p. f.) durante el periodo de conservación de los frutos tratados con diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO ₂	79
Figura 5.2.4.1. Vida útil de los frutos conservados a 20°C y 90% H.R., tratados con diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO ₂	81
Figura 5.3.1.1. Evolución de la tasa respiratoria, TRCO ₂ , de tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 (A) y 10 °C (B) y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO ₂	86
Figura 5.3.1.2. Tasa respiratoria de tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 (A) y 10 °C (B) y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO ₂ . La actividad respiratoria ha sido determinada tras conservar los frutos 2 h en un sistema cerrado.....	89
Figura 5.3.1.3. Producción de etileno en tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 (A) y 10 °C (B) y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO ₂	93

Figura 5.3.1.4. Producción de etileno en tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 (A) y 10 °C (B) y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO ₂ . La producción de etileno ha sido determinada tras conservar los frutos 2 h en un sistema cerrado.....	94
Figura 5.3.2.1. Evolución de la composición atmosférica presente en el interior de envases conteniendo tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 °C y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO ₂	97
Figura 5.3.2.2. Evolución de la composición atmosférica presente en el interior de envases conteniendo tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 10 °C y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO ₂	98
Figura 5.3.2.3. Evolución de la tasa respiratoria (TRO ₂) en función de la concentración de O ₂ disponible en el interior de un envase a 20 (A) y 10 °C(B).	100
Figura 5.3.2.4. Evolución de la tasa respiratoria (TRCO ₂) en función de la concentración de O ₂ disponible en el interior de un envase a 20 (A) y 10 °C (B).	101
Figura 5.3.2.5. Evolución del cociente respiratorio (CR) en función de la concentración de O ₂ disponible en el interior de un envase a 20 (A) y 10 °C (B).	103

Índice de imágenes

Imagen 1.2.1. A) Muestra de tomate Raf, B) Ejemplo de maduración del tomate Raf	4
Imagen 4.2.1.1. Muestras seleccionadas para el estudio de conservación a diferentes temperaturas de conservación.....	33
Imagen 4.2.1.2. Muestras seleccionadas para el estudio de conservación a 20 °C.....	34

Imagen 4.2.3.1.1. Texturómetro empleado para la determinación de la firmeza en las muestras de tomate Raf	37
Imagen 4.2.3.1.2. Representación de las coordenadas del color CIELab	38
Imagen 4.2.6.1. Disposición de los recipientes y detalle de su sellado para la determinación de la tasa respiratoria y producción de etileno en sistema cerrado a las temperaturas de 20 °C (A) y 10 °C (B)	44
Imagen 5.1.1.1. A) Marchitamiento de tomate tipo Raf (cv. Conquista) conservado a 10°C durante 7 días y posteriormente transferidos a 20°C durante 2 días. B) Tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 10°C durante 7 días y posteriormente transferidos a 20°C durante 2 días	53
Imagen 5.2.1.1. Evolución de color en superficie (°Hue), a lo largo de la conservación a 20 °C, de tomates tipo Raf (var. Delizia) cultivados en presencia de una menor CE y sin aporte extra de CO ₂ (S4). Imágenes extraídas los distintos días de análisis: tras la recolección (A), día 3 (B) y día 5 (C)	71
Imagen 5.3.2.1. Tomates tipo Raf (cv. Conquista) envasados para la determinación de las dimensiones del envase	107

Introducción

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Sector hortofrutícola almeriense.

El sector hortofrutícola almeriense es un referente internacional y posee gran relevancia en Andalucía, tanto por su vertiente económica como social. Se trata de un sector con una elevada aportación a la producción final agraria y con una clara vocación exportadora, por lo que juega un papel fundamental en el equilibrio de nuestra balanza comercial. Por otra parte, la horticultura es la principal fuente de ingresos de un gran número de familias y el motor económico de la provincia.

En los últimos 35 años Almería ha avanzado continuamente tanto en superficie (Figura 1.1.1) como en producción (Figura 1.1.2) convirtiéndose en el proveedor casi en exclusiva de frutas y hortalizas para los hogares europeos durante los meses de invierno. La incorporación de las mejoras estructurales, las nuevas tecnologías, los nuevos cultivos y variedades, la obtención de hortalizas fuera de temporada, el desarrollo comercial de la zona, y por supuesto, el espíritu emprendedor del sector, ha posibilitado un control más eficaz de las condiciones en las que se desarrollan los cultivos, lo que ha permitido satisfacer las crecientes exigencias de la producción.

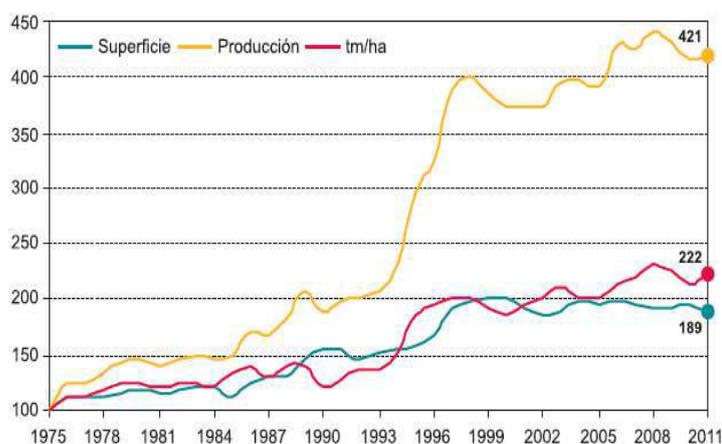


Figura 1.1.1. Evolución de la superficie, producción y rendimiento por hectárea.

Fuente: Fundación Cajamar. Campaña 2010/2011.

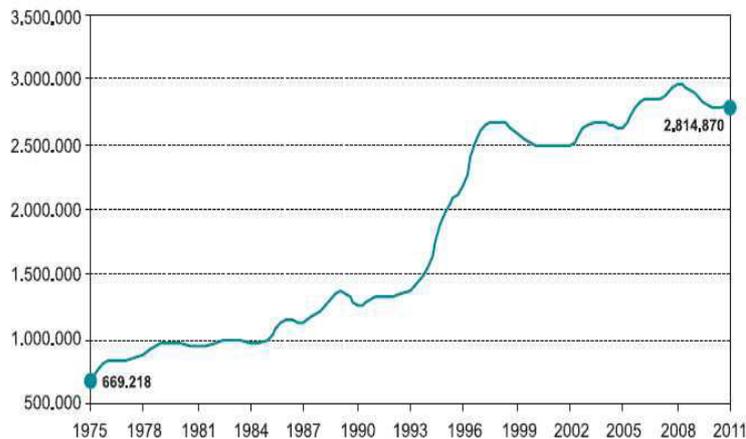


Figura 1.1.2. Evolución de la producción hortofrutícola (1975-2011). En toneladas.

Fuente: Fundación Cajamar. Campaña 2010/2011.

Entre todos los frutos cultivados en Almería, el tomate puede considerarse el producto estrella de la producción hortofrutícola. Se trata del fruto con mayor producción y volumen de ventas. En la campaña 2010/2011 se recolectaron un total de 910 toneladas, siendo su valor de comercialización de 765 millones de euros.

Sin embargo, la entrada a la Unión Europea de tomate procedente de países comunitarios ha descendido en un 16,4 %, mientras que las de países terceros han aumentado un 18,9%, destacando Marruecos como principal país suministrador. En la actualidad, Holanda y Marruecos se sitúan como serios competidores de Almería en cuanto a la comercialización de estos frutos. Así mismo, es importante tener en consideración a países como Turquía e Israel, con grandes potenciales productivos, que si bien hoy en día están aún lejos de alcanzar los volúmenes comercializados por Almería y sus más directos competidores, pueden conseguirlos en un futuro próximo. Es por tanto necesario mejorar la posición competitiva de los productos almerienses, mediante una mayor apuesta por la calidad de los frutos, una calidad diferenciada.

A su vez, junto a la búsqueda de productos de elevada calidad es necesario destinar esfuerzos a los tratamientos poscosecha. Un correcto manejo del producto una vez recolectado permitiría mantener su calidad durante un mayor tiempo, lo que

se traduciría en un beneficio no sólo para el consumidor sino para el resto de integrantes de la cadena agroalimentaria. Muy importante es, además, considerar que una mayor vida útil, sobre todo en productos más perecederos, permitiría el acceso a países más lejanos, habilitando de esta manera nuevos mercados.

Entre todos los frutos cosechados en la provincia el tomate es el que tiene más tipos de prestaciones en el mercado y más variedades ofertadas. Entre ellas están: tomate suelto, Raf, en rama, cherry en rama, cherry amarillo, pera, cherry pera, cocktail, etc. Dentro de esta clasificación hay una variedad que ha despuntado debido a sus características, las cuales lo diferencian notablemente al resto. Este es el tomate Raf, el cual ha ido posicionándose hasta ser una referencia, siendo conocido como un fruto de inconfundible sabor.

En Almería, de las 12.000 Ha de invernaderos, unas 500 Ha son de tomate tipo Raf lo que supone un 1,7% del total y un 4% del tomate. Su rendimiento es de 5 kg/m² frente a otras variedades con un rendimiento de 20 kg/m². Mientras que la tendencia general de la explotación en los invernaderos almerienses busca la rentabilidad incrementando la productividad a la vez que se ofrece una calidad comercial aceptable, el cultivo de tomate tipo Raf sacrifica la producción neta a favor de la calidad. Sin embargo, la apuesta por la calidad y la distinción empujan cada vez a un mayor número de agricultores almerienses a especializarse en el cultivo de esta variedad de tomate.

1.2. Aspectos generales del tomate Raf.

El tomate Raf (*Lycopersicon esculentum* Mill.) es un tomate tipo marmande, cuyo origen surgió como una selección tradicional y su nombre corresponde a las siglas de “Resistente A Fusarium”.

El fruto es de tamaño variable, de forma irregular y poco uniforme, asurcado, con un marcado cuello verde en la parte superior (Imagen 1.2.1. A). También tiene como característica que es un tomate muy aromático y sabroso, con mucha pulpa y pocas semillas. Otra característica singular de este fruto es su maduración de dentro hacia fuera (Imagen 1.2.1.B).



Imagen 1.2.1 A) Muestra de tomate Raf, B) Ejemplo de maduración del tomate Raf

Por otra parte tiene alto grado de azúcares (glucosa, fructosa) de 6 a 11º Brix y de acidez (ác. cítrico), aportando el adecuado equilibrio entre ambos (acidez-dulzor). Su composición nutricional por cada 100gr de tomate fresco es:

Energía	Agua	Hidratos de carbono	Fibra	Potasio	Magnésio	Fósforo	Vitamina C	Folatos	Vitamina A
(Kcal)	(ml)	(g)	(g)	(mg)	(mg)	(mg)	(mg)	(ug)	(mcg)
20	93	3.7	1.4	260	14	25	26.7	30	95

Fuente: www.horticasa.es

1.3. Importancia de la calidad y evolución de los cultivos.

En la actualidad y en sentido abstracto la calidad puede tener el significado de «grado de excelencia o superioridad» (Kader et al., 1985). Aceptando esta definición, se puede decir que un producto es de mejor calidad cuando es superior en uno o varios atributos que son valorados objetiva o subjetivamente.

En términos del servicio o satisfacción que produce a los consumidores, podríamos también definirla como el “grado de cumplimiento de un número de condiciones que determinan su aceptación por el consumidor”.

La calidad del fruto se ve influenciada tanto durante su cultivo como en su manejo poscosecha. Radica aquí la importancia de conocer los factores óptimos que eleven la calidad para producir frutos que cumplan las exigencias de los consumidores y además representen superioridad frente a sus competidores.

Aunque la calidad de consumo es una combinación de diversas características, atributos y propiedades que hacen que un alimento se disfrute, los consumidores opinan que la apariencia y la frescura son más importantes al inicio de la compra. Ellos seleccionan productos de tamaño, color, forma y firmeza apropiados. Son también importantes sus expectativas sobre valor nutritivo y propiedades relacionadas con la salud (Bruhn, 2003). Sin embargo, que el consumidor repita su elección de compra va a depender mayoritariamente de la calidad organoléptica percibida en el producto.

Todas las características, desde el punto de vista de la calidad, que recibe el consumidor es el resultado de un trabajo intensivo en el manejo de los factores pre- y poscosecha incidentes sobre el cultivo. La comprensión de estos factores es de vital importancia para el desarrollo de productos de mayor calidad y por tanto, para el desarrollo del sector hortofrutícola.

Es por esto por lo que el cultivo de frutas y hortalizas está siempre en continua evolución. En el caso del tomate Raf, el impacto que ha tenido en el mercado como producto de alta calidad organoléptica, ha llevado a las casas productoras de semillas a producir híbridos con la intención de mejorar las características de este tipo de tomate.

Son ejemplos destacables de ello y de estudio en el presente trabajo, el tomate “*Delizia*”, que con respecto al Raf presenta una mayor resistencia a Fusarium I y mejora del vigor general, uniformidad de calibre y color en temprano. Por contra, puede perder algo de sabor frente al Raf si no se maneja adecuadamente. El tomate “*Conquista*”, prácticamente igual que Delizia con mayor resistencia a fusarium y además tolerante a nematodos (M).

Interés y objetivos

2. INTERÉS Y OBJETIVOS.

2.1. Interés

El interés que ha suscitado la realización de estos estudios ha sido la necesidad tanto competitiva como estratégica de mejorar la calidad y vida útil de un fruto tan apreciado y tan específico de nuestra provincia como es el caso del tomate tipo Raf.

Una de las herramientas que se suele utilizar para mejorar la calidad del tomate es el uso de agua de riego con una elevada CE. Sobre ello existen estudios que reflejan el efecto positivo que un aumento de la salinidad ejerce en la calidad físico-química y sensorial de los frutos.

Otra de las técnicas de cultivo que cada vez se está implementando con mayor regularidad en la provincia es la utilización de un aporte carbónico extra para mejorar el rendimiento de los cultivos. Durante el cultivo de tomate Raf se sacrifica la producción a favor de la calidad, por ello es de interés encontrar estrategias que permitan, manteniendo la calidad del fruto, incrementar la producción.

A ello se suma que como consecuencia del cambio climático, en los últimos años la concentración de CO₂ presente en la atmósfera ha ido en aumento, de hecho se prevé que a finales del siglo XXI sea del orden de 600-700 ppm. Es por ello de gran interés estimar la influencia que ejerce en la calidad de los frutos un aumento de la concentración de este gas lo que permitirá una vez conocidos sus efectos estudiar distintos sistemas de cultivo que permitan aumentar la calidad final de los frutos.

En contraposición a su calidad el tomate tipo Raf presenta una corta vida útil, lo que supone una considerable limitación para su comercialización. Es, por lo tanto, necesaria la búsqueda de estrategias que permitan conservar su calidad durante un mayor tiempo, lo que facilitaría su proceso de distribución y venta y permitiría su acceso a destinos más lejanos.

Una vez que los tomates son recolectados su tratamiento poscosecha va a condicionar la viabilidad de los frutos. La refrigeración es la estrategia de conservación de frutas y hortalizas más empleada. Una refrigeración adecuada puede reducir la pérdida cuantitativa y cualitativa, producida básicamente por desórdenes fisiológicos y podredumbres, retrasar la maduración y senescencia y por lo tanto prolongar la vida comercial de los productos hortofrutícolas. Por otro lado, el empleo de una temperatura de refrigeración inadecuada puede ocasionar daños por frío (“chilling injury”) viéndose afectada la calidad de los frutos.

Además del estudio de la temperatura es de interés considerar la conservación del tomate tipo Raf en una atmósfera modificada óptima, tal que permita minimizar la tasa respiratoria de los frutos y con ello alargar la vida útil de los frutos. El empleo de una atmósfera modificada conllevaría a:

- Retraso de la senescencia, cambios bioquímicos y fisiológicos (disminución en la velocidad de respiración y producción de etileno, ablandamiento y cambios composicionales).
- Reducción de la sensibilidad al etileno en niveles inferiores al 8 % O₂, superiores al 1% CO₂ o una combinación de ellos.
- Mitigación de las alteraciones fisiológicas y daños por frío.

Sin embargo, es necesario conocer las condiciones óptimas de envasado ya que una atmósfera modificada inadecuada para la conservación de los frutos podría desencadenar:

- Maduración irregular a niveles inferiores al 2 % O₂ y 5 % de CO₂. Aparición de ciertas fisiopatías.

- Sabores y olores desagradables a concentraciones bajas de O₂ y altas de CO₂ (fermentación anaeróbica)
- Susceptibilidad a la producción de procesos fermentativos si el fruto es sometido a elevadas concentraciones de CO₂ o bajas de O₂.

2.2. Objetivos.

Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es la búsqueda de estrategias que permitan mejorar la calidad de tomate tipo Raf así como prolongar su vida útil, facilitando así la comercialización y exportación de esta variedad de tomate.

Objetivos específicos:

- Estudio de la influencia que ejerce la temperatura de conservación en la calidad físico-química, contenido en licopeno, calidad sensorial y vida útil de tomate tipo Raf (cv. Delizia). (ENSAYO 1)
- Estudio de la influencia que ejerce la salinidad y aporte de CO₂ en la calidad físico-química, contenido en licopeno y vida útil del tomate tipo Raf (cv. Delizia) durante su conservación a 20 °C. (ENSAYO 2)
- Estudio de la influencia que ejerce la salinidad y el aporte de CO₂ en la actividad respiratoria y tasa de emisión de etileno de tomate tipo Raf (cv. Delizia) durante su conservación a 20 y 10 °C. Diseño de un envase en atmósfera modificada para la conservación a 20 y 10 °C de tomate tipo Raf (cv. Delizia) cultivado bajo distintas CE en la solución nutritiva a la vez que diferentes concentraciones de CO₂. (ENSAYO 3)

Revisión bibliográfica

3. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

3.1. Principales cambios durante el periodo de conservación de frutas y hortalizas.

Puesto que en las frutas y hortalizas el metabolismo continúa activo una vez separados de la planta, se comprende que su calidad y valor nutritivo estarán influenciados por las modificaciones que tienen lugar no sólo en la planta sino también tras la cosecha.

Los frutos, una vez alcanzada la madurez, están muy expuestos al deterioro, debido a enfermedades fisiológicas, o bien por el ataque de microorganismos. Al estado de madurez óptimo (desde el punto de vista organoléptico) le sigue inmediatamente la desorganización y senectud de los tejidos, ablandamiento excesivo, pardeamiento enzimático, etc.

La maduración es el resultado de un complejo conjunto de transformaciones que modifican la composición química y estructura del fruto y hacen posible que frutos, en principio, verdes y de sabor y olor débiles se presenten en la maduración con la calidad sensorial deseada por el consumidor (Romojaro & Riquelme, 1994).

Durante la maduración, el fruto sufre una serie de modificaciones fisicoquímicas (Wills et al. 1998), entre las cuales están:

1. **Cambio de color.** La degradación de la clorofila, a través de sistemas químicos o enzimáticos, y la acumulación de nuevos pigmentos (carotenoides y antocianos) son los responsables del cambio de color en el fruto. El cambio de color es el más evidente entre los cambios experimentados por muchos frutos durante la maduración, y con frecuencia, el más importante de los criterios utilizados por el consumidor para decidir si el fruto está maduro o no.

2. **Pérdida de firmeza.** Como consecuencia de la degradación de protopectinas insolubles, las cuales se transforman en pectinas solubles tiene lugar la pérdida de firmeza. Durante la maduración, la firmeza de los frutos generalmente tiende a disminuir debido a enzimas que actúan a nivel de pared celular, responsable de las principales características de firmeza. Este parámetro está directamente relacionado con la textura e indica las propiedades que se perciben a través del sentido del tacto, lo cual es un atributo importante de calidad que influye en la preferencia del consumidor. Las enzimas que se han postulado como las principales responsables del proceso de ablandamiento de las frutas son la poligalacturonasa o pectinasa y la pectin-metil-esterasa (Wills, 1977).

3. **Pérdida de peso.** La pérdida de peso es una consecuencia directa de la deshidratación de los frutos. Tras la recolección la pérdida de peso va asociada a otros cambios, como lo son la pérdida de firmeza, marchitamiento y ablandamiento de los frutos.

4. **Modificación del sabor.** El fruto sufre una serie de cambios organolépticos, principalmente de olor y sabor, que están ligados a variaciones en la concentración de diversas sustancias: hidratos de carbono, ácidos, taninos y productos orgánicos volátiles:

a) *Hidratos de carbono.* Durante la maduración se produce una disminución en el contenido de carbohidratos poliméricos, almidón y hemicelulosas, los cuales se transforman en azúcares. Este proceso es el más importante durante la maduración de frutas y hortalizas (Albi & Gutiérrez, 1991). De esta forma, a pesar del consumo de una parte de los azúcares por la actividad respiratoria, aumenta la concentración de los mismos como consecuencia de la hidrólisis ya sea del almidón o bien de hemicelulosas de las paredes celulares.

El almidón acumulado durante el crecimiento cuando llega la maduración y senescencia se degrada a azúcares solubles, principalmente glucosa, sacarosa y fructosa, atendiendo a la condición fisiológica de los frutos y al tratamiento poscosecha. La hidrólisis del almidón es uno de los cambios más comunes que acompaña la maduración de muchos frutos climatéricos.

b) Ácidos. La maduración de los frutos viene acompañada por cambios en los ácidos orgánicos. Estos alcanzan su máxima concentración durante el crecimiento y desarrollo de los frutos en la planta. La maduración presupone un descenso de la acidez, debido a que los ácidos orgánicos son degradados o bien convertidos a azúcares, disminuyendo, consiguientemente, su concentración en el curso de la misma.

c) Sustancias volátiles. Los componentes orgánicos volátiles que aparecen durante el desarrollo y la maduración fisiológica de los frutos son los responsables más importantes o al menos los que van a incidir más en la calidad sensorial de aquellos. Están constituidas principalmente por ésteres, alcoholes, aldehídos y cetonas. Estos compuestos sólo representan una baja fracción de la emisión volátil de las frutas, el carbono desprendido bajo esta forma sólo representa del 0,1 al 1% del carbono eliminado como dióxido de carbono, además dicho porcentaje estaría constituido por un 80% de etileno desprovisto de olor.

Entre los compuestos no volátiles que contribuyen al sabor de las frutas, hay que mencionar preferentemente los flavonoides, constituyentes fenólicos astringentes, que desaparecen en parte durante la maduración.

Los cambios fisiológicos más importantes están vinculados a la actividad respiratoria y a la producción de etileno (Wills, 1977).

3.2. Proceso respiratorio en frutas y hortalizas durante su maduración.

Por respiración se entiende como el proceso por el cual los materiales orgánicos almacenados (carbohidratos, proteínas, grasas) son desdoblados en productos terminales simples con liberación de energía. En este proceso, se consume oxígeno y se produce dióxido de carbono (Figura 3.2.1.). La pérdida, durante la respiración, de reservas alimenticias almacenadas en el fruto significa el aceleramiento de la senescencia, la cual se traduce en pérdida de sabor, pérdida de peso y disminución del valor energético del fruto.

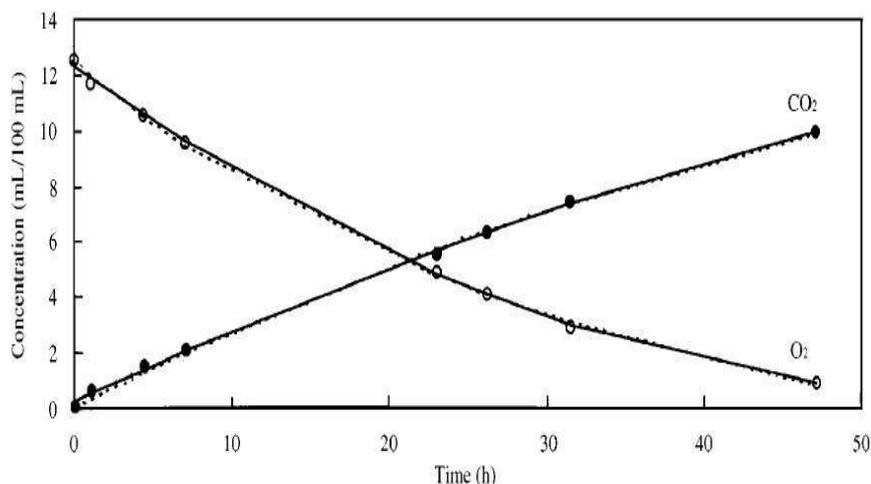


Figura 3.2.1. Cambios en la concentraciones de O₂ y CO₂ (mL/100mL), medidos en un sistema cerrado. Fuente: Jacxsens, L. et al. 1999.

Otro gas producido durante la maduración del fruto es el etileno. Esta fitohormona, junto con otras hormonas vegetales (auxinas, giberelinas, quininas y ácido abscísico) controlan el proceso de maduración de los frutos (Wills et al. 1998), así como los efectos sobre el crecimiento, desarrollo y vida útil de almacenamiento de muchas frutas y hortalizas (Pratt, 1975).

El etileno se sintetiza a partir de metionina en tres pasos (Figura 3.2.2.):

1. Conversión de la metionina a S-adenosil-L-metionina (SAM) catalizada por la enzima SAM sintetasa.
2. Formación de 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) desde SAM a través de la actividad de ACC sintasa (ACS).
3. La conversión de ACC a etileno, la cual es catalizada por la ACC oxidasa (ACO) (Zegzouti et al., 1999, Alba et al., 2005).

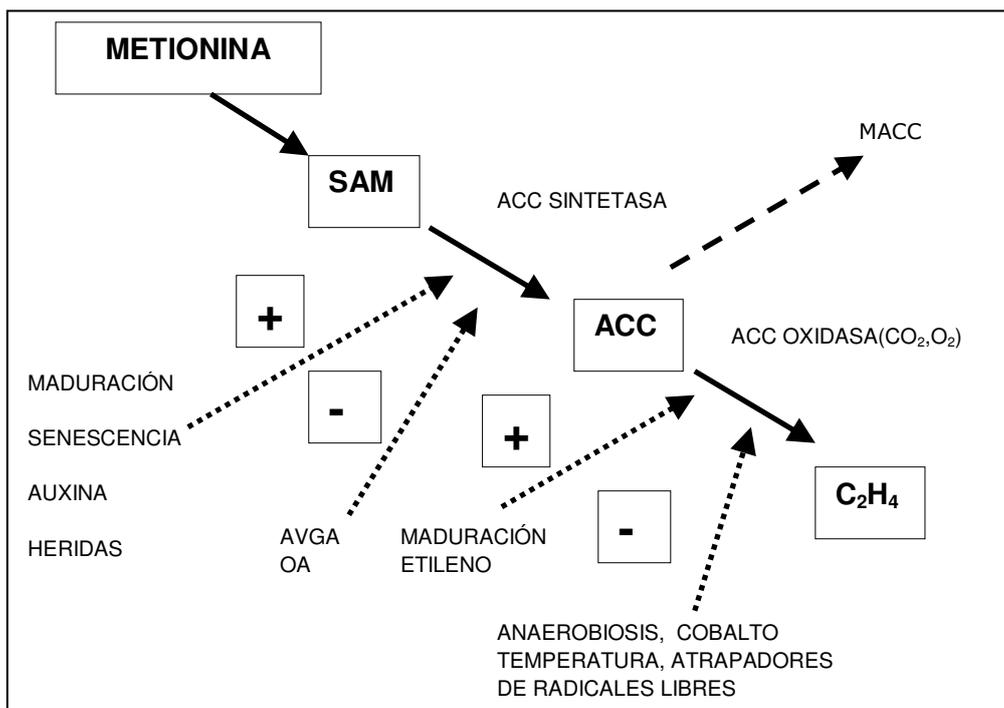


Figura 3.2.2. Biosíntesis de etileno. Fuente: Salveit, 1999.

La influencia que va a ejercer este gas sobre los frutos durante la conservación va a depender de si el fruto es “climatérico” o “no climatérico” .Como se observa en la siguiente figura (Figura 3.2.3.) para ambos tipos de frutos, la tasa respiratoria desciende durante el periodo de conservación, pero lo que diferencia a estos dos grupos de frutos es que los “no climatéricos” presentan un descenso de la tasa respiratoria más liviana durante un periodo mayor. Por el contrario, los frutos

“climáticos” experimentan un descenso brusco, en el que se pueden diferenciar tres fases: 1. Mínimo pre-climático, 2. Pico climatérico y 3. Descenso pos-climático.

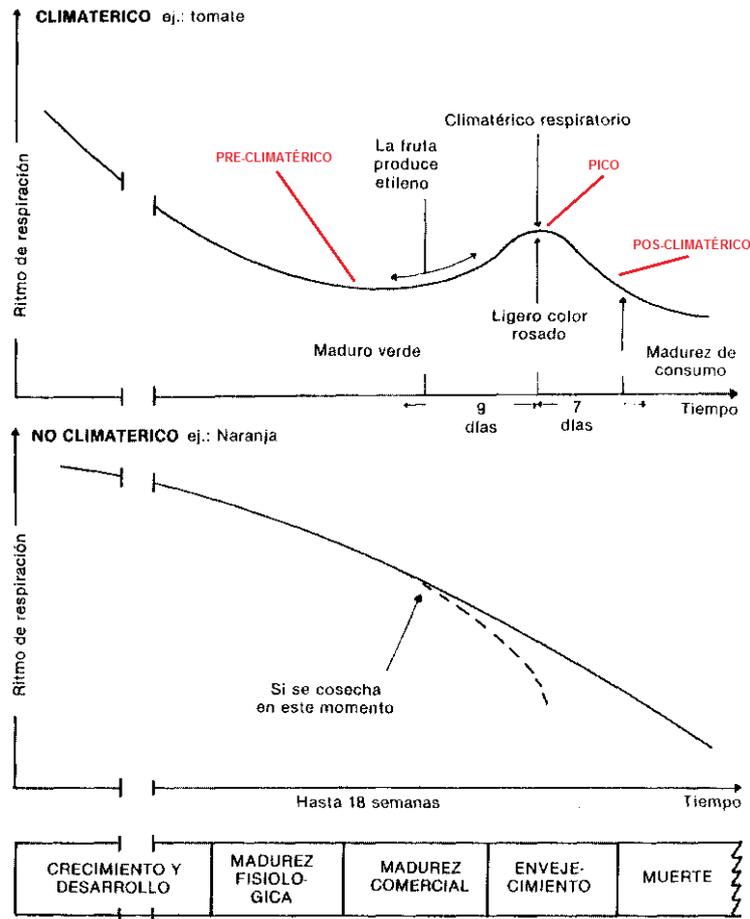


Figura 3.2.3. Patrones de respiración de frutas climatéricas y no climatéricas durante la maduración. Fuente: <http://www.fao.org/docrep/x5055s/x5055S02.htm>

El tomate es un fruto climatérico, por lo que hay que tener en cuenta que cuando este fruto comienza a madurar, la inhibición por retroalimentación negativa del etileno en la síntesis de este, cambia a una promoción por retroalimentación positiva en la que el etileno estimula su propia síntesis (producción autocatalítica) y se produce una gran cantidad de este gas lo cual actúa en detrimento de su vida útil (Yang et al., 1987).

3.3. Importancia de la calidad en los productos hortofrutícolas.

Existe una tendencia mundial hacia un mayor consumo de frutas y hortalizas, motivado fundamentalmente por una creciente preocupación por una dieta más equilibrada, con menor proporción de carbohidratos, grasas y aceites y con una mayor participación de fibra, vitaminas y minerales. Ello es debido a que en la actualidad existe una conciencia de la importancia de la dieta en la salud y longevidad.

También existe una creciente demanda de una calidad superior tanto externa como interna. Los aspectos externos (presentación, apariencia, uniformidad, madurez, frescura) son los componentes principales de la decisión de compra, la que normalmente es tomada cuando el consumidor ve la mercancía exhibida en el local de venta. Esto es particularmente importante en los sistemas de autoservicio donde el producto debe «autovenderse» y aquel que no es seleccionado, representa una pérdida para el comerciante. La calidad interna (sabor, aroma, textura, valor nutritivo, ausencia de contaminantes bióticos y abióticos) está vinculado a aspectos generalmente no perceptibles pero no por ello menos importante para los consumidores.

La definición de calidad en la actualidad y en sentido abstracto, tiene como significado: «grado de excelencia o superioridad» (Kader et al. 1985). Aceptando esta definición, se puede decir que un producto es de mejor calidad cuando es superior en uno o varios atributos que son valorados objetiva o subjetivamente. En términos del servicio o satisfacción que produce a los consumidores, podríamos también definirla como el «grado de cumplimiento de un número de condiciones que determinan su aceptación por el consumidor». Se introduce aquí un carácter subjetivo, ya que distintos consumidores juzgarán un mismo producto de acuerdo con sus preferencias personales (Food and Agriculture Organization, 2003).

Recientemente, en el caso del tomate y considerando las apreciaciones del consumidor y las necesidades del mercado, se ha centrado el estudio de la calidad en los aspectos organolépticos. Estas características dependen principalmente de una mezcla compleja de azúcares, ácidos orgánicos, sustancias volátiles y aminoácidos. Varios estudios han relacionado estos compuestos con los aspectos organolépticos del tomate (Causse et al. 2007). De hecho, se ha observado una alta relación entre el dulzor y la reducción de azúcares o el contenido total de sólidos solubles (Malundo et al. 1995 y Tandon et al. 2003). En cambio, el sabor ácido de los tomates ha sido atribuido principalmente al ácido cítrico (Petro-Turza, 1987). Distintos autores apoyan que la intensidad de sabor de este fruto puede determinarse por la cantidad de sólidos solubles y ácidos orgánicos (Malundo et al. 1995; Krumbein & Auerswald, 1998). Por otro lado, los aminoácidos tales como ácido glutámico juegan también un papel muy importante en el sabor del tomate (Fuke & Shimizu, 1993).

Además del sabor, la textura del fruto es un factor crucial ya que es un componente crítico de la percepción del consumidor a la hora de seleccionar los frutos (Chaïb et al., 2007).

Para la obtención de frutos con una calidad diferenciada deberían abordarse los siguientes objetivos (Kader A., 2008):

1. Selección de cultivos de elevada calidad organoléptica.
2. Identificación de prácticas de cultivo óptimas para maximizar la calidad.
3. Alentar a los productores a cosechar los frutos en etapas de maduración adecuadas, protegiéndolos a su vez de daños mecánicos.
4. Identificación de las condiciones óptimas de manejo en poscosecha (temperatura, tiempo de conservación, humedad relativa, etc.).
5. Desarrollar productos con valor añadido, con buen sabor y vida útil adecuada.

6. Optimización de los métodos de procesamiento para salvaguardar la calidad y el sabor de los productos procesados.

3.4. Influencia de factores precosecha en la calidad del tomate.

El objetivo de la producción, manipulación y distribución de los productos hortofrutícolas es satisfacer las necesidades del consumidor. Sin embargo, esto no es un hecho que se produzca de forma espontánea en la naturaleza, si no que depende del funcionamiento del determinismo genético de una variedad en un medio externo determinado. Aunque los factores que pueden definir el medio externo son muy diversos, existen algunos estudios relaciones con parámetros ambientales, de cultivo y fisiológicos. El primero de ellos comprende la temperatura, humedad relativa, precipitaciones, viento, naturaleza del suelo, etc., en el segundo hay que considerar el abonado, riego, poda, tratamiento, etc. y en el tercero el estado de madurez en la recolección. Todo este conjunto de factores controlan o determinan no sólo la calidad del fruto, sino también inciden sobre su comportamiento en poscosecha, en especial cuando debemos someterlos a periodos de conservación prolongados (Romojaro et al.,2003).

Existen varios estudios sobre la influencia que ejercen determinados factores precosecha (luz, temperatura, riego, fertilización, etc.) en la calidad de frutas y hortalizas. Kader (1988), a partir de estudios abordados por diversos investigadores, analizó la influencia de distintos factores precosecha en el contenido nutricional de frutas y hortalizas, concluyendo que la selección de un genotipo con mayor calidad nutricional era un factor mucho más importante que la influencia de las condiciones climáticas durante la cosecha. También determinó que los factores tales como luz y temperatura son los más importantes en relación al contenido final de vitaminas en

el cultivo y que factores de riego, fertilización y el uso de pesticidas o controladores de crecimiento afectan en gran medida a la calidad final del fruto.

En relación a la influencia de factores ambientales, ya en 1975 Harris observó que un aumento en la intensidad lumínica durante el cultivo de fresa conlleva a una mayor concentración de ácido ascórbico en el fruto. Ese mismo año, Phippen et al. llevaron a cabo un estudio sobre el efecto que la exposición a ozono (200 y 350 ppb) ejercía en la composición nutritiva de distintos frutos. El aporte de ozono afectó ligeramente al contenido de vitaminas y minerales en fresa, aumentó el contenido de ácido ascórbico y tiamina en col, mientras que en tomate contribuyó a disminuir la acumulación de estos compuestos.

Posteriormente, Davies & Hobson (1981) observaron un aumento del contenido en azúcares de 18 a 28 mg/l en tomates cultivados en invernadero desde abril hasta septiembre coincidiendo con un aumento de la irradiación de 50 a 170 $\text{j}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$. Estos resultados ponen de manifiesto la notable influencia que los cambios estacionales y con ello los cambios de irradiación tienen en el contenido de sólidos solubles totales.

En lo referente a técnicas de cultivo, Augustin en 1975 determinó que un aumento en el empleo de fertilizantes nitrogenados conllevaría a una reducción en la concentración de ácido ascórbico al observar este efecto en un estudio llevado a cabo en patata.

Años más tarde, Angeletti et al. (2010) describieron los efectos positivos que el tratamiento con CaSO_4 durante el cultivo ejercía en la calidad poscosecha de arándanos. Los frutos tratados con la sal de calcio presentaron una menor pérdida de peso y deterioro, contribuyendo así a alargar la vida útil de estos frutos altamente perecederos.

Recientemente, Dominguez et al. (2012) evaluaron la influencia del uso de fungicidas en la calidad poscosecha de tomate. Para ello emplearon, fenhexamida y piraclostrobin + boscalid, que fueron aplicados en tres variedades de tomate (Raf,

Amadeo y Nereida). Se observó como la calidad se veía influenciada por el fungicida aplicado, dependiendo de la variedad de tomate en estudio. En tomates Nereida se observó como la aplicación de piraclostrobin + boscalid, retrasó el proceso de maduración y senescencia de los frutos, ralentizando además los procesos metabólicos implicados en la acumulación de compuestos antioxidantes.

Otro factor importante en la calidad de los frutos es el estado de madurez en la recolección. Los frutos que no han alcanzado una madurez óptima, presentan un bajo contenido en azúcares, convirtiéndose la degradación del almidón en la principal fuente de hidratos de carbono, siendo esto insuficiente e indeseable (Balibrea et al. 2006). Cosechar los frutos en una etapa más madura permitiría la obtención de frutos con un mayor contenido en azúcares pero en contraposición con una menor vida útil y con una mayor susceptibilidad a sufrir daños provocados por agentes externos (Kader et al. 1978 b; Reid 2003; Watkins 2006 y Toivonen 2007).

La mayoría de estos estudios reflejan la influencia de los factores precosecha sobre los parámetros de calidad de los frutos tras su recolección sin abordar su comportamiento durante la conservación de éstos.

3.4.1. Influencia de la CE de la solución nutritiva en la calidad del tomate.

Distintos autores han mostrado como un aumento de la conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva puede mejorar la calidad del tomate (Ehret & Plant, 1999; Lin & Block, 1999 y Zushi & Matsuzone, 2011). Esta mejora de la calidad va a depender también del tipo de cultivar utilizado (Janse, 1995 y Kersten & Van Veen, 1998).

Auerswald (1999) llevó a cabo el cultivo de tomate (cv. Counter y cv. Vanessa) empleando distintas CE en la solución nutritiva (1,0; 3,5 y 6,0 dS·m⁻¹). Los frutos cultivados con una mayor salinidad presentaron una mayor concentración de azúcares y ácidos orgánicos, lo cual estaría asociado a un sabor más intenso (Petersen, 1998 y de Pascale, 2001).

Dorais et al. (2000) modificaron la CE en la solución nutritiva mediante la adición de NaCl y KCl (1,8 a 5,6 mS·cm⁻¹) lo que les permitió evaluar la producción y calidad de los frutos. A partir de los resultados obtenidos se observó que los frutos cultivados con una alta CE presentaron un sabor más intenso que aquellos cultivados con una menor concentración salina, sin existir diferencias significativas entre la concentración de SST y ácido cítrico determinados en los frutos procedentes de ambos tratamientos. Se asignó esa mejora en la calidad organoléptica a un aumento, en un 10-25%, de las concentraciones de los principales compuestos volátiles. Atendiendo a las características organolépticas, Fabre et al., en 2011 demostraron que los tomates cultivados bajo una mayor CE eran los preferidos por los consumidores.

Wu & Kubota (2008) cultivaron en sistema hidropónico tomates cv. Durinta con dos CE en la solución nutritiva (2,3 y 4,5 dS·m⁻¹). Los resultados mostraron que los frutos cultivados con mayor CE presentaron un mayor contenido de sólidos solubles totales (SST), lo cual fue entonces atribuido a mayores concentraciones de fructosa y glucosa.

En cuanto a la influencia en el color y la firmeza, Thybo et al. (2005) observaron que los tomates cultivados bajo altas CE presentaban una mayor coloración rojiza y una mayor firmeza en comparación con los frutos cultivados bajo condiciones menos salinas. Sin embargo, existen estudios en los que la firmeza no se vio afectada o incluso disminuía al aumentar la salinidad (Auerswald, 1999 y Krauss, 2006).

En cuanto a calidad nutricional son pocos los estudios que se han llevado a cabo, recibiendo una mayor atención el análisis de carotenos, concretamente licopeno. Esto es debido a que cada vez existen más estudios que demuestran que el licopeno posee efectos beneficiosos sobre el organismo humano. El licopeno presenta una fuerte acción preventiva en la aparición de cáncer de próstata, además, actúa protegiendo a las células humanas del estrés oxidativo mediante la acción de los radicales libres, que son uno de los principales responsables de las enfermedades cardiovasculares y del envejecimiento (Di Mascio et al., 1989; Gerster 1997; Nguyen & Schwartz, 1999; Riso et al, 1999; Giovannucci 1999; Goula & Adamopoulos, 2005; Javanmardi & Kubota, 2006; Chang et al., 2007 y Fernández et al., 2007).

Maggio et al. (2001) sometieron plantas de tomate (híbrido H601) a tratamientos con aguas salinizadas. En los frutos analizados detectaron que las concentraciones de carotenoides totales y licopeno se incrementaban gradualmente al igual que lo hacía la CE con las que habían sido tratados ($0,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ y $4,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Años más tarde Wu et al. (2004) obtuvieron resultados similares al producir tomates en cultivo hidropónico con dos CE diferentes ($2,4$ y $4,8 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). El aumento de licopeno presentado por los frutos cultivados con mayor CE fue observado en cinco variedades de tomate. Recientemente Borghesi et al. (2011), observaron la misma tendencia al aumentar la CE en la solución nutritiva de $3,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ a $5,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ durante el cultivo de distintas variedades de tomate (Alisa Craig, Anthocyanin fruit type, Atroviolaceum y Sun Black).

Leonardi eta al (2004) observaron que la concentración de licopeno presente en tomate aumentaba conforme lo hacía la CE ($4,5$, $6,0$ y $7,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$). Sin embargo, con la mayor CE estudiada, $8,6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$, la concentración del caroteno se vio reducida.

Existen también estudios en los que no se observaron diferencias significativas en el contenido de licopeno presente en tomates cultivados bajo distintas CE (Fernández-García et al., 2004; Serio et al., 2004 y Krumbein et al. 2006).

3.4.2. Estudios sobre la influencia del aporte de CO₂ sobre la calidad del tomate.

La concentración de dióxido de carbono en la atmósfera ha aumentado aproximadamente un 35% desde la era pre-industrial hasta el 2005 (IPCC, 2007), siendo el aumento de la concentración en estos últimos 100 años de 280 ppm a 368 ppm. Según las estimaciones, podemos esperar que en un año aumente un 1,5 ppm (Tuba et al., 2003), teniendo como consecuencia el incremento de la concentración de CO₂ a valores de 600-700 ppm a finales del siglo XXI (Woodward, 2002).

En cuanto al efecto sobre los cultivos, existen muchos estudios publicados sobre su influencia en la fisiología y productividad (Gifford, 1979; Catovsky & Bazzaz, 1999 y Weigel et al., 2005). Una elevada concentración de CO₂ de forma prolongada, por lo general, reduce la apertura de los estomas y la conductancia estomática, la cual está en estrecha relación con el aumento de la eficiencia de la utilización del agua en la fotosíntesis (Jarvis, 1993). En los invernaderos, un aumento de la concentración de CO₂ aumenta la velocidad de la fotosíntesis pero al mismo tiempo disminuye la tasa de transpiración de las plantas de tomate (Thongbai et al., 2010).

Por otro lado, el interés agrícola suscitado por la utilización de enriquecimiento carbónico en los invernaderos es debido a la mejora que se produce en la

producción de frutos, siendo del 15 al 20 % para cultivos de judía, pepino y pimiento (Sánchez-Guerrero, 1999; Sánchez-Guerrero et al., 2005 y Alonso et al., 2012).

Poorter et al., (1997), observaron que los niveles elevados de CO₂ aumentaban la acumulación de carbohidratos, pero reducían los minerales y los compuestos orgánicos en las hojas.

Sin embargo, aunque es conocido que un aporte de CO₂ mejora el rendimiento de los cultivos aun se ha de estudiar su influencia en la calidad del fruto (Ikhtiar Khan, 2012).

3.5. Influencia de factores poscosecha en la calidad del tomate.

Relativo a los factores poscosecha incidentes en la calidad, se ha de indicar que una vez recolectados los frutos, su calidad no se puede mejorar, solo se puede conservar. Para ello, el papel del frío es decisivo en la posrecolección al evitar pérdidas ligadas a daños mecánicos en la manipulación, a la elevada temperatura y a una excesiva duración del transporte y comercialización (IIR, 1996 y Artés, 1997).

3.5.1. Conservación refrigerada

El uso de una temperatura no óptima puede generar daños por frío (chilling injury), como depresiones en la epidermis, ablandamiento, infiltración acuosa en los tejidos del mesocarpo, pérdida de aroma y susceptibilidad a los ataques fúngicos y bacterianos (Marcellin, 1992 y Artés & Artés-Hernández, 2004)

Estos daños por frío además de depender de la temperatura de almacenamiento, dependen del periodo de exposición a ésta, del genotipo y del estado de madurez. Se han recomendado temperaturas de almacenamiento,

considerando que no inducen el desarrollo de daños visuales o importantes cambios composicionales (Hobson, 1981).

Según el Instituto Internacional del Frío (1994), se recomienda entre 10 y 16 °C, 90% HR y unas 3 semanas de conservación para el tomate verde e inicio de pitón. Artés et al. (2004), recomienda que en tomate verde a pintón, la temperatura de almacenamiento sea de 11 a 13°C. Mención aparte merecen los tomates de larga vida comercial o larga duración (Daniela, Durinta, Habana, Cristina, Sinatra, Abigail, Calvi, AR-168, ARTH-3, etc), los cuales no precisan de una conservación a bajas temperaturas.

Kader & Morris (1978), analizaron la influencia de la temperatura de conservación en el contenido de ácido ascórbico en tomate. La concentración de dicho ácido se vio reducida en un 5 y 12 %, cuando los frutos se conservaron a 30 y 40 °C, respectivamente.

Ramírez et al. (2004), estudiaron la influencia de la temperaturas de conservación (7, 9 y 23 °C) en el contenido de etileno, ácido-1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC), poligalacturonasa (PG), en muestras de tomate. Transcurridos 6 días se observó una mayor concentración de estos compuestos en los frutos conservados a 23 °C. Por lo que los frutos expuestos a una menor temperatura, 7 y 9 °C, presentaron una mayor vida útil.

Požrl et al. (2010) estudiaron la influencia de la temperatura y tiempo de exposición a la misma en la firmeza y color de muestras de tomate (cv. Monroe). Los frutos fueron conservados a 5 y 10°C durante 24 días. La firmeza disminuyó a lo largo del periodo de conservación, siendo esta disminución más importante en los frutos conservados a 10 °C. A partir de este estudio se pudo comprobar como estos parámetros de calidad dependían directamente de la temperatura de almacenamiento, siendo los frutos expuestos a 5°C temperatura los que obtuvieron menor pérdida de peso, un cambio de color menos intenso y menores cambios texturales, sugiriendo una mayor vida útil.

Un estudio similar fue llevado a cabo por Žnidarčič et al. (2010), en el cual tomates cv. Belle fueron conservados a 5 y 10°C durante un periodo máximo de 28 días. Transcurrido este tiempo se analizaron los parámetros físico-químicos, los cuales dieron resultados similares a los presentados por Požrl et al. (2010) en cuanto a la firmeza. En relación al color no obtuvieron diferencias significativas entre los frutos tratados con diferentes temperaturas. Tampoco obtuvieron diferencias significativas en relación al contenido en vitamina C.

Además de la influencia de la temperatura sobre los parámetros físico-químicos es importante apuntar el efecto de esta sobre la calidad sensorial. Maul et al. (2000) realizaron un estudio en el que analizaron el sabor y el aroma de tomate (cv. Solimar y BHN-189) expuestos a unas temperaturas de conservación de 5, 10, 12,5 y 20°C. Los resultados obtenidos, derivados de una evaluación sensorial, pusieron de manifiesto que los frutos conservados a 20 °C presentaban una mayor calidad sensorial.

3.5.2. Conservación en atmósfera modificada.

Si a la utilización adecuada de la temperatura y la humedad relativa, le añadimos una regulación óptima de los gases producidos durante el proceso respiratorio, obtendremos un trinomio excelente para la conservación de frutas y hortalizas.

Esta regulación de gases puede realizarse mediante la realización de envases con atmósferas modificadas (AM) o atmósferas controladas (AC), con la finalidad de contar con una composición atmosférica alrededor del producto que difiera de aquella del aire (78.08% de N₂, 20.95% de O₂ y 0.03% de CO₂). Usualmente esto involucra una reducción de oxígeno y/o elevación de la concentración de dióxido de carbono.

Los beneficios o perjuicios derivados del AM o AC dependen del producto, variedad, tipo de cultivo, estado fisiológico inicial, composición de la atmósfera, temperatura, humedad relativa y duración del almacenamiento, lo que explica que haya diferentes resultados para un mismo producto. A veces, la diferencia entre efectos favorables y desfavorables es pequeña, e incluso un determinado efecto favorable, como una atmósfera eficaz contra insectos u hongos, puede perjudicar al órgano vegetal (Artés, 2000).

La atmósfera modificada solo logra beneficios notables para los productos vegetales si éstos se mantienen bajo condiciones óptimas de temperatura, HR y composición en oxígeno, dióxido de carbono y etileno.

El tomate suele tolerar bien un mínimo de 3 % de O₂ y, como máximo, 5 % de CO₂, con ligeras variaciones según el estado de madurez, la temperatura, la duración del almacenamiento (su prolongación disminuye las tolerancias) y las presiones parciales de ambos gases, ya que una disminución del O₂ reduce la tolerancia al CO₂. Por ello, para conservar el tomate en atmósferas modificadas se han propuesto para frutos verdes a pintones a una temperatura de 12°C, de 3 a 5 % O₂ y de 1 a 3 % CO₂, para 14 a 30 días de conservación y para frutos rosados a rojos de 9 a 10°C, de 3 a 5 % O₂ y de 1 a 5 % CO₂, para 7 a 21 días de conservación, según variedades (IIR, 1995; Kader, 1997 y Artés, 2004).

Con la utilización de estas atmósferas se puede reducir la tasa respiratoria, frenar la biosíntesis del etileno, la maduración, el ablandamiento debido a las enzimas poligalacturonasa y pectinesterasa, la pérdida de acidez y de azúcares, la degradación de clorofilas, de antocianos y de carotenos (manteniendo el color de los productos) y la oxidación de lípidos, preserva el valor nutritivo (vit. A y C) y limita los daños por frío, la alteración microbiana y el pardeamiento enzimático. Sin embargo, la AM no es capaz de frenar una maduración avanzada si el producto la alcanza de forma natural. Los beneficios llegan a ser más notables si la atmósfera de equilibrio se alcanza rápidamente (Artés, 1977, 2002 y Marcellin & Ulrich, 1983).

Generalmente, cuanto menor es la concentración de O_2 y mayor la de CO_2 (dentro de sus límites de tolerancia) y más larga es la permanencia del producto en AC o AM, más intensos son los efectos residuales favorables (Artés, 2000 y Kader, 1990, 2002).

Para lograr esas atmósferas de equilibrio se ha de tener en cuenta las interacciones entre la respiración del producto, la permeabilidad del polímero y la atmósfera externa (Artés 1974, 1977, 2000; Marcellin, 1970,1974,1986; Kader, 1986, 1990, 2002 y Varoquaux, 1999).

3.5.2.1. Procedimientos matemáticos y optimización para el envasado de frutas y hortalizas en atmósfera modificada.

Para lograr el diseño de un envase que mantenga una atmósfera deseada, es necesario seleccionar las combinaciones apropiadas de grosor del film, el área del film y el peso de los frutos.

Se han realizado varios procedimientos matemáticos para predecir y optimizar estas variables de envasado (Henig & Gilbert, 1975; Hayakawa et al., 1975; Yang & Chinnan, 1988; Cameron et al., 1989 y Beaudry et al., 1992). Sin embargo, en la mayoría de los casos estos procedimientos no fueron validados.

Gong & Corey en 1994, desarrollaron un estudio para predecir el estado estacionario de la concentración O_2 en un sistema de atmósfera pasiva modificada para tomate. Estos investigadores, introdujeron frutos en envases herméticamente cerrados y representaron la composición atmosférica presente en el espacio de cabeza de los mismos. El consumo de O_2 , como consecuencia del proceso respiratorio del tomate, se ajustó a una ecuación polinómica de segunda orden. A partir de los coeficientes obtenidos de la ecuación pudo determinarse la

concentración en el equilibrio de O₂ presente en el interior de envases permeables. Estos autores validaron el método empleando para ello films de distintas permeabilidades.

Unos años más tarde Jacxsens et al (1999), basándose en trabajos como el realizado por Gong & Corey propusieron un método para el diseño de envases óptimos para productos de IV gama. Para ello calcularon la composición atmosférica y tasa respiratoria de manzana procesada a partir de un sistema cerrado. La tasa respiratoria fue calculada por los métodos descritos por Hagggar et al. (1992) y Gong & Corey (1994).

Los errores experimentales y la naturaleza compleja del proceso respiratorio son limitantes para desarrollar modelos predictivos. El desarrollo de técnicas analíticas y equipos, así como la sofisticación de herramientas informáticas para el ajuste y la integración numérica, han llevado en las últimas décadas a mejorar los estudios sobre la determinación de modelos predictivos respiratorios aunque aún es necesario realizar un mayor esfuerzo en esta materia. (Fonseca et al., 2002).

Material y métodos

4. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Materiales

4.1.1. Equipos

- Balanza analítica (AB104S/FACT, Mettler Toledo, Suiza); peso máximo 110g, precisión 10 mg.
- Balanza de precisión (PB3001-S/FACT, Mettler Toledo, Suiza); peso máximo 3100g, precisión 5g.
- Texturómetro (TA-Xt-Plus, Stable Micro System, ANAME, Reino Unido).
- Espectrofotocolorímetro (CM-.700d/600d, Konica Minolta Sensing, Inc., Japón).
- Licuadora de uso doméstico (Frutti Pro, Moulinex, España).
- Refractómetro automático (SMART-1, Atago, Japón).
- Valorador automático (862, Metrohm, Suiza).
- Cámara fotográfica (Lumix DMC-FZ100, Panasonic, Suecia).
- Congelador (Ultra-Low, Sanyo, Japón) ($-80^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$).
- Agitador orbital (HT, Labotron, España).
- Ultra-Turrax (T18 basic, IKA, Alemania).
- Cámara termotestada (Frigo-Mago, España); software Servifrío HMI.
- Cromatógrafo de gases (CP 3800, Varian, Holanda) adaptado con dos sistemas de detectores (TCD-FID) y columnas capilares: CP MOLSIEVE (5A, 30m, 0.53mm, 15 μm) y CP-PORABOND Q (25m, 0.53mm, 10 μm).
- Espectrofotómetro UV-Vis (UNICAM 8625, Unicam, Reino Unido).

4.1.2. Reactivos

- Acetona HPLC 99.7% (J. T Baker Serviquimia S.L, España).
- BHT (butilhidroxitolueno) purísimo (Fluka, Alemania).
- Etanol absoluto (J.T Baker Serviquimia S.L, España).
- n-Hexano 97% (Sigma-Aldrich, Barcelona).
- Hidróxido sódico 97% (Panreac, Barcelona)

4.1.3. Gases de calibración

Para la cuantificación de CO₂, O₂ y etileno se emplearon los patrones que aparecen en la Tabla 4.1.3.1. Las mezclas usadas para la calibración fueron proporcionadas por Abelló Linde y certificadas mediante análisis gravimétrico de acuerdo con la norma ISO 6142-1981 (F). Para la recta de calibrado se empleó además las áreas obtenidas tras analizar aire considerando un contenido en O₂ del 20,9% y 0,03% en el caso de CO₂.

Tabla 4.1.3.1. Composición de los patrones empleados para la realización de la recta de calibrado.

PATRÓN	C ₂ H ₄ (vpb)	CO ₂ (%)	O ₂ (%)	N ₂ (%)
P1: N°308110	100	0,1	0,5	Resto
P2: N°309801	500	5	2	Resto
P3: N°301972	1	10	5	Resto
P4: N°300537	3	16	10	Resto

4.2. Metodología

4.2.1. Material vegetal

Los tomates tipo Raf (cv. Delizia) destinados al estudio de la influencia de la temperatura de conservación en la calidad y vida útil de los mismos (Ensayo 1), fueron aportados por Agrupalmería S.A. (La Cañada).

Por otro lado, el efecto de la CE de la solución nutritiva y aporte de CO₂ en la calidad poscosecha, respiración y producción de etileno (Ensayo 2 y 3), fue determinado en tomates tipo Raf (cv. Delizia) suministrados por el grupo de Producción Agraria del centro IFAPA La Mojonera, quien llevó a cabo el cultivo de los mismos (Sánchez González M.J., 2012).

Los tomates fueron cultivados en dos invernaderos dentro del centro IFAPA La Mojonera, de 720 m² cada uno, sobre contenedores de 27 L de perlita B12, situando dos plantas por contenedor. Las líneas se dispusieron orientadas Norte-Sur formando un marco de plantación de 2,5 plantas/m². El cultivo estuvo expuesto a dos CE en la solución nutritiva y dos concentraciones de CO₂ diferentes (Tabla 4.2.1.1.). Para la exposición de los frutos a una concentración CO₂ superior a la ambiental se dispuso de un invernadero dotado de este sistema con bloques de 6 botellas que contenían CO₂ puro y cuyos emisores estaban distribuidos en la base de las plantas. La concentración de este gas en la atmósfera del invernadero se midió de forma continua mediante analizadores, instalados a 2 metros de altura, que determinan la absorción de infrarrojo del gas (IRGA). Estos analizadores estaban conectados al controlador de clima CDC, el cual gestionaba la ventilación, sombreado, etc.

Para el aporte de la disolución nutritiva se dispuso de un equipo de fertirrigación automatizado CDN, dotado de sensores de control que permiten un ajuste automático de pH y CE de la disolución nutritiva a los valores establecidos.

Las plantas se trasplantaron el 29 de septiembre de 2011 y los frutos fueron recolectados el 24 de febrero de 2012 en un ciclo de cultivo otoño-invierno.

Tabla 4.2.1.1. Nomenclatura y condiciones de cultivo empleadas en los distintos tratamientos en estudio

TRATAMIENTOS^a

	S4		S7		S4C		S7C	
	SN	SL	SN	SL	SN	SL	SN	SL
CE(dS·m ⁻¹)	3,90 ± 0,40	6,80 ± 1,20	6,50 ± 0,50	12,20 ± 2,70	3,80 ± 0,40	6,10 ± 1,10	6,60 ± 0,50	12,90 ± 3,20
[CO ₂] (μmol·mol ⁻¹)	370		370		550		550	

^aValores determinados por el grupo de Producción Agraria del centro IFAPA La Mojonera (Sanchez Gonzalez M.J., 2012).
SN= solución nutritiva, SL= solución lixiviada.

Antes de cada experimento, se llevó a cabo un exhaustivo muestreo donde se seleccionaron aquellos tomates que, en ausencia de defectos, presentaban homogeneidad en tamaño y color, con la finalidad de obtener frutos con semejante estado de madurez. Considerando la influencia que la maduración del fruto ejerce en los distintos parámetros de calidad (Reid M.S., 2003) es necesario partir de muestras similares, lo que permitirá determinar la influencia directa que ejercen los tratamientos (pre- y poscosecha) empleados en la calidad de los frutos.



Imagen 4.2.1.1. Muestras seleccionadas para el estudio en el que se evalúa la influencia de la temperatura de conservación en la calidad y vida útil del fruto (Ensayo 1).

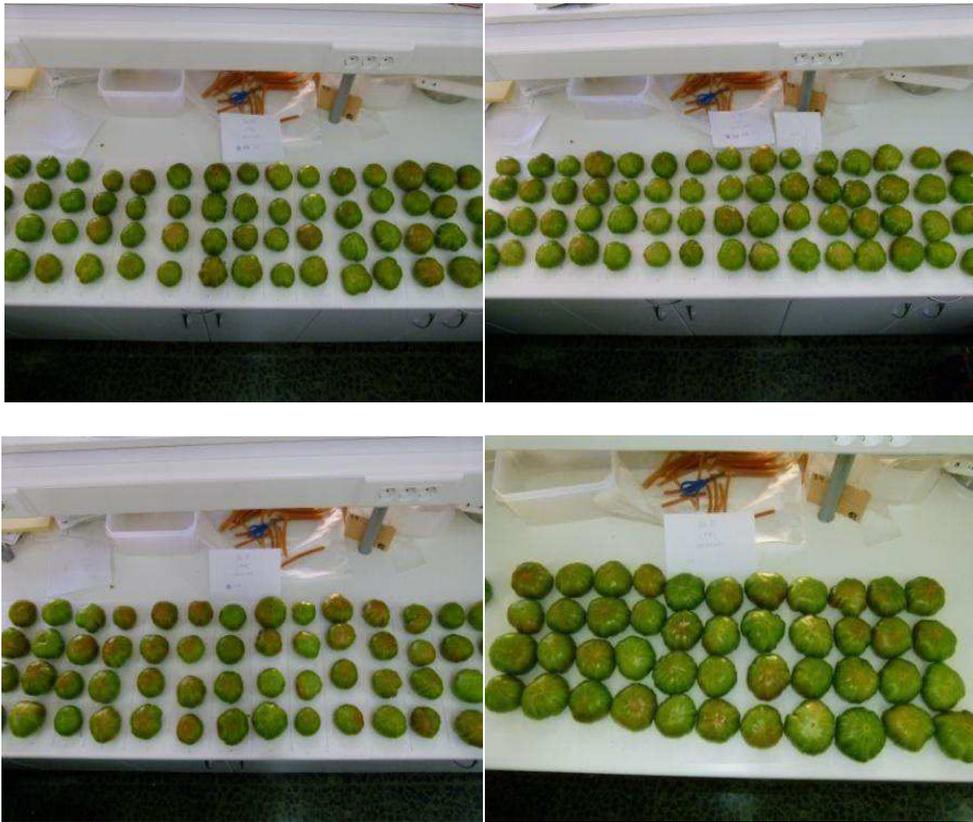


Imagen 4.2.1.2. Muestras seleccionadas para el estudio en el que se evalúa los factores precosecha en la calidad y vida útil del fruto a 20°C (Ensayo 2).

Una vez seleccionados los frutos, éstos se agruparon en réplicas constituidas por cinco tomates, para su distribución en las cámaras frigoríficas programadas a las temperaturas en estudio. Los tomates fueron conservados en bandejas de polipropileno. Cada día de análisis fueron analizadas tres réplicas por tratamiento. De forma paralela se conservaron tres réplicas destinadas a la determinación de la vida útil.

Como se ha indicado anteriormente las muestras destinadas a la determinación de la tasa respiratoria, producción de etileno y diseño del sistema de envasado fueron cultivadas bajo los distintos tratamientos precosecha en estudio. En este caso, se seleccionaran 18 tomates de cada uno de los tratamientos (S7, S4, S7C y S4C), lo que permitió contar con 3 réplicas, constituidas por 3 tomates cada una de ellas, por tratamiento y temperatura en estudio (20 y 10 °C).

4.2.2. Conservación

Las condiciones de conservación establecidas como idóneas para la conservación de tomate son 10-12 °C (Cantwell, 2007). Sin embargo la FAO estima que la temperatura óptima para la conservación de tomates verdes-pintones estaría comprendida entre 12.5-15 °C. En este estudio los tomates fueron expuestos a 10, 13 y 20 °C. La humedad relativa utilizada durante todo el periodo de conservación fue del 90%.

En el Ensayo nº1, los tomates fueron analizados al inicio del experimento. Los frutos conservados a 20 °C fueron analizados tras 3,5 días, los mantenidos a 10 y 13 °C tras 7 días y aquellos que tras su conservación a 10 y 13 °C fueron transferidos a 20 °C permanecieron dos días más a dicha temperatura hasta ser analizados. Los frutos conservados a 10 y 13 °C fueron expuestos a una temperatura superior, 20 °C, para hacer evidentes los posibles daños por frío en el caso de estar éstos en estado de latencia (Artés, 2003).

Para determinar la vida útil de los frutos se conservaron tres réplicas en las mismas condiciones que las establecidas en cada tratamiento hasta ser consideradas no aptas para su comercialización.

Para el Ensayo nº2, los frutos cultivados bajo distintas condiciones de salinidad y CO₂ fueron conservados a 20 °C y 90 % H.R. Las muestras fueron analizadas tras su recolección y tras 3 y 5 días de conservación. También en este caso, se conservaron de forma paralela 3 réplicas por tratamiento destinadas a la determinación de la vida útil.

Para la realización del estudio respiratorio (Ensayo nº3), los frutos fueron conservados en cámaras frigoríficas a 10 y 20 °C.

4.2.3. Análisis de calidad

4.2.3.1. Parámetros físico-químicos

En primer lugar, se determinaron aquellos parámetros no destructivos como la determinación del peso (para estimar las pérdidas por deshidratación), color en superficie y firmeza del fruto. Seguidamente se limpiaron los tomates con un paño húmedo, reservando una porción de cada fruto para la evaluación del sabor. De forma conjunta se licuaron los trozos de tomate derivados de la misma réplica.

Parte del licuado obtenido fue empleado para la determinación de color en pulpa y contenido en licopeno. El resto fue filtrado mediante una gasa estéril y el zumo obtenido fue empleado en la determinación de sólidos solubles, pH y acidez.

- *Pérdida de peso*

Se pesaron cada una de las réplicas el día inicial y a continuación el día de su análisis. Por diferencia de pesada pudo determinarse la pérdida de peso (%), tal y como se indica en la siguiente ecuación.

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \left(\frac{g \text{ día inicial} - g \text{ día final}}{g \text{ día inicial}} \right) \times 100$$

- *Firmeza*

Este parámetro fue analizado en cada uno de los tomates, mediante el empleo de un texturómetro (Imagen 4.2.3.1.1), como una función de la fuerza requerida para producir una deformación de 5 mm a una velocidad de 10 mm/min

(Artés y et al., 1999). La medición se realizó en dos puntos equidistantes en la zona ecuatorial del fruto.



Imagen 4.2.3.1.1. Texturómetro empleado para la determinación de la firmeza en las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia)

- *Color*

La medida de color en la superficie se realizó en cada uno de los tomates presentes en las distintas réplicas antes de procesarse. Se determinó el color en tres puntos equidistantes de la zona ecuatorial (Gil et al., 2002) mediante el empleo de un espectrofotocolorímetro y se expresó como valores CIELab. Este sistema de medida pretende acercarse a la percepción humana del color. Aporta una tripleta de coordenadas que permiten situarse colorimétricamente en un lugar del espacio. Estas coordenadas están correlacionadas con tres conceptos básicos que se pueden distinguir en toda apreciación del color, los denominados: Hue, tono o color base, Luminosidad y Chroma, saturación. Para la determinación del color en las distintas muestras se empleó el ángulo Hue ($^{\circ}$ Hue).

La luminosidad es L^* ($L^*=100$ blanco, $L^*=0$ negro). La cromaticidad (tono y croma) es indicada por a^* y b^* conjuntamente, a^* representa el eje que va desde colores verdes ($-a^*$) hasta colores rojos ($+a^*$) y b^* representa el eje que evoluciona desde azul ($-b^*$) hasta amarillos (b^*). Cada color viene dado por tres valores de estas coordenadas, que representan un punto en el espacio tridimensional (Imagen 4.2.3.1.2.).

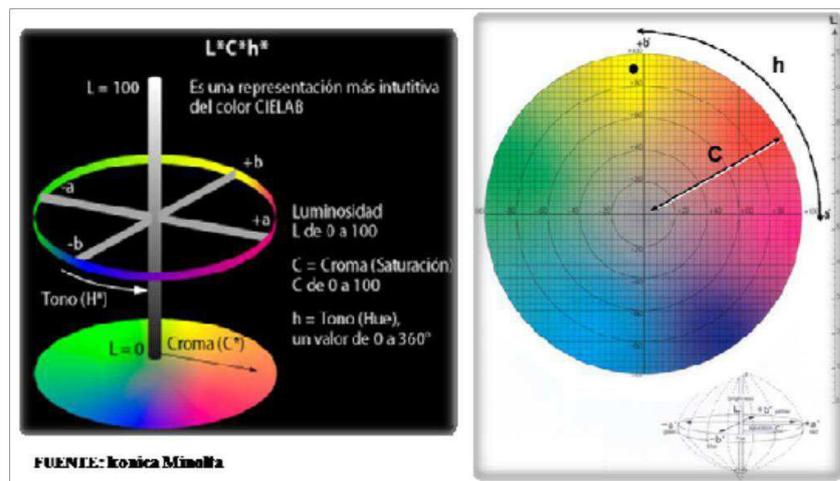


Imagen 4.2.3.1.2. Representación de las coordenadas del color CIE Lab.

Las medidas de color en pulpa se determinaron con el mismo espectrofotocolorímetro pero haciendo uso de un adaptador y una cubeta específicos para tal fin. Para obtener dichos valores, se realizó una medida de color por réplica en la pulpa obtenida inmediatamente después de haber sido triturada.

La determinación del ángulo Hue ($^{\circ}H$) se lleva a cabo mediante el empleo de la siguiente ecuación:

$$\sigma = \left(\frac{\arctan\left(\frac{a}{b}\right)}{6.2832} \right) \times 360 \rightarrow \begin{cases} a > 0 \text{ y } b \geq 0; h = \sigma \\ a < 0 \text{ y } b \geq 0; h = 180 + \sigma \\ a < 0 \text{ y } b < 0; h = 180 + \sigma \\ a > 0 \text{ y } b < 0; h = 360 + \sigma \end{cases}$$

- *Sólidos solubles totales (SST)*

Los sólidos solubles totales fueron medidos con un refractómetro automático a temperatura ambiente, expresando el resultado como °Brix. Se obtuvo un resultado por réplica a partir de la mezcla obtenida del triturado de los cinco tomates.

- *pH y acidez titulable (AT)*

Tanto la determinación del pH como la acidez se llevaron a cabo con un titrador automático.

Para realizar la determinación de ambos parámetros se pesaron 2 g del zumo filtrado y se adicionaron 60g de agua destilada. Para la determinación de la acidez, la mezcla se valoró con NaOH 0,1N hasta alcanzar pH=8,1 (AOAC, 1984). Los resultados se expresaron en % ácido cítrico:

$$\% \text{ ácido cítrico} = \left(\frac{0,064 \times V \times N}{P} \right) \times 100$$

N= normalidad de NaOH (0.1 N)

V= mL de NaOH empleados para valorar

0,064= factor para el ácido cítrico

P= peso de la muestra (zumo de tomate triturado) en gramos

- *Índice de madurez (SST/AT)*

El índice de madurez de cada réplica viene expresado como el cociente entre sólidos solubles totales / acidez titulable.

4.2.3.2. Análisis sensorial

La determinación de la calidad sensorial de los tomates se llevó a cabo por un panel constituido por 5 evaluadores. Para cada tratamiento se evaluaron conjuntamente las tres réplicas para evitar la variabilidad propia del producto. Con la finalidad de no influir en el evaluador, las réplicas fueron codificadas numéricamente con seis cifras evitando así la identificación del tratamiento.

Para las distintas evaluaciones se ha hecho uso de una escala empleada anteriormente por distintos autores (Artés et al., 1999, Gil et al., 2002).

- *Calidad visual general*

Hace referencia a la apariencia global del producto teniendo en cuenta el color y la presencia de alteraciones aparecidas durante el periodo de conservación. Para su evaluación se ha tenido en cuenta que se trata de un producto que se comercializa en estado pintón. Se observaron las tres réplicas de los tratamientos y se calificaron de manera conjunta en una escala del 1 al 9, donde:



Figura 4.2.3.2.1. Escala empleada para la evaluación de la calidad visual general de las muestras de tomate en estudio.

- *Aroma*

Este parámetro se evaluó a partir del fruto entero, utilizando la siguiente escala (1-5), siendo 3 el límite de comercialización:



Figura 4.2.3.2.2. Escala empleada para la evaluación del aroma de las muestras de tomate en estudio.

- *Sabor*

Este parámetro se evaluó inmediatamente tras partir los tomates, evitando así la alteración de los mismos lo cual afectaría a los resultados de la evaluación. Se evaluó al igual que el aroma empleando una escala del 1 al 5, considerando 3 como el límite de comercialización.

4.2.4. Determinación del contenido en licopeno

Tras el procesado de los tomates, se pesaron en un tubo Falcon 400 mg del triturado procedente de cada una de las réplicas. Las muestras se conservaron a -80 °C, hasta el momento de ser analizadas. La extracción y determinación del caroteno se llevó a cabo mediante una adaptación del protocolo propuesto por Fish et al.,

2002. Para ello a los 400 mg del triturado de tomate se añadieron 0,6 g de agua destilada, 5 ml BHT (0.05% en acetona), 5 ml etanol 95 % y 10 ml de n-hexano. La mezcla fue homogeneizada mediante el empleo de un Ultra-Turrax. El tiempo empleado en esta etapa, 30 segundos, fue previamente optimizado, permitiendo mejorar el % de recuperación sin ocasionar la evaporación de los disolventes.

La mezcla fue agitada durante 15 minutos a 150 rpm. Transcurrido este tiempo se añadieron 3 ml de agua destilada, manteniendo la muestra en agitación durante otros 5 minutos.

A continuación, la fase orgánica fue analizada mediante el empleo de un espectrofotómetro. La concentración de licopeno pudo determinarse a partir de valores de absorbancia obtenidos a 503 nm (Figura 4.2.4.1).

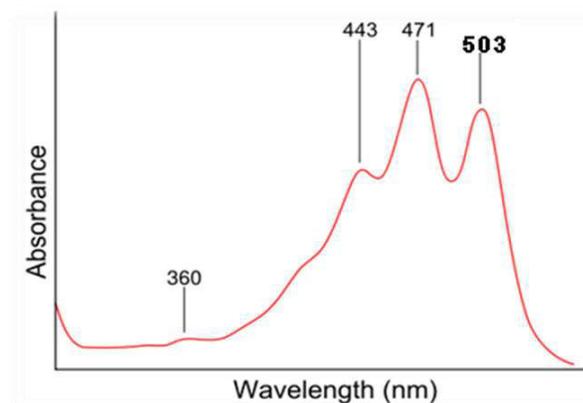


Figura 4.2.4.1. EspectroUV-Vis del licopeno.

Los carotenos una vez extraídos de la matriz vegetal son más sensibles a sufrir procesos de oxidación por efecto de la temperatura o de la presencia de luz (fotooxidación) por lo que tanto la extracción como el análisis se llevaron a cabo a baja temperatura, mediante el empleo de hielo y en oscuridad.

El contenido en licopeno expresado como mg/100g de producto fresco, fue cuantificado mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Licopeno} \left(\frac{\text{mg}}{100 \text{ gp. f.}} \right) = \left(\frac{A_{503}}{17,2 \times \left(\frac{10^4}{M} \times \text{cm} \right)} \right) \times \left(\frac{536,9 \text{ g}}{\text{mol}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ L}}{10^3 \text{ mL}} \right) \times \left(\frac{10^3 \text{ mg}}{1 \text{ g}} \right) \times \left(\frac{10 \text{ mL}}{\text{kgtejido}} \right) \times \left(\frac{1 \text{ kg}}{10^3} \right) \times 100$$

4.2.5. Determinación de la vida útil

La determinación de la vida útil se realizó en base a una evaluación de calidad visual general de los tomates. Para ello se conservaron tres réplicas procedentes de cada uno de los tratamientos. La vida útil de los tomates viene determinada por el número de días que los tomates fueron evaluados favorablemente (≥ 5) (Figura 4.2.3.2.1).

4.2.6. Determinación de la tasa respiratoria y producción de etileno. Diseño de un envase óptimo para la conservación de tomate tipo Raf (cv. Delizia)

Para la determinación de la tasa respiratoria se seleccionaron un total de nueve tomates por tratamiento y temperatura (10 y 20 °C), los cuales fueron divididos en grupo de tres y a continuación introducidos en recipientes de vidrio, por lo que se contó con un total de tres réplicas por tratamiento y temperatura en estudio. Estos recipientes se cerraron herméticamente mediante el empleo de tapones de silicona que fueron sellados con un material polimérico.

Como se puede observar en la siguiente imagen (Imagen 4.2.6.1.) los tapones estaban dotados de un puente de muestreo, fabricado con goma de silicona, que facilitaba el bombeo y la extracción de los gases presentes en el espacio de cabeza.



Imagen 4.2.6.1. Disposición de los recipientes y detalle de su sellado para la determinación de la tasa respiratoria y producción de etileno en sistema cerrado a las temperaturas de 20°C (A) y 10°C (B).

Los análisis se realizaron diariamente y por duplicado para cada una de las réplicas por un periodo de 12 días. Para eliminar errores en el muestreo derivados de la estratificación de los gases en el interior de los envases, se llevó a cabo, con ayuda de una jeringa, un bombeo manual (60 repeticiones). A continuación, 1mL de muestra fue analizado mediante el empleo de un cromatógrafo de gases.

El cromatógrafo de gases estaba dotado de dos detectores en serie (TCD-FID), dos columnas y un sistema de válvulas lo cual permitía la separación y por tanto determinación en un único análisis de CO_2 , O_2 , N_2 y C_2H_4 , siguiendo el esquema que se muestra a continuación (Figura 4.2.6.1. y Figura 4.2.6.2.).

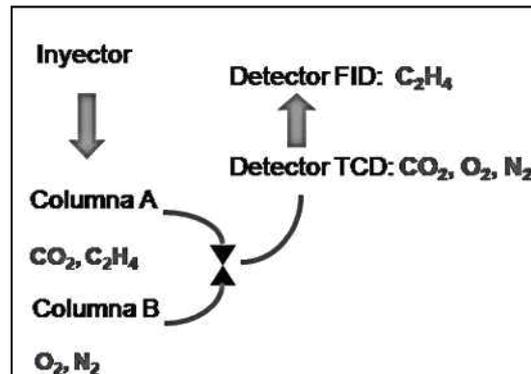


Figura 4.2.6.1. Esquema del cromatógrafo de gases adaptado para la determinación conjunta de CO_2 , O_2 , N_2 y C_2H_4 .

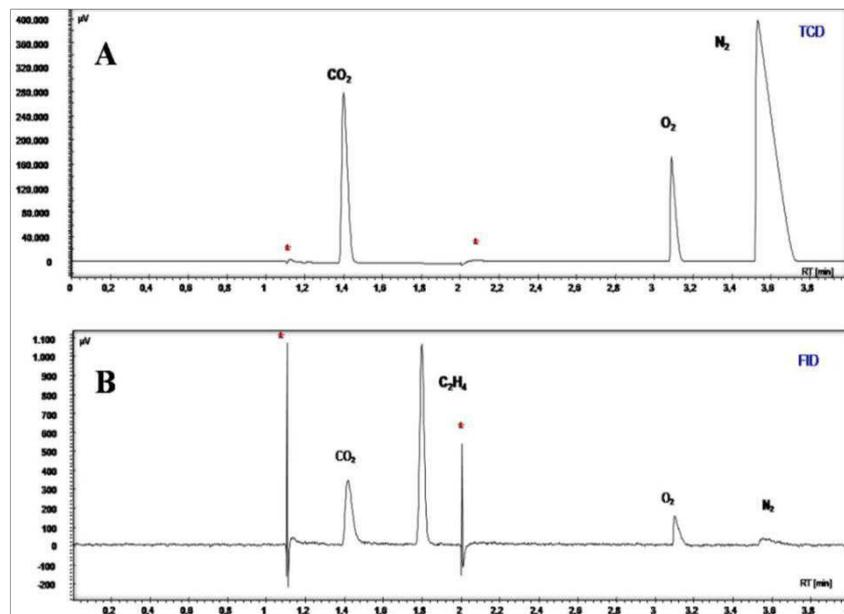


Figura 4.2.6.2. Cromatogramas obtenidos a partir de una muestra patrón conteniendo CO_2 , O_2 , N_2 y etileno. A) Señales adquiridas en el detector de conductividad térmica (TCD), B). Señales adquiridas en el detector de llama (FID) *ruidos electrónicos correspondiente al cierre/apertura de la válvula.

- **Determinación de las tasas respiratorias**

La determinación de las tasas respiratorias de las distintas réplicas se realizó a partir de los valores de CO₂ y O₂ determinados en el interior del envase, empleando para ello el peso de los tomates (kg), el volumen de espacio de cabeza (mL) y el tiempo de conservación (h), considerando como tiempo inicial el del cierre del envase.

$$TR(\text{CO}_2) = \frac{(\% \text{CO}_{2\text{tf}} - \% \text{CO}_{2\text{ti}}) \cdot V}{100 \cdot P \cdot (t_f - t_i)} \quad TR(\text{O}_2) = \frac{(\% \text{O}_{2\text{tf}} - \% \text{O}_{2\text{ti}}) \cdot V}{100 \cdot P \cdot (t_f - t_i)}$$

V = volumen espacio de cabeza (mL)

P = peso de los frutos (kg)

t_i = tiempo inicial (h); t_f = tiempo de conservación (h),

- **Determinación de la producción de etileno**

La producción de etileno se llevó a cabo empleando la metodología utilizada en la determinación de la tasa respiratoria, mediante el empleo de la siguiente ecuación. Los resultados fueron expresados en nmol C₂H₄ / kg·s.

$$\frac{(\text{nmol C}_2\text{H}_4)}{\text{kg} \cdot \text{s}} = \left(\frac{\mu\text{L}}{\text{kg} \cdot \text{h}} \right) \cdot \left(\frac{1\text{m}^3}{10^9\mu\text{L}} \right) \cdot 101,325 \text{ Pa} \cdot \left(\frac{1\text{mol} \cdot \text{k}}{83443\text{m}^3\text{Pa}} \right) \cdot \left(\frac{1}{273 + 25\text{k}} \right) \cdot \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}} \right) \cdot \left(\frac{10^9\text{nmol}}{1\text{mol}} \right)$$

- **Diseño de un envase óptimo para la conservación de tomate tipo Raf (cv. Delizia).**

Para el diseño de un envase óptimo se ha empleado el modelo propuesto por Gong & Corey (1994) el cual permite la determinación de la tasa respiratoria asociada a una determinada concentración de O₂ presente en el interior del envase.

Para ello se ha representado la evolución de la composición atmosférica (%CO₂ y %O₂) presente en el interior de envases, herméticamente cerrados, en función del tiempo.

Dicha evolución se ajustó a una ecuación polinómica de segundo orden:

$$(O_2) = at^2 + bt + c$$

$$(CO_2) = a't^2 + b't + c'$$

De esta forma y a partir de las derivadas parciales se ha calculado la TRCO₂ y TRO₂, considerando el volumen de espacio de cabeza y el peso del fruto:

$$d \frac{(O_2)}{dt} = 2at + b$$

$$d \frac{(CO_2)}{dt} = 2a't + b'$$

(O₂) = concentración de O₂ mL/100mL

(CO₂) = concentración de CO₂ mL/100mL

t = tiempo (h)

a,b,c,a',b',c' = coeficientes

$$TRO_2(\text{mL O}_2/(\text{kg} \cdot \text{h})) = \left(\frac{d(\text{O}_2)}{dt} \right) \cdot \left(\frac{V}{P} \right) \cdot 100$$

$$TRCO_2(\text{mL CO}_2/(\text{kg} \cdot \text{h})) = \left(\frac{d(\text{CO}_2)}{dt} \right) \cdot \left(\frac{V}{P} \right) \cdot 100$$

V= volumen de espacio de cabeza (mL)

P= peso del fruto (kg)

La concentración de O₂ óptima para el envasado de los frutos fue extraída a partir de los valores del cociente respiratorio (CR), el cual fue obtenido a partir de la siguiente expresión:

$$CR = \frac{\frac{d(\text{CO}_2)}{dt}}{\frac{d(\text{O}_2)}{dt}}$$

Una vez conocida la concentración de O₂ y la TRO₂ determinada a partir del ajuste matemático, la permeabilidad del film a emplear para el envasado de los frutos fue calculada mediante la siguiente fórmula:

$$OTR \left(\frac{\text{mL}}{\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}} \right) = \left(\frac{TR \cdot P(\text{kg})}{D(\text{m}^2) \cdot \left(\frac{\%O_2 \text{ out} - \%O_2 \text{ in}}{100} \right)} \right) \cdot 24$$

TRO₂= tasa respiratoria de oxígeno en mL/kg·h

P = peso en kg

D = dimensión del film en m²

4.2.7. Representación de datos y análisis estadístico.

La representación de los datos que se muestran a continuación fueron obtenidos empleando el software Sigma-plot 10.0 (Sytat Software Inc., Richmond, CA).

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó mediante el test de varianza unidireccional (ANOVA) y la prueba Tukey ($p < 0.05$), empleando el paquete estadístico PAS Wstatistics 1.9 for Windows (SPSS Inc., Chicago, USA).

Resultados y discusión

5. RESULTADOS

5.1. Determinación de la influencia que ejerce la temperatura de conservación en la calidad y vida útil de tomate Raf (cv. Delizia) (Ensayo n°1).

Una de las estrategias de conservación de frutas y hortalizas más empleada es la refrigeración. Una refrigeración adecuada puede reducir la pérdida cuantitativa y cualitativa, producida básicamente por desórdenes fisiológicos y podredumbres, retrasarla maduración y senescencia y por lo tanto prolongarla vida comercial de los productos hortofrutícolas (Artés, 1987 y Martínez-Jávega, 1997). Sin embargo, hay que tener en cuenta la existencia de frutos, fundamentalmente de origen tropical y subtropical, entre los que se encuentra el tomate, susceptibles a sufrir daños por frío (Kader, 1997 y Salveit, 1997). Estos daños se traducen en una serie de desórdenes fisiológicos y bioquímicos entre los que se incluyen una maduración anormal, aparición de manchas en la piel, elevada actividad respiratoria y pérdida de peso (Salveit & Morris, 1990).

Estos daños por frío (chilling injury) van a estar directamente relacionados con la temperatura y tiempo de exposición a la misma durante el periodo de conservación, la humedad relativa, la presencia de daños producidos durante el desarrollo del fruto o su recolección y al estado fisiológico del fruto (Thompson et al., 2007).

Con la finalidad de alargar la vida útil del tomate tipo Raf (cv. Delizia) es necesario, en primer lugar, considerar su conservación a baja temperatura. Desde este estudio se pretende evaluar la influencia que ejerce la temperatura de conservación en la calidad de este cultivar de tomate. Para ello se han seleccionado las temperaturas de 10, 13 y 20 °C. Las condiciones de conservación establecidas como idóneas para la conservación de tomate son 10-12°C y 90 % de humedad relativa (Cantwell, 2007). Por otro lado, la FAO establece el rango de temperaturas 12,5-15 °C para la conservación de tomate verde-pintón. La temperatura de 20 °C está descrita como óptima para la maduración del fruto.

Como se describe en el apartado de material y métodos, los frutos fueron expuestos a las temperaturas de conservación de 10 y 13°C durante 7 días, transfiriendo parte de estos frutos a 20°C, temperatura en la que permanecieron 2 días más (9 días). Este cambio de temperatura permitiría emular una situación comercial y evaluar la existencia de daños por frío, ya que éstos se presentan una vez el fruto ha sido transferido a una temperatura superior.

5.1.1. Parámetros físicos

En la figura 5.1.1.1.se representa la pérdida de peso experimentada por los frutos una vez finalizado su periodo de conservación. Los frutos conservados durante 7 días a una temperatura de 13°C experimentaron una menor pérdida de peso ($1,40 \pm 0,29\%$) que aquellos sometidos a 20 °C durante 3,5 días ($2,38 \pm 0,35\%$). La pérdida de peso, debida a un proceso de deshidratación, está relacionada directamente con la temperatura de conservación, un descenso óptimo de la temperatura conllevaría a una menor tasa respiratoria y con ello una menor pérdida de peso asociado a este proceso (Guerra, 1996; Ball, 1997 y Ponce de León, 1997).

La mayor pérdida de peso experimentada por los frutos fue observada cuando los tomates conservados durante 7 días fueron mantenidos otros dos días a 20 °C ($3,03 \pm 0,24 \%$). Sin embargo, ésta fue menor que la observada en tomate tipo Raf (cv. Conquista) en las mismas condiciones de conservación y estado de madurez ($7,91 \pm 1,30 \%$) (Vila I., 2011). En ese caso, la considerable pérdida de peso experimentada por los frutos se reflejó en un claro marchitamiento del tomate lo cual no ha sido observado en el cultivar objeto de este estudio (Imagen 5.1.1.1.).

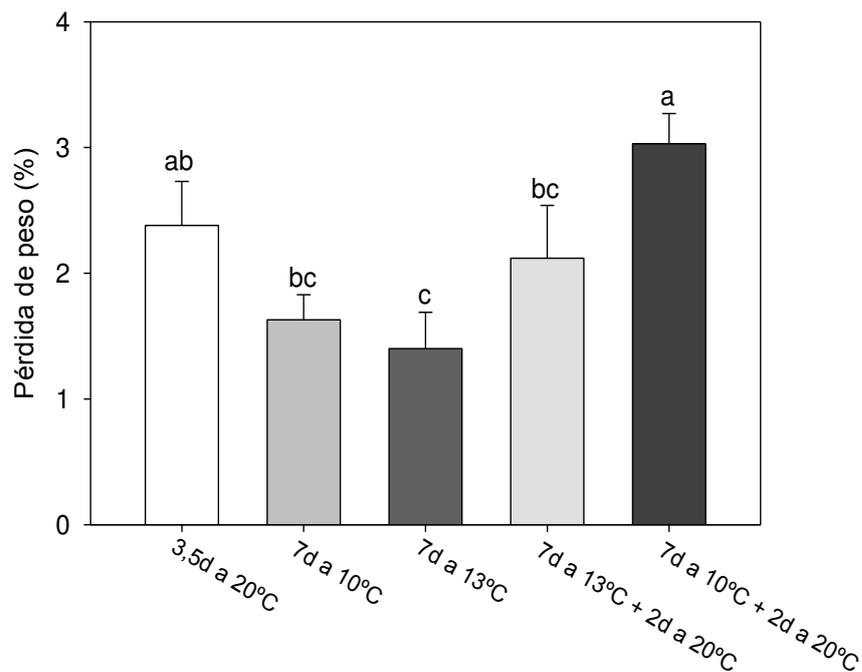


Figura 5.1.1.1. Pérdida de peso observada en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación. Diferentes letras indican que existen diferencias significativas entre tratamientos a $p \leq 0.001$

Como se ha comentado en la introducción, los híbridos Delizia y Conquista han sido desarrollados para mejorar alguna de las características del tomate Raf (resistencia a Fusarium, tolerancia a nematodos, mejor vigor en la planta y uniformidad de calibre y color en temprano), y se trata de los dos cultivares de mayor producción y comercialización bajo la denominación de tomate Raf.

Estos resultados ponen de manifiesto lo expresado por Crisosto et al., 2003, los cuales dan al cultivar y al genotipo un efecto muy importante en la calidad de las frutas y hortalizas, en la incidencia y en la severidad de los daños producidos por agentes externos. Ello hace necesario evaluar la influencia que la temperatura ejerce en los distintos frutos a conservar. Además es preciso, hacerlo en el estado de madurez indicado para su comercialización, ya que éste va a influir considerablemente en el comportamiento poscosecha de los frutos.

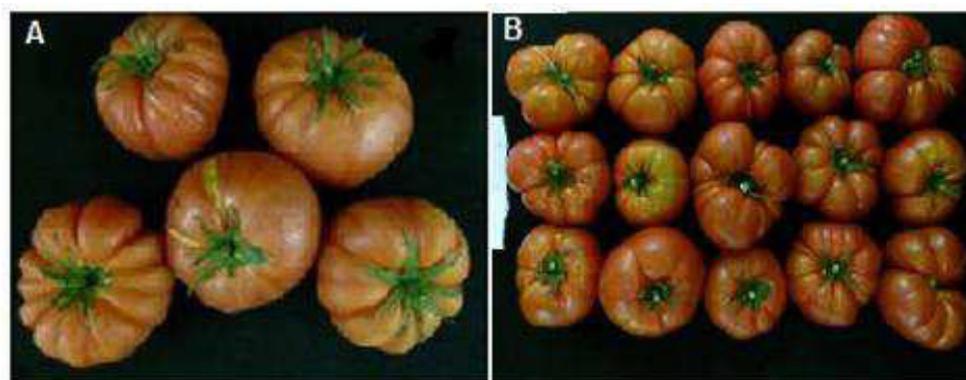


Imagen 5.1.1.1. A) Marchitamiento de tomate tipo Raf (cv. Conquista) conservado a 10°C durante 7 días y posteriormente mantenidos otros 2 días a 20°C. **B)** Tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 10°C durante 7 días y posteriormente mantenidos a 20°C durante 2 días.

En la figura 5.1.1.2. se representan los valores de firmeza obtenidos para los tomates tras su recolección (día inicial) y tras los distintos periodos de conservación establecidos. En dicha figura puede observarse como la firmeza disminuye durante la conservación de los frutos en función de la temperatura y tiempo de exposición a la misma.

No se observaron diferencias significativas entre los valores de firmeza obtenidos en los frutos conservados durante 7 días a 10 y 13 °C. Cuando los tomates fueron transferidos a 20 °C, temperatura a la que permanecieron durante dos días más, se observó un descenso notable de la firmeza, alcanzando valores de $10,80 \pm 2,26$ N y $12,05 \pm 1,91$ N para los frutos conservados previamente a 10 y 13°C respectivamente. Valores similares a los obtenidos para las muestras conservadas a 20 °C ($11,76 \pm 3,89$ N). No obstante los valores de firmeza obtenidos tras los distintos periodos de conservación están considerados como aptos para la comercialización de los frutos, ya que 8-10 N es considerado el límite inferior de firmeza aceptable para la comercialización al por menor y el consumo (Artés et al, 1998 y Artés1999).

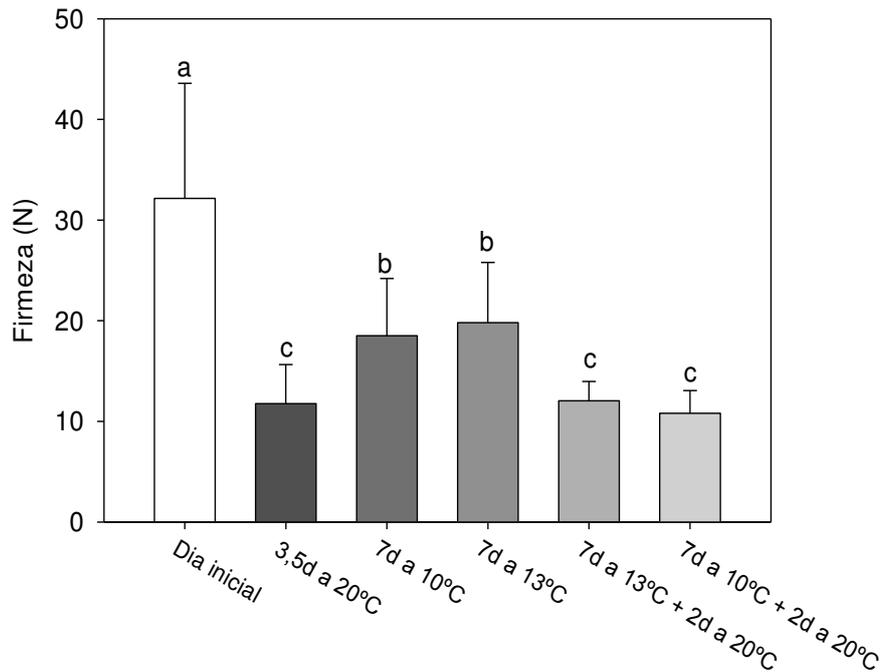


Figura 5.1.1.2. Firmeza observada en muestras de tomate tipo Raf(cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación. Diferentes letras indican que existen diferencias significativas entre tratamientos a $p \leq 0.001$

Estas diferencias de firmeza durante la conservación son debidas a la pérdida de humedad de los frutos debido a la transpiración, a la despolimerización de las pectinas de la pared celular y de la lámina media de los tejidos del parénquima debido a la acción mayoritariamente de las enzimas polisacárido hidrolasas (Giovannoni, 2001) estando todo relacionado con la temperatura y tiempo de conservación tal y como han descrito distintos autores (Zhuang et al., 2003).

Para la evaluación del color se determinó el ángulo Hue ($^{\circ}$ Hue). En la tabla 5.1.1.1. se muestran los resultados obtenidos para los frutos conservados a distintas temperaturas. Los frutos, inicialmente de coloración verdosa ($95,75 \pm 5,98$ $^{\circ}$ Hue) presentan tras la conservación una coloración rojiza, asociada a valores inferiores de $^{\circ}$ Hue como consecuencia del proceso de maduración.

Los frutos conservados durante 7 días a 13 °C y a continuación 20 °C fueron los que exhibieron valores de °Hue inferiores. No se observaron diferencias significativas en los valores de °Hue obtenidos para los frutos conservados 7 días a 13 °C y 3,5 días a 20 °C, sin embargo, los tomates conservados durante 7 días a 10 °C se correspondieron con valores de °Hue superiores y por lo tanto de coloración menos rojiza, ($64,70 \pm 6,22$ °Hue), lo que está de acuerdo con la ralentización de los procesos metabólicos a bajas temperaturas.

Como puede observarse en la tabla 5.1.1.1. el color fue analizado tanto en la superficie como en la pulpa (triturado) del fruto, en ambos casos fue similar el efecto que la temperatura y tiempo de conservación ejerció en este parámetro. Al inicio del experimento se obtuvieron valores similares de °Hue. Sin embargo una vez comenzado el proceso de maduración, se observaron diferencias significativas entre los valores de °Hue obtenidos en la superficie y la pulpa, siendo inferiores los valores obtenidos en la pulpa del fruto, lo que indica una coloración más rojiza en el interior del mismo estando de acuerdo con una maduración “de dentro hacia afuera” asociada a esta variedad de tomate.

Tabla 5.1.1.1. Evolución del color (°Hue) en superficie y pulpa en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación.

Tratamiento	Color Superficie °H	Color Pulpa °H
Inicio	$95,75 \pm 5,98$ a	$98,94 \pm 2,45$ a
3,5d 20 °C	$55,61 \pm 9,12$ c	$46,10 \pm 1,95$ c
7d 10 °C	$64,70 \pm 6,22$ b	$55,38 \pm 2,02$ b
7d 13°C	$52,84 \pm 4,96$ c	$46,29 \pm 1,22$ c
7d 13 °C+ 2d 20°C	$42,05 \pm 2,57$ e	$37,52 \pm 0,65$ d
7d 10°C+ 2d 20 °C	$46,75 \pm 2,97$ d	$37,46 \pm 0,96$ c
Análisis de Varianza	***	***

Diferencias significativas *** $p \leq 0.001$. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos.

Esta evolución del verde hacia el color rojizo es significativo de la maduración del tomate durante el climaterio. Durante el proceso de maduración se produce la degradación de las clorofilas así como la síntesis de carotenos, fundamentalmente licopeno responsable del color rojo del tomate (Artés et al., 2002).

5.1.2. Parámetros químicos

En la tabla 5.1.2.1. se recogen los valores obtenidos para los parámetros químicos, sólidos solubles totales, pH, acidez e índice de madurez (SST/AT) de las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservadas a distintas temperaturas.

Tabla 5.1.2.1. Evolución de los parámetros químicos en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación.

	^o Brix	pH	Ác. cítrico (%)	SST/AT
Inicio	4,84 ± 0,34 b	3,84 ± 0,01 b	0,57 ± 0,02 a	8,41 ± 0,73 d
3,5d 20 °C	7,03 ± 0,54 a	4,06 ± 0,09 b	0,52 ± 0,05 ab	13,39 ± 0,58 b
7d 10 °C	6,05 ± 0,35 ab	4,74 ± 0,27 a	0,55 ± 0,01 b	11,00 ± 0,38 c
7d 13 °C	6,43 ± 0,59 ab	4,61 ± 0,00 a	0,46 ± 0,04 b	13,78 ± 0,17 b
7d 13°C+ 2d 20°C	7,08 ± 0,12 a	4,62 ± 0,04 a	0,46 ± 0,01 b	15,41 ± 0,29 a
7d 10°C+ 2d 20 °C	6,23 ± 0,65 ab	4,57 ± 0,03 a	0,49 ± 0,02 ab	12,61 ± 0,65 b
Análisis de Varianza	**	***	**	***

** p ≤ 0,01, *** p ≤ 0,001. Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos.

Como se observa en la tabla anterior, los sólidos solubles totales o ^oBrix aumentaron durante el periodo de conservación, lo cual es atribuible al proceso de maduración en el cual se produce la hidrólisis de almidones, que se desdoblaron en

monosacáridos y disacáridos más simples, como sacarosa, fructosa y glucosa (Fennema, 1993; Seymour et al., 1993; Gallo, 1997; Kays & Paul, 2004 y Budde, et al. 2006). Este aumento en el contenido de sólidos solubles totales ha sido más observado durante 3,5 días a 20 °C y los tratados a 13°C durante 7 días y a continuación mantenidos 2 días más a 20° C.

En cuanto al pH del zumo, no se observaron diferencias significativas entre las muestras conservadas 7 y 9 días, sin embargo fueron inferiores los valores de pH determinados en los tomates recién recolectados y tras 3,5 días a 20 °C (Tabla 5.1.2.1.). Para un buen sabor en los frutos de tomate, se consideran valores de pH inferiores a 4,4 y contenido en SST superior a 4 - 4,5 °Brix (Nisen et al, 1990).

En cuanto a la acidez titulable, como puede observarse en la tabla 5.1.2.1., tras el periodo de conservación no se observaron diferencias significativas entre las distintas muestras analizadas, lo que indica que la concentración de ácido cítrico presente en el tomate no se vio influenciada por las condiciones de conservación evaluadas. Sin embargo, la acidez determinada en las muestras conservadas durante 7 días a 10 y 13 °C así como aquellas conservadas 7 días a 13 °C y luego mantenidos 2 días a 20 °C fue significativamente inferior a la acidez observada en las muestras iniciales.

En la tabla 5.1.2.1. se incluyen también los valores correspondientes al índice de madurez, definido como el cociente entre SST y AT, determinado en las distintos frutos. Al analizar este parámetro se observaron diferencias significativas entre los frutos procedentes de las distintas condiciones de conservación evaluadas. Fueron los tomates sometidos a 13 °C y a continuación mantenidos 2 días a 20 °C los que exhibieron un mayor índice de madurez ($15,41 \pm 0,29$) seguido de aquellos conservados 7 días a 13 °C ($13,78 \pm 0,17$) y 3,5 días a 20 °C ($13,39 \pm 0,58$).

La evolución observada en los distintos parámetros de calidad físico-química pone de manifiesto que la conservación del fruto a la temperatura de 10 y 13 °C, permite ralentizar la maduración del fruto, sin ocasionar alteraciones en sus reacciones metabólicas.

5.1.3. Análisis sensorial

En la figura 5.1.3.1. se puede observar la influencia de la temperatura de conservación sobre la calidad visual general de los frutos.

En ella puede observarse como los tomates tras su recolección fueron evaluados más favorablemente. Tras el periodo de conservación establecido las muestras fueron evaluadas favorablemente a excepción de los frutos sometidos a 13 °C durante 7 días y mantenidos a continuación durante otros 2 días a 20 °C. Los evaluadores consideraron que las muestras de tomate procedentes de este último tratamiento presentaban un avanzado estado de madurez, considerando su coloración rojiza (menor valor de °Hue) y no resultando los frutos aptos para su comercialización. Ello además, estaría de acuerdo con los resultados extraídos a partir del cociente SST/AT ya que fueron las muestras sometidas un total de 9 días a 13 y posteriormente a 20 °C, las que presentaron un mayor índice de madurez.

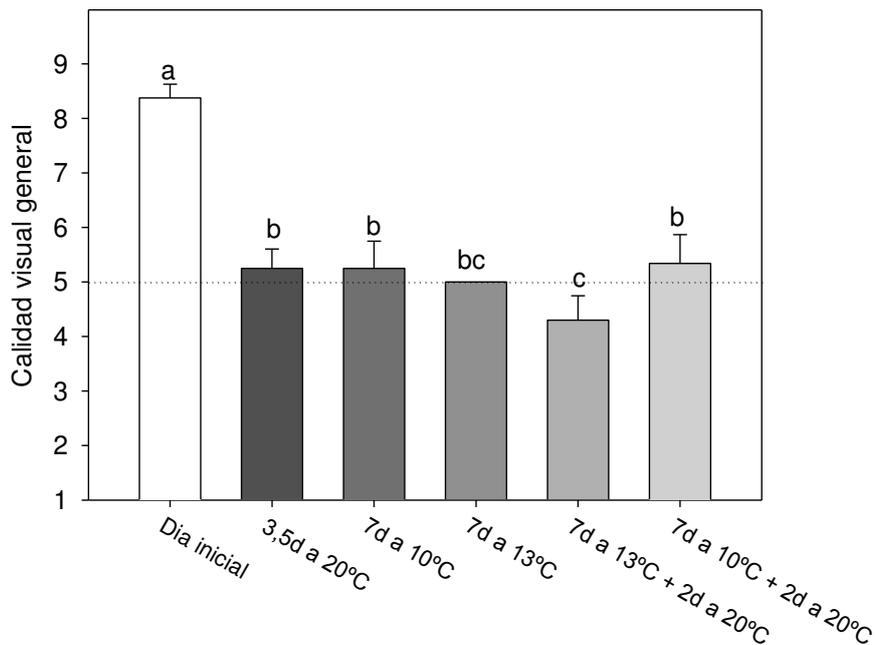


Figura 5.1.3.1. Evolución de la calidad visual general en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación. Diferentes letras indican que existen diferencias significativas entre tratamientos. La línea discontinua indica el límite de comercialización.

En relación al aroma, el tomate puede producir hasta 400 compuestos volátiles, los cuales son sintetizados durante la maduración de los frutos (Pedro-Turza, 1987 y Baldwin et al., 2000). De este gran número de compuestos volátiles, solo unos 30 son considerados como relevantes en la percepción de este parámetro sensorial (Buttery, 1993). En este estudio, no se encontraron diferencias significativas en el aroma apreciado en las distintas muestras analizadas (Figura 5.1.3.2.). Todos los frutos, aquellos analizados tras su recolección y los tomates sometidos a los distintos tratamientos de conservación presentaron un aroma característico de este fruto, siendo evaluados en todos los casos como aptos para su comercialización.

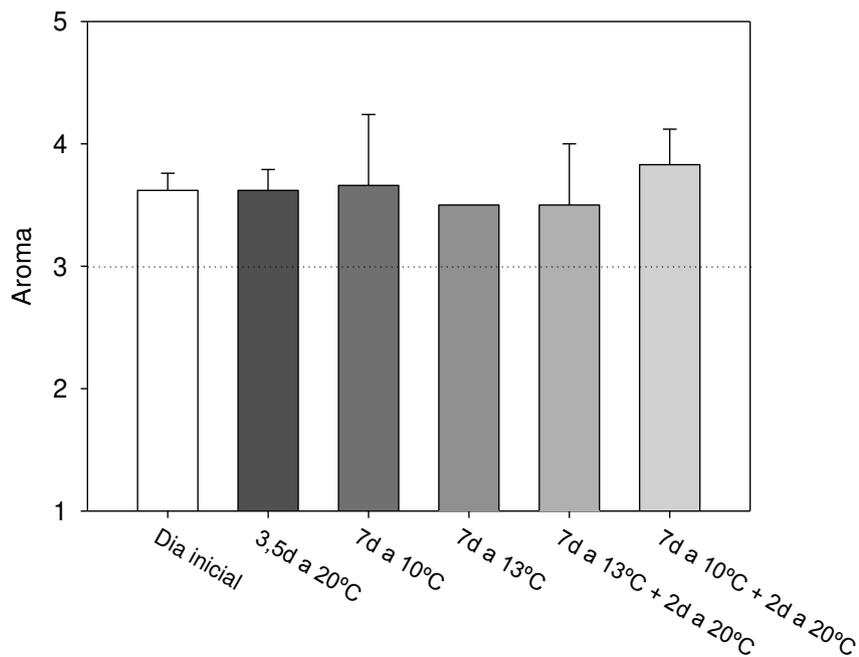


Figura 5.1.3.2. Evolución del aroma en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación. La línea discontinua señala el límite de comercialización.

En la figura 5.1.3.3. se representan los resultados obtenidos en la evaluación del sabor. Este parámetro sensorial si se vio influenciado por el tratamiento de conservación empleado. Los frutos que presentaron un mejor sabor fueron aquellos conservados durante 3,5 días a 20 °C y los tomates analizados tras su recolección (día inicial). No obstante, los evaluadores consideraron todos los frutos analizados aptos para su comercialización.

El sabor está vinculado al contenido en azúcares, ácidos orgánicos así como sustancias volátiles (Escobar, 2012). Además, como se ha citado anteriormente, Nisen et al (1990) describió que el sabor de los frutos está también vinculado al pH de los mismos, considerándose para un buen sabor valores de pH inferiores a 4,5 a la vez que un contenido en SST superior a 4 - 4,5 °Brix. Ello está de acuerdo con los resultados obtenidos, ya que las muestras evaluadas más favorablemente son las que han presentado valores de próximos a estos descritos. Los tomates procedentes de los distintos tratamientos han presentado un contenido de SST superior a 4,5 °Brix.

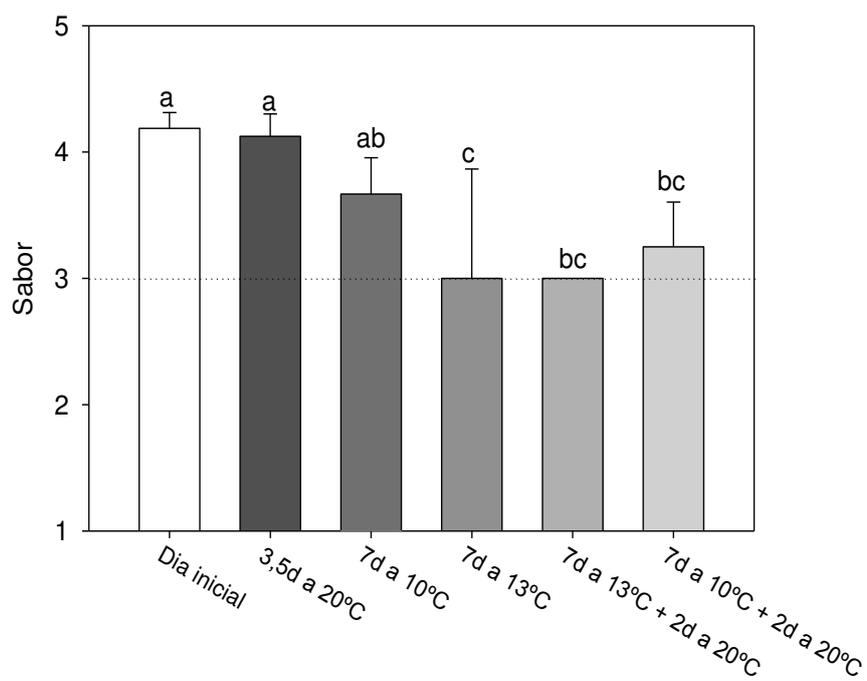


Figura 5.1.3.3. Evolución del sabor en muestras de tomate tipo Raf sometidas a diferentes temperaturas de conservación. Diferentes letras indican que existen diferencias significativas entre tratamientos. La línea discontinua indica el límite de comercialización.

5.1.4. Contenido en licopeno

En la figura 5.1.4.1. se representa el contenido de licopeno presente en las muestras de tomate tras su recolección (día inicial) y una vez sometidas a los distintos tratamientos de conservación.

Se observaron diferencias significativas en las concentraciones de licopeno (mg/100g p.f.) obtenidas para las muestras sometidas a los distintos tratamientos de conservación. El menor contenido en licopeno fue observado en las muestras iniciales y aquellas conservadas durante 7 días a 10 °C, mientras que el mayor contenido del caroteno fue determinado en las muestras conservadas durante un

mayor tiempo (9 días). Fueron los tomates conservados 7 días a 13 °C y luego mantenidos otros dos días a 20 °C los que presentaron un mayor contenido en licopeno ($4,28 \pm 0,20$ mg/100g p.f.), a la vez que una mayor coloración rojiza, seguidos de aquellos conservados a 10 °C y a continuación 20 °C ($3,14 \pm 0,01$ mg/100 g p.f.).

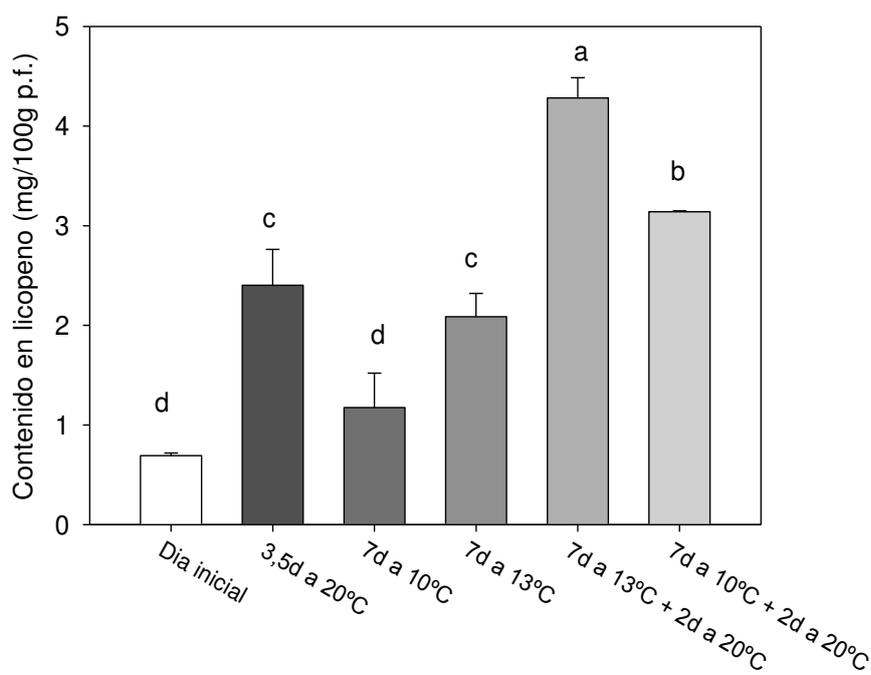


Figura 5.1.4.1. Contenido de licopeno en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) sometidas a diferentes temperaturas de conservación. Diferentes letras indican que existen diferencias significativas entre tratamientos a $p \leq 0.001$.

Estos resultados siguen la tendencia de otros ensayos como el elaborado por Javanmardi et al., 2006, donde estudiaban el efecto de la temperatura de conservación en el contenido de licopeno de tomates (cv. Clermon) conservados durante 7 días a 5 y 12 °C. El contenido de licopeno de estos frutos fue comparado con el de tomates conservados a temperatura ambiente (25-27 °C) durante el mismo periodo de tiempo. Entonces, los tomates conservados a temperatura ambiente presentaron una mayor concentración de licopeno mientras la menor concentración del caroteno fue observada en los frutos conservados a 5 °C.

Como se ha observado anteriormente la concentración a baja temperatura permite ralentizar las reacciones metabólicas y con ello la biosíntesis de licopeno tal y como se desprende a partir de los resultados obtenidos a 10 y 13 °C (Figura 5.1.4.1.). Sin embargo, la producción del caroteno aumenta una vez los frutos son expuestos a una temperatura superior, lo cual viene a corroborar que las temperaturas en estudio no originan alteraciones en el metabolismo de los frutos.

5.1.5. Estudio de la vida útil

La determinación de la vida útil estaba basada en la apreciación de los parámetros físicos del fruto, aspectos que son los que el consumidor considera a la hora de tomar su decisión de compra. Para ello, se consideró la apariencia externa, color (coloración uniforme y característica de la variedad de tomate), marchitamiento (debido a la pérdida de peso) y al mismo tiempo la firmeza del fruto. De forma que la vida útil de los tomates viene determinada por el número de días fueron evaluados favorablemente (≥ 5), considerando 5 como límite de comercialización.

Los tomates conservados a 20 °C resultaron aptos para su comercialización un total de 5 días. Los frutos conservados a 13 °C presentaron una vida útil de 7 días a dicha temperatura, cuando las muestras fueron expuestas a una temperatura superior (20 °C) fueron consideradas no aptas para su comercialización. En cambio, los tomates conservados a 10 °C durante 7 días, fueron evaluados favorablemente durante su conservación posterior a 20 °C hasta un total de 3 días, por lo que la vida útil de estos frutos fue estimada en 10 días.

La temperatura de 10 °C, permitió ralentizar el proceso de maduración sin producir alteraciones en las reacciones metabólicas tal y como se desprende de los resultados obtenidos tras transferir los frutos de 10 °C a una temperatura superior (20 °C). Por lo que se puede considerar 10 °C como una temperatura óptima para la conservación de tomate tipo Raf (cv Delizia) durante un periodo de conservación máximo de 7 días, periodo de refrigeración evaluado en este estudio. Al conservar

los frutos a 13 °C la vida útil se vio aumentada en sólo 2 días, con respecto a la conservación a 20 °C. Las muestras que fueron consideradas de mejor sabor fueron las conservadas a 20 °C.

5.2. Determinación de la influencia que el aumento de la conductividad eléctrica (CE) en la solución nutritiva y aporte de CO₂ ejercen sobre la calidad y vida útil del tomate tipo Raf (cv. Delizia) (Ensayo nº2).

A pesar de que la calidad de frutas y hortalizas después de la cosecha solo puede conservarse, no mejorarse, es poca la investigación que se ha destinado a conocer la influencia que distintos factores precosecha ejercen sobre la calidad poscosecha de los frutos.

En este estudio se evalúa el efecto que sobre la calidad y vida útil del tomate tipo Raf (cv. Delizia) ejerce la conductividad eléctrica (CE) de la solución nutritiva así como el aporte de CO₂. Distintos autores han descrito el efecto positivo que un aumento de la CE ejerce en la calidad del tomate (Lin & Block, 1999 y Zushi & Matsuzone, 2011). En cambio, el aporte de CO₂ durante el cultivo es una técnica en expansión debido la mejora en términos productivos (Bindi et al, 2001 y Sánchez-Guerrero et al., 2005). Sin embargo, es necesario determinar la influencia que una atmósfera enriquecida en CO₂, y ésta en combinación con la salinidad, ejerce sobre la calidad y vida útil de los frutos. Los factores precosecha frecuentemente interactúan en formas complejas que dependen de las características del cultivar, por lo que este estudio resulta de gran interés (Crisosto & Mitchell, 2003).

A ello se suma que como consecuencia del cambio climático, en los últimos años la concentración de CO₂ ha ido en aumento, de hecho se considera que tendrá lugar un incremento anual de 1,5 ppm (Tuba et al, 2003). A finales del siglo XXI se prevé que la concentración de CO₂ presente en la atmósfera se duplique (600-700 ppm)(Long, 1991). Desde la poscosecha, es de gran interés estimar la influencia que ejerce en la calidad un aumento de la concentración de este gas lo que permitirá una

vez conocidos sus efectos estudiar distintas estrategias de cultivo que, en las futuras condiciones climáticas, permitan aumentar la calidad final de los frutos.

Este trabajo se ha realizado en colaboración con el grupo de Producción Agraria del centro IFAPA La Mojonera el cual ha llevado a cabo el cultivo de esta variedad de tomate empleando distintas CE (≈ 4 y $7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) a la vez que distintas concentraciones de CO_2 ($370 \mu\text{mol mol}^{-1}$ y $550 \mu\text{mol mol}^{-1}$) (Sánchez González, 2011). Para estudiar la influencia de los factores precosecha en la calidad de los frutos durante su vida comercial los tomates procedentes de los distintos tratamientos, mostrados en la siguiente tabla, han sido conservados a $20 \text{ }^\circ\text{C}$ y 90% H.R., condiciones idóneas para una óptima maduración de los frutos (Cantwell, 2007).

	CE ($\text{dS}\cdot\text{m}^{-1}$)	$[\text{CO}_2]$ ($\mu\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$)
S7	$6,50 \pm 0,5$	370
S4	$3,90 \pm 0,4$	370
S7C	$6,60 \pm 0,5$	550
S4C	$3,80 \pm 0,4$	550

5.2.1. Parámetros físicos

En la siguiente tabla (Tabla 5.2.1.1.) se incluyen los resultados estadísticos obtenidos para los parámetros físicos analizados, atendiendo a los distintos tratamientos en estudio y al tiempo de conservación. En dicha tabla puede observarse como los tratamientos precosecha empleados afectan, a excepción del color en pulpa, al resto de variables en estudio.

Tabla 5.2.1.1. Análisis de la varianza de los cambios en pérdida de peso, firmeza, color en piel y pulpa de las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO₂ empleadas durante su cultivo así como el tiempo de conservación a 20 °C.

	Pérdida de peso (%)	Firmeza (N)	°h (superficie)	°h (pulpa)
CE	ns	***	***	ns
CO₂	***	ns	ns	ns
CE x CO₂	***	***	ns	ns
Tiempo	***	***	***	***
CE x CO₂ x Tiempo	ns	ns	ns	ns
N	24	360	540	36

ns, diferencias no significativas, diferencias significativas *** $p \leq 0.001$

En la figura 5.2.1.1 se representa la pérdida de peso experimentada por los tomates durante el periodo de conservación, la cual aumenta con el tiempo de almacenamiento debido a la continua eliminación de agua asociada a la transpiración de los frutos (Ball, 1997). Además pueden observarse diferencias significativas entre tratamientos, siendo las muestras cultivadas con una menor CE y aporte extra de CO₂ (S4C) las que exhibieron los valores de pérdida de peso inferiores, siendo estos tras 5 días de conservación de $1,20 \pm 0,07\%$ frente a $2,03 \pm 0,13\%$, valores obtenidos para los frutos cultivados en presencia de una menor CE y sin aporte extra de CO₂ (S4).

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto que la concentración de CO₂ durante el cultivo de tomate Delizia influye en la pérdida de peso experimentada por los frutos cultivados con una menor concentración salina ($p \leq 0.001$), de forma que un aumento en la concentración de CO₂ conllevaría a una menor pérdida de peso.

Estudios preliminares llevados a cabo por diferentes autores han puesto de manifiesto como el aporte de CO₂ podría ocasionar un aumento en el contenido de materia seca (Porter & Semenov, 1993 y Chen & Setter, 2012). Este hecho sumado a una menor tasa de transpiración (Gohil et al, 2010), también asociada a concentraciones de CO₂ superiores a la atmosférica, permitirían explicar los resultados obtenidos, sin embargo es necesario remarcar que dicha influencia es sólo significativa cuando los frutos son cultivados con una menor CE.

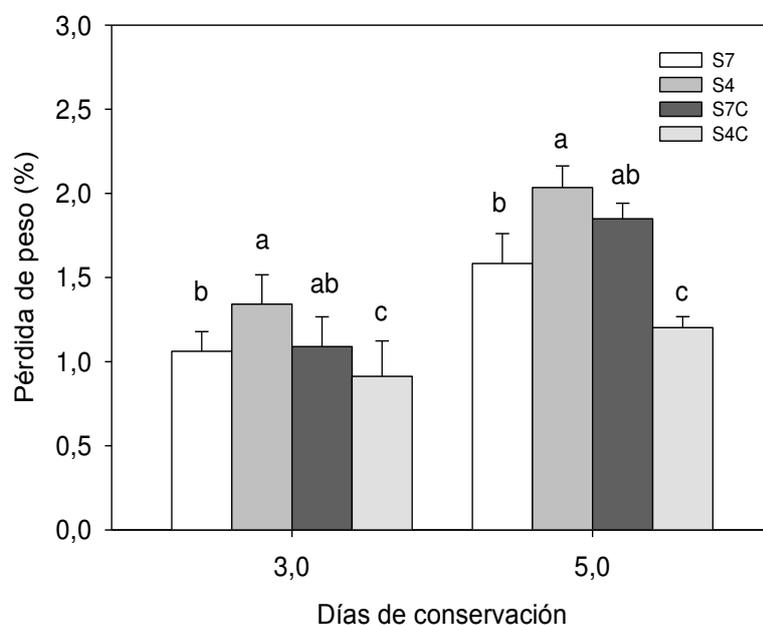


Figura 5. 2. 1. 1. Evolución de la pérdida de peso observada durante la conservación a 20 °C de tomates tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO₂.

La firmeza de los frutos se vio también afectada por el tratamiento empleado durante el cultivo de las muestras (Tabla 5.2.1.1). En la siguiente tabla (Tabla 5.2.1.2.) se incluyen los valores de firmeza obtenidos para los distintos frutos y días de análisis. En ella puede observarse como los tomates tratados con una menor CE en la solución nutritiva y sin aporte extra de CO₂ (S4), fueron los que presentaron una menor firmeza a lo largo del periodo de conservación.

Como consecuencia de la despolimerización de las pectinas presentes en la pared celular la firmeza disminuye durante la maduración de los frutos. Sin embargo, todos los tomates analizados presentaron una firmeza superior a 8N, 8-10 N es considerado el límite inferior de firmeza aceptable para la comercialización al por menor y el consumo (Artés, 1999 y Artés et al, 1998).

A partir de los datos estadísticos presentados en la Tabla 5.2.1.1. se aprecia como la salinidad influye significativamente en la firmeza de los frutos cuando estos están cultivados en una atmósfera no enriquecida con CO₂ ($p \leq 0.001$).

En este sentido, estudios previos en tomate han mostrado como la firmeza de los frutos aumentaba conforme lo hacía la CE del agua de riego (Del Amor et al, 2001) a diferencia de otros trabajos que muestran la tendencia contraria (Macnish et al, 1997 y Krauss et al, 2006). También se ha reportado como en muestras de cultivares de tomate larga vida (rin/+) la firmeza no se vio influenciada por un aumento de la salinidad (Cuarteto et al., 1999), lo cual pone de manifiesto que la influencia que ejerce este tratamiento en la firmeza va a depender en gran medida de la variedad de tomate en estudio así como de la metodología empleada para la determinación de este parámetro.

Por otro lado, Islam et al., (2006) no observaron diferencias significativas en los valores de firmeza obtenidos en tomates cultivados bajo distintas concentraciones de CO₂.

Tabla 5.2.1.2. Evolución de la firmeza durante la conservación a 20 °C de tomates tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO₂.

	CE (dS·m ⁻¹)	[CO ₂] (μmol·mol ⁻¹)	Firmeza (N)		
			Día 0	Día 3	Día 5
S7	6,50 ± 0,5	370	35,00 ± 6,81 a	19,00 ± 3,76 a	16,56 ± 3,37 a
S4	3,90 ± 0,4	370	30,55 ± 4,32 b	16,10 ± 2,58 b	12,13 ± 2,26 b
S7C	6,60 ± 0,5	550	35,08 ± 6,82 a	17,76 ± 3,11 ab	13,29 ± 2,44 b
S4C	3,80 ± 0,4	550	36,68 ± 6,41 a	17,48 ± 3,19 ab	12,97 ± 2,30 b

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos

Para expresar el color se determinó el ángulo Hue (°Hue). En la Tabla 5.2.1.3 se presentan los resultados de color obtenidos en los distintos días de análisis tanto en la superficie como en la pulpa de los frutos. En ella puede observarse cómo, debido al proceso de maduración, las muestras evolucionan desde un color verde inicial (107,36 - 93,68 °Hue) hasta una coloración rojiza (Imagen 5.2.1.1), asociada a valores de °Hue inferiores. Tras el periodo de conservación se alcanzaron valores medios de °Hue superiores a 50 para las medidas en superficie e inferiores a 43 en pulpa, lo que refleja una mayor coloración rojiza en el interior del fruto, fenómeno característico en esta variedad de tomate.



Imagen 5.2.1.1 Evolución de color en superficie ($^{\circ}$ Hue), a lo largo de la conservación a 20 $^{\circ}$ C, de tomates tipo Raf (var. Delizia) cultivados en presencia de una menor CE y sin aporte extra de CO_2 (S4). Imágenes extraídas los distintos días de análisis: tras la recolección (A), día 3 (B) y día 5 (C).

No se observaron diferencias significativas en cuanto a los valores de $^{\circ}$ Hue obtenidos en la pulpa de los frutos sometidos a los distintos tratamientos ($p > 0.05$). En cambio, los tomates cultivados con una mayor CE en la solución nutritiva (S7 y S7C), presentaron en la superficie una tonalidad más rojiza, valores inferiores de $^{\circ}$ Hue ($p \leq 0.001$). El mismo efecto fue descrito anteriormente por distintos autores (Botella et al., 2000 y Cliff et al, 2012), cuando analizaron tomates cultivados bajo distintas CE, mediante la variación en la concentración de macronutrientes o adición de NaCl en la solución nutritiva.

Tabla 5.2.1.3. Evolución del color durante la conservación a 20°C de tomates tipo Raf (cv. Delizia), cultivados bajo diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO₂.

	CE (dS·m ⁻¹)	[CO ₂] (μmol·mol ⁻¹)	Color en superficie (°Hue)		
			Día 0	Día 3	Día 5
S7	6,50 ± 0,5	370	98,26 ± 4,58 b	68,77 ± 8,35 b	50,37 ± 4,35 b
S4	3,90 ± 0,4	370	101,98 ± 4,14 a	78,28 ± 11,31 a	57,19 ± 10,06 a
S7C	6,60 ± 0,5	550	98,53 ± 4,73 b	68,20 ± 11,15 b	50,41 ± 3,42 b
S4C	3,80 ± 0,4	550	102,44 ± 4,92 a	82,51 ± 11,67 a	54,78 ± 6,29 a
			Color en pulpa (°Hue)		
			Día 0	Día 3	Día 5
S7	6,50 ± 0,5	370	103,66 ± 2,89	55,33 ± 0,69	44,89 ± 9,31
S4	3,90 ± 0,4	370	105,31 ± 0,40	58,16 ± 5,65	36,28 ± 0,63
S7C	6,60 ± 0,5	550	99,83 ± 3,99	53,78 ± 5,79	42,80 ± 2,60
S4C	3,80 ± 0,4	550	106,94 ± 0,91	57,23 ± 2,73	38,47 ± 2,77

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos

5.2.2. Parámetros químicos

En la tabla que se incluye a continuación (Tabla 5.2.2.1) se indican los resultados estadísticos obtenidos para los parámetros químicos analizados atendiendo a los distintos tratamientos y al tiempo de conservación. En dicha tabla puede observarse como los tratamientos en estudio afectaron al pH, así como a la concentración de sólidos solubles totales (SST) y ácido cítrico presentes en los frutos.

Tabla 5.2.2.1. Análisis de la varianza de los cambios en pH, contenido en sólidos solubles totales (SST) y ácido cítrico en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO₂ empleadas durante su cultivo y tiempo de conservación.

	pH	SST (° Brix)	Acidez (% ác.cítrico)
CE	***	***	***
CO₂	ns	ns	*
CE x CO₂	*	***	*
Tiempo	*	***	*
CE x CO₂ x Tiempo	ns	*	ns
N	36	36	36

ns, diferencias no significativas, diferencias significativas * $p \leq 0.05$, *** $p \leq 0.001$

En la Tabla 5.2.2.2., pueden observarse los valores de pH obtenidos para las distintas muestras y días de análisis. Durante la conservación de los frutos se observa un ligero aumento de los valores de pH determinados en las distintas muestras. El pH de los frutos se vio influenciado por la salinidad cuando estos fueron cultivados en condiciones atmosféricas normales (sin aporte de CO₂). Entonces los tomates cultivados con una mayor CE exhibieron valores de pH inferiores. Este descenso concuerda con los resultados obtenidos por distintos grupos de investigación (Krauss, S. et al., 2006 y Magán, J.J. et al., 2008), donde obtuvieron una disminución de pH en relación al aumento de CE en el cultivo de tomate.

Los valores de pH no sobrepasaron los valores de 4,5, valor límite planteado por Namesny (2004), como adecuado en calidad de tomate.

Tabla 5.2.2.2. Evolución del pH durante la conservación a 20 °C de tomates tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO₂.

	CE (dS·m ⁻¹)	[CO ₂] (μmol·mol ⁻¹)	pH		
			Día 0	Día 3	Día 5
S7	6,50 ± 0,5	370	4,37 ± 0,04 b	4,36 ± 0,02 b	4,40 ± 0,05 b
S4	3,90 ± 0,4	370	4,46 ± 0,03 a	4,42 ± 0,02 a	4,45 ± 0,01 a
S7C	6,60 ± 0,5	550	4,36 ± 0,05 b	4,38 ± 0,03 b	4,45 ± 0,01 b
S4C	3,80 ± 0,4	550	4,38 ± 0,02 ab	4,42 ± 0,01 ab	4,44 ± 0,04 ab

Letras distintas en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos

Tanto en la acidez como en el contenido de sólidos solubles totales se observaron diferencias significativas entre los distintos tratamientos en estudio (Tabla 5.2.2.1.).

Durante el periodo de conservación, las muestras cultivadas con una mayor CE presentaron un mayor contenido en SST (S7), seguidas de aquellas que bajo las mismas condiciones de salinidad fueron sometidas al aporte extra de CO₂ (S7C). La menor concentración de SST fue determinada en las muestras cultivadas con una menor CE y CO₂ atmosférico (S4). Ello pone de manifiesto que a una mayor concentración salina, el aporte de CO₂ conlleva a una reducción en la acumulación de SST, y a una menor concentración salina el tratamiento con CO₂ conllevaría a un aumento de °Brix.

Como se puede observar en las figura 5.2.2.1 y 5.2.2.2. durante el periodo de conservación tiene lugar un aumento de los °Brix y disminución de la acidez, lo cual está vinculado al proceso de maduración durante la conservación de los frutos (Seymour et al., 1993 y Kays & Paul, 2004).

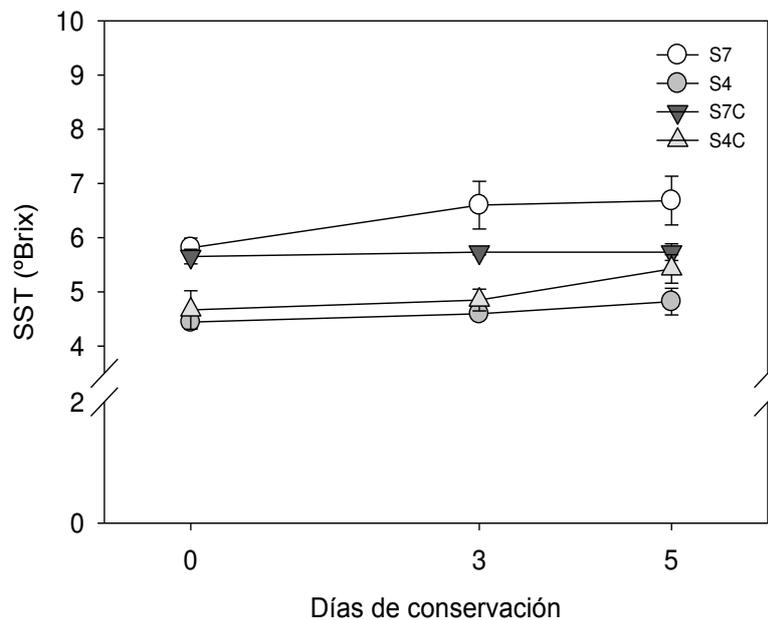


Figura 5.2.2.1. Evolución de la concentración de SST (°Brix), a lo largo de la conservación a 20 °C, en tomates tipo Raf (var. Delizia) cultivados bajo diferentes CE en la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO₂.

Tanto la salinidad, como el aporte de CO₂ ejercieron influencia en la acidez de las muestras. Los frutos cultivados con una mayor CE y CO₂ atmosférico (S7) exhibieron un mayor contenido en ácido cítrico (Figura 5.2.2.2). El aporte de CO₂ en las condiciones de mayor salinidad conllevó a una disminución de la acidez. No se observaron diferencias significativas como consecuencia del aporte de CO₂ en los tomates cultivados con una menor CE.

Namesny, A. (2004) indica que la concentración de ácido cítrico en tomate ha de estar comprendida entre 0,2-0,6% para dar un fruto de calidad. Como se puede comprobar en la siguiente figura, la concentración de ácido cítrico determinada en las muestras analizadas a lo largo del periodo de conservación y para los distintos tratamientos en estudios permaneció dentro de dicho intervalo.

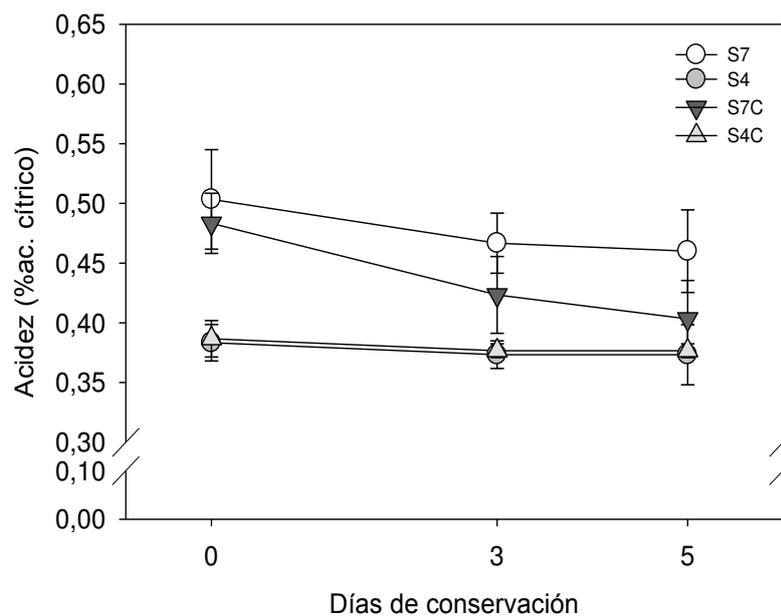


Figura 5.2.2.2. Evolución de la acidez (%ac. cítrico), a lo largo de la conservación a 20 °C, en tomates tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo diferentes CE y distintas concentraciones de CO₂.

Podemos comprobar que el resultado obtenido en cuanto a la relación entre el contenido en SST y la CE se ajusta a lo descrito por Cuarteto & Fernández-Muñoz (1999), los cuales apuntaban que el aumento de la conductividad eléctrica (CE) del suelo, ya sea mediante la aplicación de una solución iónica alta o mediante la restricción del riego, estimulaba la concentración de azúcar en el fruto.

Este patrón ha sido observado en la consecución de otros estudios con diversos genotipos, ensayados tanto en invernadero como en campo (Adams, 1991; Mitchell et al, 1991; Agong et al, 1997; Petersen et al, 1998 y Flores et al, 2003).

Esta acumulación de azúcares y ácidos orgánicos puede producirse como una adaptación de la planta frente al estrés que supone el contenido elevado de NaCl, garantizando una absorción de agua adicional (Hasegawa et al, 2000) permitiendo ajustar la relación osmótica entre suelo y planta (Plaut et al, 2004).

Por otro lado, el aporte de CO₂ durante el cultivo de melón derivó en una reducción de la acidez en el fruto en una de las recolecciones en estudio (D'Albuquerque, 2007). Islam et al (2006), observaron también una disminución en el contenido de ácido cítrico presente en muestras de tomate cultivadas en una atmósfera enriquecida de CO₂.

El aumento de SST es atribuido a un aumento en las concentraciones de fructosa y glucosa (Wu & Kubota, 2008). Zushi & Matsuzoe (2011) reportaron que los SST y la acidez titulable en tomates estaba estrechamente relacionada con el dulzor y la acidez de los frutos respectivamente. Un aumento en la concentración de ambos conllevaría a la obtención de tomates con un mejor sabor (de Pascale 2001 y Petersen, 1998), resultando que frutos cultivados bajo mayores CE fueron los preferidos por los consumidores (Fabre et al, 2011).

De acuerdo con Grierson et al. (1986), altas concentraciones de azúcares junto con relativamente un alto contenido en ácidos orgánicos son requeridos para el mejor sabor. Por el contrario, bajas concentraciones de azúcares y un elevado contenido en ácidos produce un tomate ácido. Si se produce el caso de que el contenido de azúcares es alto y el de ácido es bajo se produce un sabor suave y cuando ambos son bajos resultan en frutos sin sabor.

Como se ha comentado en el capítulo anterior, el índice de madurez en tomate es definido como el cociente entre el contenido en sólidos solubles totales y la acidez de las muestras. En poscosecha este parámetro suele ser empleado para determinar el efecto que sobre la maduración ejercen distintos factores precosecha (Domínguez et al., 2012) y poscosecha (Gil et al., 2002). Sin embargo en este estudio, en el que se emplean distintos tratamientos precosecha que afectan tanto al contenido de sólidos solubles totales como de ác. cítrico, no se incluyen estos resultados ya que podría resultar inadecuado el empleo de este parámetro de calidad a efectos comparativos.

5.2.3. Contenido en licopeno

Como puede observarse en la siguiente tabla (Tabla 5.2.3.1) el contenido de licopeno se ve únicamente influenciado por la concentración salina empleada durante el cultivo de los frutos.

Tabla 5.2.3.1. Análisis de la varianza de los cambios en el contenido de licopeno (mg/100g p.f.), en muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) afectadas por la CE y diferentes concentraciones de CO₂ empleadas durante su cultivo y tiempo de conservación.

	Licopeno (mg/100 g p.f)
CE	***
CO ₂	ns
CE x CO ₂	ns
Tiempo	***
CE x CO ₂ x Tiempo	ns
N	36

ns, diferencias no significativas, diferencias significativas * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$

En la gráfica que se incluye a continuación (Figura 5.2.3.1.) se observa como a lo largo del periodo de conservación aumenta la concentración de licopeno. Como se ha comentado anteriormente, durante el proceso de maduración tiene lugar la degradación de las clorofilas y la biosíntesis de carotenos, fundamentalmente licopeno, al cual se asocia a la coloración roja característica del fruto (Shi & Le Maguer, 2000).

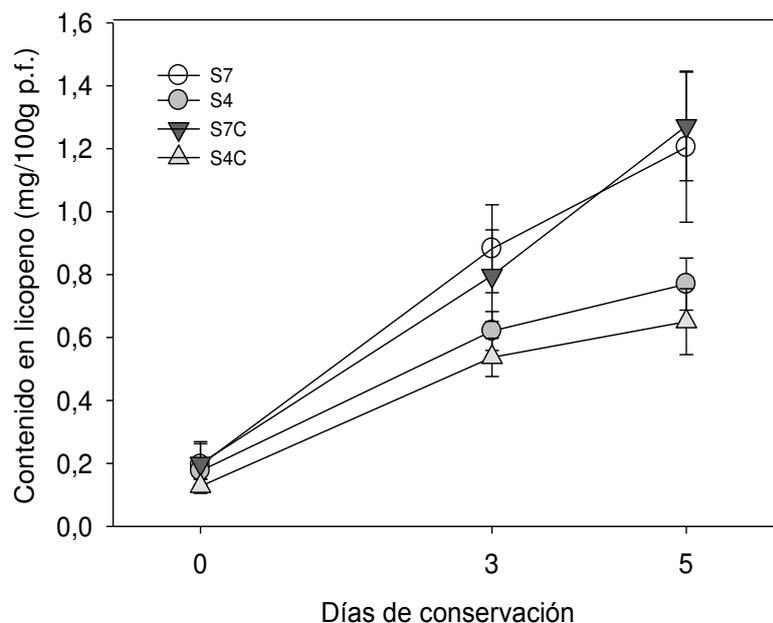


Figura 5.2.3.1. Evolución del contenido en licopeno (mg/100g p. f.) durante el periodo de conservación de los frutos tratados con diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO₂.

Según el análisis estadístico (Tabla 5.2.3.1.), la salinidad influye significativamente en el contenido en licopeno presente en las muestras de tomate.

Como se puede observar en la figura anterior, los frutos cultivados bajo una mayor CE han presentado una mayor concentración de este caroteno, lo cual concuerda con lo descrito por diversos autores (De Pascale et al, 2001; Wu et al., 2004 y

Krauss et al., 2006). En este caso, el estrés producido por la elevada CE podría activar procesos fisiológicos que conlleven a la biosíntesis de este caroteno así como la capacidad antioxidante del fruto (Smirnoff, 1995; Gomez et al, 1999).

Maggio et al., (2001) tras someter las plantas de tomate (híbrido H601) a distintos tratamientos salinos, observaron un aumento de licopeno cuando la CE aumentó de $0,5 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ hasta $4,4 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$. A CE superiores se obtuvieron concentraciones inferiores de este caroteno. Sin embargo, en otros estudios no se detectaron cambios en el contenido de este caroteno cuando se incrementó la CE de 3 a $6 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$ en tomates cv Naomi (Serio et al., 2004). Todos estos resultados ponen de manifiesto, que la influencia que la salinidad ejerce en el contenido de licopeno va a depender en gran medida de la variedad de tomate en estudio.

Los resultados obtenidos para los distintos tratamientos están en consonancia con los valores de $^{\circ}\text{hue}$ observados en los frutos, resultando con una mayor coloración rojiza y un mayor contenido en licopeno los tomates cultivados bajo una mayor CE. De hecho diversos autores, han mostrado que existe una buena correlación entre el contenido de este caroteno y los parámetros de color (Arias et al, 2000 y Wold et al, 2004).

En este estudio, el aporte de CO_2 no ha supuesto ninguna influencia en la concentración de licopeno. En literatura existe cierta controversia con respecto al efecto que este gas ejerce en la acumulación de metabolitos secundarios (Islam et al, 1996 y Krumbein et al, 2006).

5.2.4. Estudio de la vida útil

La determinación de la vida útil estaba basada en la apreciación de los parámetros físicos del fruto, aspectos que son los que el consumidor considera a la hora de tomar su decisión de compra. Para ello los evaluadores consideraban la apariencia visual externa, color (coloración uniforme y característica de la variedad de tomate), marchitamiento (debido a la pérdida de peso) y al mismo tiempo la firmeza del fruto. De forma que la vida útil de los tomates viene determinada por el número de días que los tomates fueron evaluados favorablemente (≥ 5), considerando 5 como límite de comercialización.

Como se puede ver en la Figura 5.2.4.1., los frutos que más perduraron fueron los tratados con una mayor CE de la solución nutritiva y sin aporte extra CO_2 (S7). Este tratamiento fue considerado apto para su comercialización hasta el séptimo día de conservación a una temperatura de 20°C y con una humedad relativa del 90%. Los frutos que menos vida útil obtuvieron, 5 días, fueron cultivados con una menor CE y sin aporte extra de CO_2 (S4).

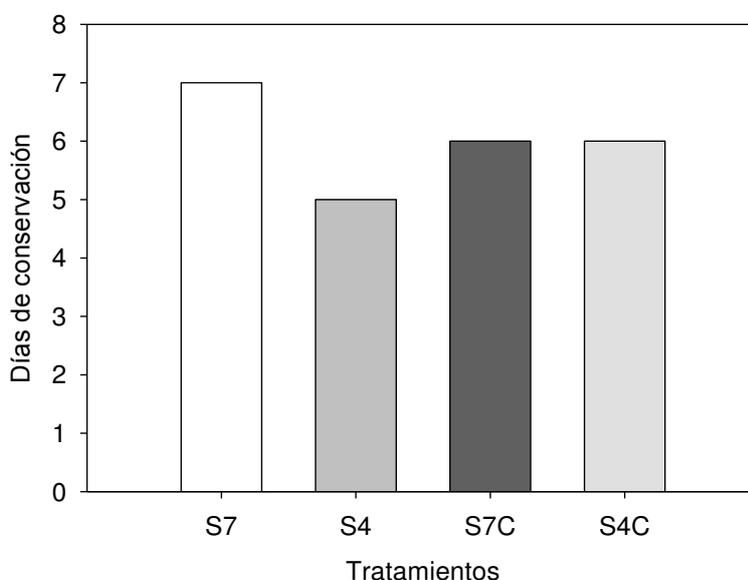


Figura 5.2.4.1. Vida útil de los frutos conservados a 20°C y 90% H.R., tratados con diferentes CE de la solución nutritiva y distintas concentraciones de CO_2 .

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la influencia positiva que un aumento en CE de la solución nutritiva ejerce en la calidad del tomate tipo Raf (cv. Delizia), sin embargo este efecto se vio afectado en gran medida por la concentración de CO₂ presente durante el cultivo de los frutos.

Cuando los tomates fueron cosechados sin aporte extra de CO₂, un aumento de la CE permitió la obtención de frutos con mayor firmeza, pH inferiores y un mayor contenido tanto en SST como en ác. cítrico. Cuando los frutos fueron cultivados en una atmósfera enriquecida en CO₂ (550 μmolmol⁻¹), un aumento de la salinidad conllevó a una disminución de los °Brix y de la acidez. Tanto el color en la superficie de los frutos como el contenido de licopeno se vieron únicamente afectados por la CE empleada durante el cultivo, resultando los frutos más salinos con una mayor coloración rojiza y un mayor contenido en licopeno. A partir de estos resultados se puede establecer como el aporte de CO₂ podría beneficiar la calidad poscosecha de los frutos cuando estos son cultivados con una menor CE, como consecuencia de una menor pérdida de peso durante la conservación de los mismos. Sin embargo, una mejor calidad general y vida útil se consigue cuando los tomates son cultivados en presencia de una elevada CE y sin aporte extra de CO₂.

Es importante remarcar que se ha llevado a cabo un único muestreo por lo que es necesario realizar este estudio en diferentes momentos a lo largo del cultivo así como en distintas cosechas. Sería además interesante, llevar a cabo un adecuado análisis sensorial así como estudiar la influencia que dichos factores ejercen en la calidad de frutos recolectados en distintos grado de madurez.

5.3. Estudio del proceso respiratorio en sistema estático. Diseño de un envase óptimo para la conservación de tomate tipo Raf (cv. Delizia).

Con la finalidad de obtener una mayor información referente a la fisiología de la variedad de tomate en estudio, se determinó la actividad respiratoria y la emisión de etileno en frutos conservados a 10 y 20 °C. La vida potencial de un fruto está relacionada con la intensidad de la actividad respiratoria que presenta, y su interpretación llevará a una mejora en las condiciones de conservación permitiendo su comercialización durante un mayor tiempo (Ryall & Lipton, 1979).

La determinación de las tasas respiratorias y producción de etileno se llevó a cabo mediante un sistema estático, en el que se realizó diariamente la toma de muestras durante un periodo de 12 días. Para estas medidas fueron analizadas, mediante cromatografía gaseosa, tres réplicas por tratamiento, haciendo mediciones por duplicado.

Por otro lado, se procedió al diseño de un envase en atmósfera modificada tal que permitiese alargar la vida útil del tomate tipo Raf (cv. Delizia). Para ello se determinó la concentración de O₂ óptima lo suficientemente baja para, sin llegar a desencadenar procesos fermentativos, minimizar la actividad respiratoria de los frutos. A partir de este valor, y una vez calculada la tasa respiratoria (TRO₂) asociada a dicha concentración se ha estimado la permeabilidad del film.

Las muestras empleadas en este estudio fueron suministradas por el grupo de Producción Agraria del centro IFAPA La Mojonera, el cual llevó a cabo el cultivo de esta variedad de tomate empleando distintas CE (≈ 4 y $7 \text{ dS}\cdot\text{m}^{-1}$) a la vez que distintas concentraciones de CO₂ ($370 \text{ }\mu\text{mol mol}^{-1}$ y $550 \text{ }\mu\text{mol mol}^{-1}$), como se muestra en la siguiente tabla:

	CE (dS·m ⁻¹)	[CO ₂] (μmol·mol ⁻¹)
S7	6,50 ± 0,5	370
S4	3,90 ± 0,4	370
S7C	6,60 ± 0,5	550
S4C	3,80 ± 0,4	550

5.3.1. Influencia de los factores precosecha en la actividad respiratoria y producción de etileno de tomates tipo Raf (cv. Delizia).

Como se ha comentado en el apartado de material y métodos (Apartado 4.2.6.), el estudio de respiración se realizó en un sistema estático (Kader, 1992), el cual implica introducir el producto en un recipiente herméticamente cerrado, analizando la composición atmosférica presente en el espacio de cabeza a lo largo del periodo de conservación establecido.

La tasa respiratoria ha sido determinada en función de la producción de CO₂ (TRCO₂) empleando además el peso de la muestra, el volumen de espacio de cabeza y el tiempo de acumulación, considerando como tiempo inicial el momento del cierre del envase.

En la siguiente tabla (Tabla 5.3.1.1.) se incluyen los resultados estadísticos obtenidos para las tasas respiratorias determinadas a las temperaturas de 20 y 10 °C, atendiendo a los distintos tratamientos precosecha en estudio (salinidad y aporte extra de CO₂) y al tiempo de conservación en el que los frutos han permanecido en el interior de los envases herméticamente cerrados.

Tabla 5.3.1.1. Análisis de la varianza de los valores de actividad respiratoria obtenidos para las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservadas a 20 y 10 °C afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO₂ empleadas durante su cultivo, así como el tiempo de conservación en el interior de los envases.

	CO ₂ (mL/kg·h)	CO ₂ (mL/kg·h)-aire ^a
20 °C		
CE	ns	**
CO ₂	***	***
CE x CO ₂	***	***
Tiempo	***	---
CE x CO ₂ x Tiempo	***	---
N	156	12
10 °C		
CE	***	*
CO ₂	***	*
CE x CO ₂	***	ns
Tiempo	***	---
CE x CO ₂ x Tiempo	***	---
N	156	12
CE x Temperatura		***
CO ₂ x Temperatura		***
CE x CO ₂ x Temp.		***
N		24

ns, diferencias no significativas, diferencias significativas * $p \leq 0.05$, ** $p \leq 0.01$, *** $p \leq 0.001$

^a Considerando los valores de tasa respiratoria obtenidos al inicio del experimento

En la Figura 5.3.1.1., se representan las tasas respiratorias medias obtenidas para los tomates cultivados bajo los distintos tratamientos en función del tiempo de conservación a 20 (A) y 10 °C (B) (Anexo n°1). Tal y como se desprende de los resultados estadísticos (Tabla 5.3.1.1.) durante la conservación a 20 °C el aporte de CO₂

durante el cultivo y el tiempo de conservación influyen en la tasa respiratoria de los frutos. El efecto que ejerce el CO₂ en el proceso respiratorio se aprecia cuando las muestras son cultivadas con una mayor salinidad, siendo los frutos cultivados en atmósfera de aire (sin aporte extra de CO₂), S7, los que han dado lugar a una mayor actividad respiratoria durante el proceso de conservación ($28,12 \pm 0,13$ mL/kg·h).

A 10 °C fue también significativo el efecto ejercido en la actividad respiratoria por los distintos factores presecosecha. Los tomates sometidos a una mayor CE durante su cultivo (S7 y S7C) presentaron mayores tasas respiratorias que aquellos cultivados con una menor salinidad (S4 y S4C). También a esta temperatura la influencia de la concentración de CO₂ se hizo notable en aquellos frutos cultivados con una mayor CE.

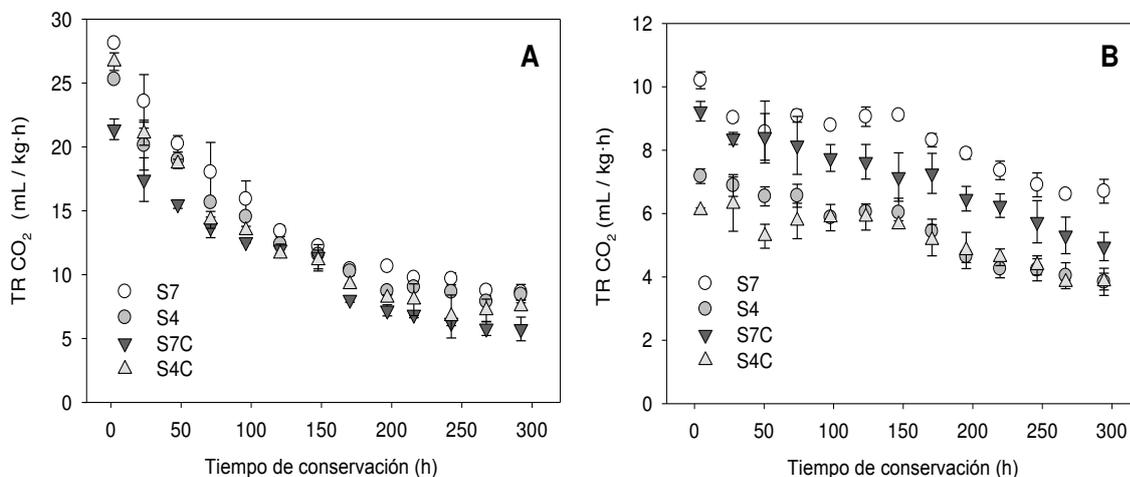


Figura 5.3.1.1. Evolución de la tasa respiratoria, TR_{CO₂}, de tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 (A) y 10 °C (B) y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO₂.

El tiempo de conservación influye significativamente (Tabla 5.3.1.1.) en la respiración de los frutos, tal y como puede observarse en la Figura 5.3.1.1. En términos generales, se produce un descenso de la tasa respiratoria durante el periodo de conservación siendo este más notable para los frutos conservados a 20°C.

A lo largo del periodo de conservación y al tratarse de un sistema herméticamente cerrado, la composición gaseosa evoluciona generándose una atmósfera modificada, en la que disminuye la concentración de O_2 a la vez que aumenta la de CO_2 . Es conocido como la respiración disminuye conforme lo hace la concentración de O_2 , como consecuencia de una disminución de la actividad metabólica (Isenberg, 1979; Smock, 1979; Kader, 1987; Solomos & Kanellis, 1989). La reducción de la velocidad de respiración en respuesta a una baja concentración de O_2 se debe a la reducción de la actividad enzimática de la polifeniloxidasas, ácido ascórbico oxidasa y ácido glicólico oxidasa (Kader, 1986). La influencia del CO_2 no está muy definida y dependería del cultivar, del estado de madurez en el que se encuentre el fruto, de la concentración de CO_2 y del tiempo de exposición a dicha concentración. Inicialmente se pensó que el propio CO_2 producido durante la respiración actuaría inhibiendo el proceso respiratorio (Wolfe, 1980; Herner, 1987). También se ha considerado que dicho gas controla la actividad mitocondrial e incluso se estimó que una elevada concentración de CO_2 afectaría a las enzimas y productos intermedios involucrados en el ciclo de Krebs (Kader, 1989).

Teniendo en cuenta que una atmósfera modificada contribuye a disminuir la actividad respiratoria, observamos que la respiración a $20\text{ }^{\circ}C$ es superior que a $10\text{ }^{\circ}C$ siéndolo también la evolución de la atmósfera presente en el interior de los envases, lo cual justifica que el descenso de la velocidad de respiración sea menos pronunciado a la temperatura de refrigeración.

Durante la conservación de los frutos a baja temperatura ($10\text{ }^{\circ}C$) se observa, a partir del cuarto día (96 h), un aumento en la tasa respiratoria, para aquellos frutos cultivados con una mayor CE en la solución nutritiva y sin aporte extra de CO_2 (S7). Este comportamiento ha sido asociado a daños por frío (Artés et al., 2003) tal y como observaron ya en 1956 Eaks & Moris a partir de los resultados obtenidos en la conservación de pepino a 10 , 5 y $0\text{ }^{\circ}C$. Cuando los daños por frío no se evidencian en el fruto dichas alteraciones son consideradas en la fase denominada “umbral de inducción o fase de latencia”, donde los frutos pueden recuperar sin incidencias su

estado metabólico, de hecho los tomates recuperaron su actividad respiratoria tres días más tarde. Esta evolución en el proceso respiratorio podría indicar que las muestras cultivadas bajo una mayor CE (S7) serían más susceptibles a experimentar daños por frío.

La mayor tasa respiratoria fue observada en los frutos cultivados con una mayor CE (S7), seguido de aquellos cultivados bajo las mismas condiciones de salinidad pero con aporte de CO₂ (S7C). Una menor intensidad respiratoria fue observada en los frutos cultivados con una menor salinidad (S4 y S4C) (Figura 5.3.1.1. B).

Como se ha comentado anteriormente, durante la conservación de los frutos se consigue una atmósfera modificada en el interior de los envases como consecuencia de la hermeticidad del sistema de análisis (sistema cerrado) y el proceso respiratorio. Los valores de tasa respiratoria irán por tanto asociados a los valores de O₂ y CO₂ presente en el interior de los envases. Para determinar la influencia en la actividad respiratoria de los distintos tratamientos precosecha así como la temperatura de conservación en frutos expuestos a una atmósfera de aire, se ha determinado este parámetro tras las primeras 2 h de conservación. Este tiempo de muestreo ha sido seleccionado considerando que la modificación de la composición atmosférica sea lo suficiente para su determinación pero sin que llegue a afectar a la tasa respiratoria (Talasila, 1992).

Los valores obtenidos al inicio del experimento pueden visualizarse con mayor claridad en la siguiente figura.

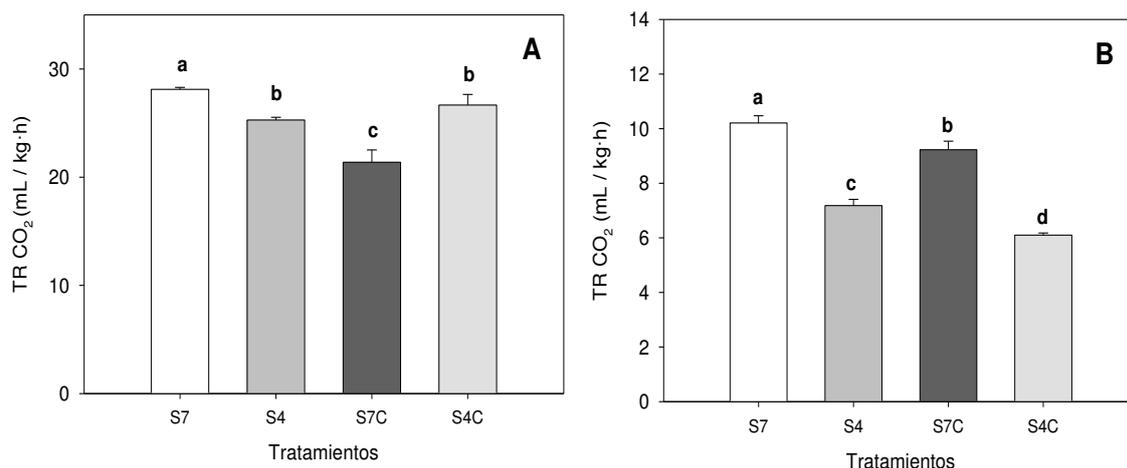


Figura 5.3.1.2. Tasa respiratoria de tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 (A) y 10 °C (B) y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO₂. La actividad respiratoria ha sido determinada tras conservar los frutos 2 h en un sistema cerrado.

A las temperaturas en estudio, 20 y 10 °C, se observaron diferencias significativas en la actividad respiratoria de los frutos cultivados bajo los distintos tratamientos precosecha. De los resultados obtenidos y a partir del estudio estadístico (Tabla 5.3.1.1.) pudo observarse como la temperatura de conservación influyó considerablemente en la tasa respiratoria de los frutos así como en el efecto que ejercía el factor precosecha en la misma. De esta forma a 20 °C (Figura 5.3.1.2.A), las muestras cultivadas con una mayor CE sin aporte de CO₂ (S7) fueron las que presentaron una mayor actividad respiratoria (28,12 ± 0,18 mL/kg·h). Sin embargo, cuando los frutos cultivados en las mismas condiciones de salinidad fueron expuestos a una atmósfera enriquecida en CO₂ (S7C) se obtuvieron valores significativamente inferiores (21,38 ± 1,14 mL/kg·h). La actividad respiratoria de los tomates sometidos a una menor CE, no se vio afectada por la concentración de CO₂ aplicada durante su cultivo (S4 y S4C).

A 10 °C (Figura 5.3.1.2.B), se observaron diferencias significativas en la actividad respiratoria de los frutos procedentes de los distintos tratamientos. Los tomates cultivados con una mayor CE (S7 y S7C) presentaron una mayor tasa respiratoria. Por otro lado, el aporte de CO₂ conllevó a una reducción de la velocidad de respiración.

Estos resultados evidencian el marcado efecto que sobre la tasa respiratoria ejerce la temperatura de conservación. De hecho la temperatura ha sido considerada el factor externo más influyente en la respiración, generalmente un aumento de la misma conlleva a un incremento en la velocidad de las reacciones metabólicas (Burzo, 1980; Zagory & Kader, 1988). A temperaturas elevadas tiene lugar la desnaturalización de las enzimas lo cual conllevaría a una disminución de la tasa respiratoria. Por otro lado, si la temperatura de conservación es demasiado baja pueden ocurrir daños fisiológicos que conlleven a un incremento de la misma (Fildler & North, 1967).

Con la finalidad de establecer esos cambios en el proceso respiratorio se emplea el cociente Q_{10} (Fonseca, 2002):

$$Q_{10} = \left(\frac{TR_2}{TR_1} \right)^{\frac{10}{T_2 - T_1}}$$

donde: TR_2 = tasa respiratoria a una temperatura T_2

TR_1 = tasa respiratoria a una temperatura T_1

El valor de Q_{10} puede ser empleado para predecir la pérdida de calidad experimentada por frutas y hortalizas, al considerar que un incremento en la temperatura causará un aumento en la tasa respiratoria del producto. Los valores de Q_{10} suelen oscilar entre 1,0-4,0 dependiendo del rango de temperaturas. Si el valor de Q_{10} es del orden de 2,0-2,5, ello significaría que cada 10 °C la tasa respiratoria aumenta de 2,0 a 2,5 veces (Kader, 1987).

El llevar a cabo la determinación de la tasa respiratoria a 20 y 10 °C ha permitido determinar los valores de Q_{10} para los frutos cultivados bajo los distintos tratamientos precosecha (Tabla 5.3.1.2.):

Tabla 5.3.1.2. Valores de Q_{10} determinados para las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo distintas CE en la solución nutritiva a la vez que distintas concentraciones de CO_2 .

Tratamientos	Q_{10}
S7	2,99
S4	3,29
S7C	2,37
S4C	3,88

A partir de los resultados obtenidos se evidencia una mayor influencia de la temperatura en el proceso respiratorio de los frutos en el caso de las muestras cultivadas con una menor CE en la solución nutritiva y un aporte extra de CO_2 (S4C). Kader (1987) considera valores de Q_{10} entre 1-4. Emond et al. (1993) observaron un intervalo más acotado (2,8-3,2) al estudiar la tasa respiratoria de arándanos. En cambio, Talasila (1992) obtuvo valores comprendidos en el intervalo 2 -5,5 en fresa.

Durante el periodo de conservación se produce etileno el cual afecta a los procesos fisiológicos de los frutos. En este estudio se ha determinado, mediante cromatografía gaseosa, la tasa de producción de etileno a lo largo del periodo de conservación. Para su cálculo se utilizó la siguiente fórmula (Kader, 1985):

$$\frac{(\text{nmol } C_2H_4)}{\text{kg} \cdot \text{s}} = \left(\frac{\mu\text{L}}{\text{kg} \cdot \text{s}}\right) \cdot \left(\frac{1\text{m}^3}{10^9\mu\text{L}}\right) \cdot 101,325 \text{ Pa} \cdot \left(\frac{1\text{mol} \cdot \text{k}}{83443\text{m}^3 \cdot \text{Pa}}\right) \cdot \left(\frac{1}{273 + 25\text{k}}\right) \cdot \left(\frac{1\text{h}}{3600\text{s}}\right) \cdot \left(\frac{10^9\text{nmol}}{1\text{mol}}\right)$$

En la tabla 5.3.1.3. se incluyen los resultados estadísticos obtenidos a partir de los datos derivados de este estudio mientras que en la figura 5.3.1.3. se puede observar la evolución de la tasa de emisión de etileno (nmol/kg.s) a lo largo del periodo de conservación (12 días) a 20 °C (A) y 10 °C (B) para los frutos cultivados bajo los distintos tratamientos precosecha.

Tabla 5.3.1.3. Análisis de la varianza de los valores de producción de etileno obtenidos para las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservadas a 20 y 10 °C afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO₂ empleadas durante su cultivo, así como el tiempo de conservación en el interior de los envases.

	C ₂ H ₄ (nmol/kg.s)	C ₂ H ₄ (nmol/kg.s)(aire) ^a
20 °C		
CE	***	***
CO ₂	***	***
CE x CO ₂	***	**
Tiempo	***	---
CE x CO ₂ x Tiempo	***	---
N	156	12
10 °C		
CE	***	***
CO ₂	***	ns
CE x CO ₂	***	***
Tiempo	***	---
CE x CO ₂ x Tiempo	***	---
N	164	12
CE x Temperatura		***
CO ₂ x Temperatura		***
CE x CO ₂ x Temp.		***
N		24

ns, diferencias no significativas, diferencias significativas * p ≤ 0.05, ** p ≤ 0.01, *** p ≤ 0.001

Como se desprende de los resultados estadísticos (Tabla 5.3.1.3.) durante la conservación a 20 °C, la salinidad y el aporte de CO₂ influyen en la producción de etileno, como también lo hace el tiempo de conservación.

En la figura 5.3.1.3. se representa la emisión de etileno experimentada por los frutos conservados a 20 °C (A) y 10 °C (B) (Anexo nº2). A 20° C, los frutos cultivados con una menor CE en la solución nutritiva (S4 y S4C) presentaron una mayor emisión de etileno siendo aquellos cultivados con una mayor CE y con aporte extra de CO₂ (S7C) los que produjeron una menor concentración de este gas.

A 10 °C, la mayor producción de etileno fue observada en los frutos cultivados con una menor CE en la solución nutritiva (S4), mientras que los tomates tratados con una mayor CE (S7) fueron los que presentaron la menor tasa de producción de etileno (Figura 5.3.1.3.).

Durante el periodo de conservación, y tal y como ocurría con la tasa respiratoria, se observó una disminución de la emisión de etileno, como consecuencia de la presencia de una atmósfera modificada.

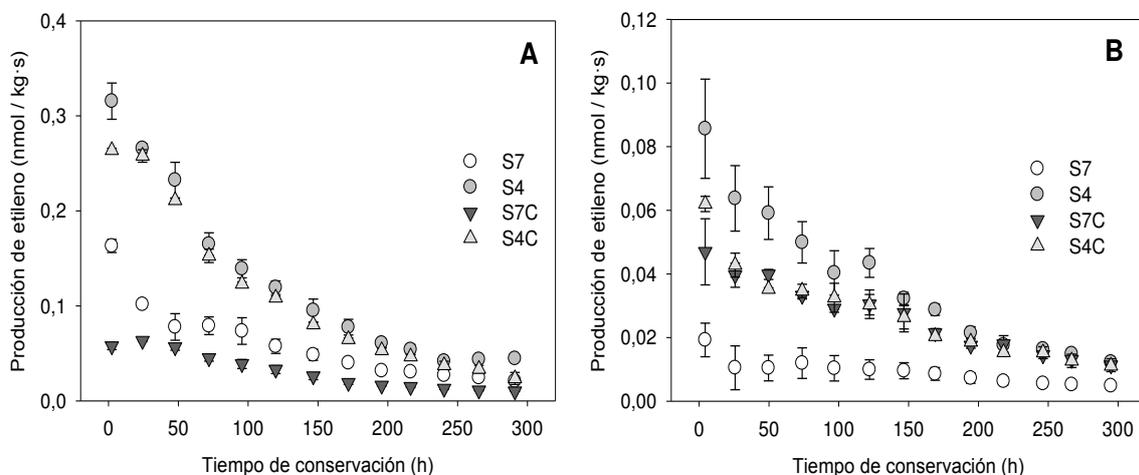


Figura 5.3.1.3. Producción de etileno en tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 (A) y 10 °C (B) y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO₂.

En 1967, Burg & Burg, comprobaron que a baja concentración de O_2 se inhibía la síntesis de etileno, de tal forma que en el caso de frutos climatéricos la disminución de O_2 actúa retrasando la maduración de los frutos. Años más tarde Adams & Yang (1979), indicaron que el O_2 era necesario para la conversión de la metionina a etileno. Sin embargo, otros autores consideran la presencia de concentraciones de CO_2 superiores al 1-3% responsable de la inhibición de la biosíntesis de esta fitohormona (Salveit, 1999).

En la figura 5.3.1.4. se presentan los valores de emisión de etileno obtenidos tras 2 h de conservación para los frutos cultivados bajo los distintos factores precosecha a 20 y 10 °C. Como se ha indicado con anterioridad, los valores obtenidos tras este periodo de tiempo permitirían determinar la tasa de emisión de etileno cuando los frutos son conservados en una atmósfera de aire.

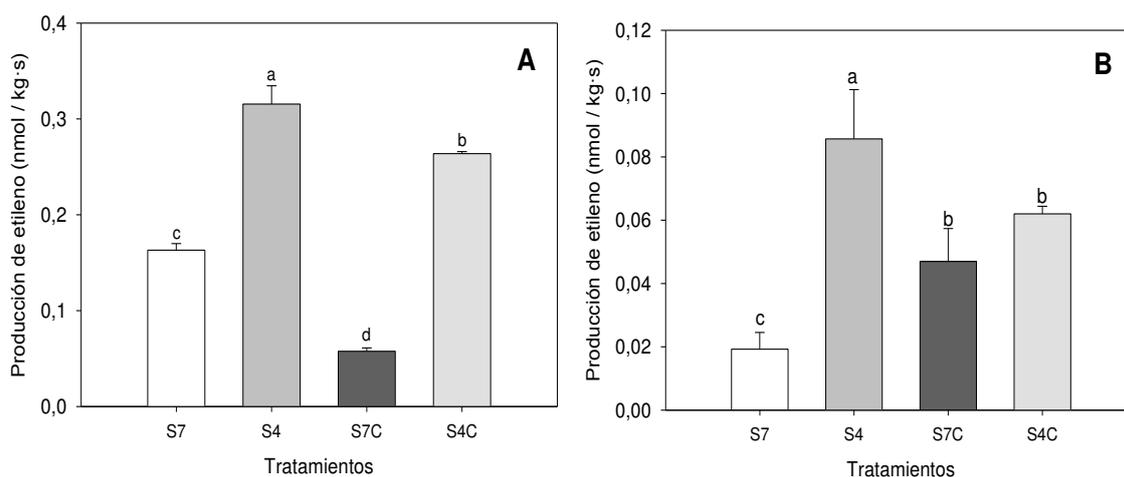


Figura 5.3.1.4. Producción de etileno en tomates tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 (A) y 10 °C (B) y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO_2 . La producción de etileno ha sido determinada tras conservar los frutos 2 h en un sistema cerrado.

Los resultados obtenidos a 20 y 10 °C ponen de manifiesto la notable influencia que los tratamientos precosecha y la temperatura de conservación ejercen sobre la emisión de etileno.

A 20 °C, fueron los cultivados con una mayor CE los que produjeron una menor concentración de etileno (S7 y S7C) (Figura 5.3.1.4.A). La tasa de emisión de etileno se vio reducida, para los frutos cultivados en una atmósfera enriquecida en CO₂ independientemente de la CE empleada.

A 10 °C, los valores de emisión de etileno más elevados fueron observados en las muestras cultivadas con una menor CE (S4 y S4C). En cambio, a esta temperatura de refrigeración se observó que un aporte de CO₂, en las muestras sometidas a una mayor CE, conllevaba a un aumento de la emisión de etileno.

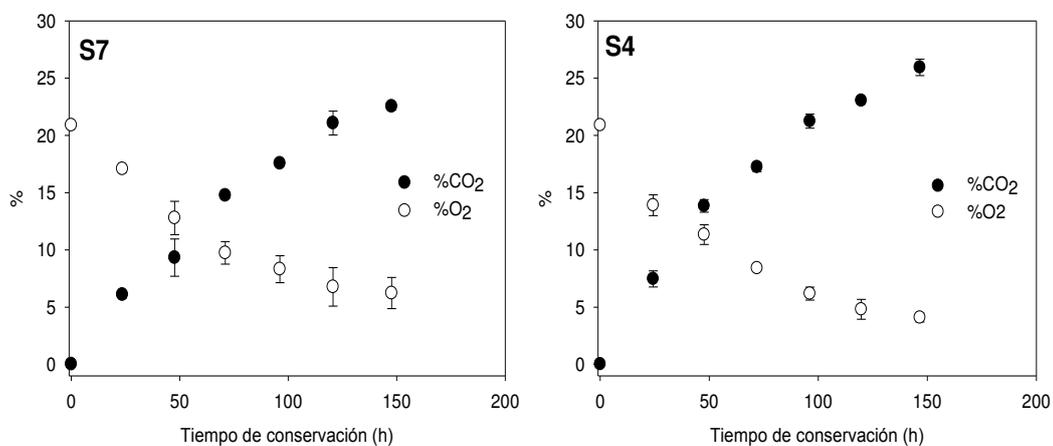
5.3.2. Diseño de un envase óptimo para la conservación de tomate tipo Raf (cv. Delizia).

Con la finalidad de alargar la vida útil del tomate tipo Raf es necesario considerar el empleo de una atmósfera modificada. Una apropiada atmósfera modificada contribuiría a reducir las variaciones de color, sólidos solubles, firmeza (Yang & Chinnan, 1987 y Nakhasi et al., 1991) asociadas al proceso de maduración.

Los mejores resultados se han obtenidos con atmósferas modificadas en las que la concentración de O₂ en el interior del envase se encontraba en el intervalo de 3-5 % (Dennis et al., 1979; Kader , 1980 y Geeson et al., 1985). Para el diseño de un sistema de envasado en atmósfera modificada es necesario considerar la concentración de O₂ óptima y seleccionar las características del film (composición y espesor), superficie del material polimérico a emplear y el peso de fruto a envasar. Con la finalidad de predecir y optimizar estas variables para el envasado de tomate,

se han desarrollado distintos modelos matemáticos (Hayakawa et al., 1975; Yang & Chinnan, 1988; Cameron et al., 1989 y Beaudry et al., 1992). Sin embargo ninguno de ellos fue validado considerando distintas áreas de film y peso del fruto. Gong & Corey en 1994, desarrollaron un modelo que permitía predecir la concentración de O_2 en un estado de equilibrio para una un amplio rango de condiciones de envasado de tomate en atmósfera modificada. Años más tarde este procedimiento fue también empleado por Jacxsens et al. (1999), los cuales validaron el modelo para el desarrollo de sistemas de envasado para productos transformados (IV gama).

En este estudio, con la finalidad de llevar a cabo el diseño del envase, se ha determinado la actividad respiratoria en un sistema cerrado. Ello ha permitido analizar la evolución de la composición atmosférica en el interior de los envases. Dicha evolución puede observarse en la Figuras 5.3.2.1. y 5.3.2.2., para los frutos fueron conservados a 20 y 10 °C, respectivamente. Aunque en las distintas gráficas aparecen representados los valores medios obtenidos a partir de las tres réplicas, es necesario indicar que cada una de las réplicas ha sido tratada independientemente lo cual ha permitido llevar a cabo el estudio estadístico de los resultados obtenidos. Las gráficas generadas se incluyen en el apartado anexos (Anexo nº3).



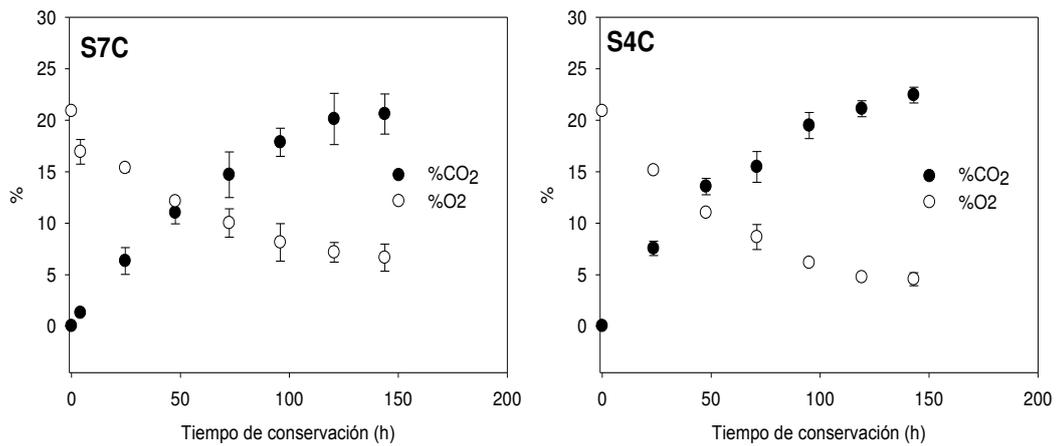
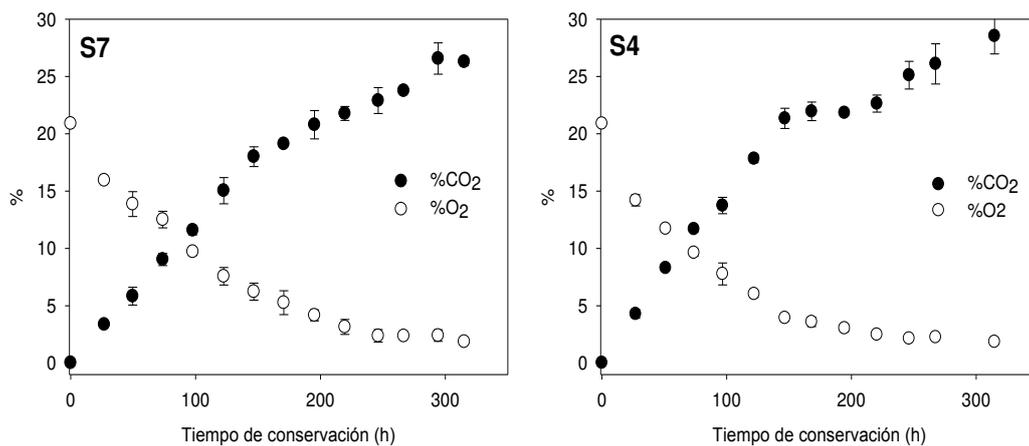


Figura 5.3.2.1. Evolución de la composición atmosférica presente en el interior de envases conteniendo tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 °C y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO₂.



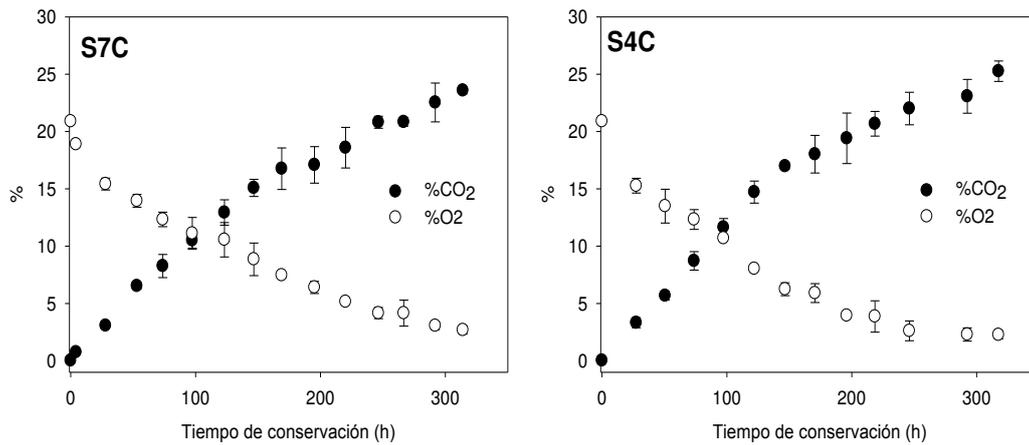


Figura 5.3.2.2. Evolución de la composición atmosférica presente en el interior de envases conteniendo tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 10 °C y cultivados bajo distintas CE de la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO₂

Tal y como llevaron a cabo estos autores, la evolución de la atmósfera gaseosa (consumo de O₂ y producción de CO₂) se ajustó a una ecuación polinómica de 2º orden:

$$(O_2) = at^2 + bt + c$$

$$(CO_2) = a't^2 + b't + c'$$

donde, (O₂)= concentración de O₂ en el interior del envase (mL/100mL).

(CO₂)= concentración de CO₂ en el interior del envase (mL/100mL).

t= tiempo (h).

a, b, c, a', b', c'=coeficientes.

El cálculo de la tasa respiratoria en función del O₂ consumido y así como del CO₂ producido, se realizó empleando los coeficientes (a, b, a' y b') obtenidos a partir de dicho ajuste, considerando el volumen de espacio de cabeza presente en el interior de los envases (mL) y el peso del tomate empleado (kg). En el apartado

anexos (Anexo nº4) se incluye una tabla con los coeficientes obtenidos para las réplicas procedentes de los 4 tratamientos y temperaturas en estudio.

$$TRO_2 = \left(\frac{d(O_2)}{dt} \right) \cdot \left(\frac{V}{P} \right) \cdot 100$$

$$TRCO_2 = \left(\frac{d(CO_2)}{dt} \right) \cdot \left(\frac{V}{P} \right) \cdot 100$$

donde, $d(O_2)/dt = 2at + b$

$d(CO_2)/dt = 2a't + b'$

V= volumen de gas en mL

P= peso del producto en kg

En la figura 5.3.2.3. se presentan las TR determinadas en términos de consumo de O_2 , TRO_2 , en función de la concentración de O_2 presente en el envase a 20 y 10 °C. Los valores de tasa respiratoria que se representan en dicha figura han sido obtenidos a partir de los coeficientes (a y b) extraídos de la representación de las concentraciones medias de O_2 . En el apartado anexos (Anexo nº5) se incluyen los resultados obtenidos para cada una de las réplicas en el Ensayo 3.

Los valores de tasas respiratorias obtenidos de este modo vendrían referidos a una concentración de O_2 en un estado de equilibrio (“steady-state”) alcanzado en el interior de un envase. Dicho estado de equilibrio va a depender de la tasa respiratoria de los frutos y la permeabilidad del film.

A ambas temperaturas la actividad respiratoria disminuye conforme lo hace la concentración de O₂ disponible en el interior del envase.

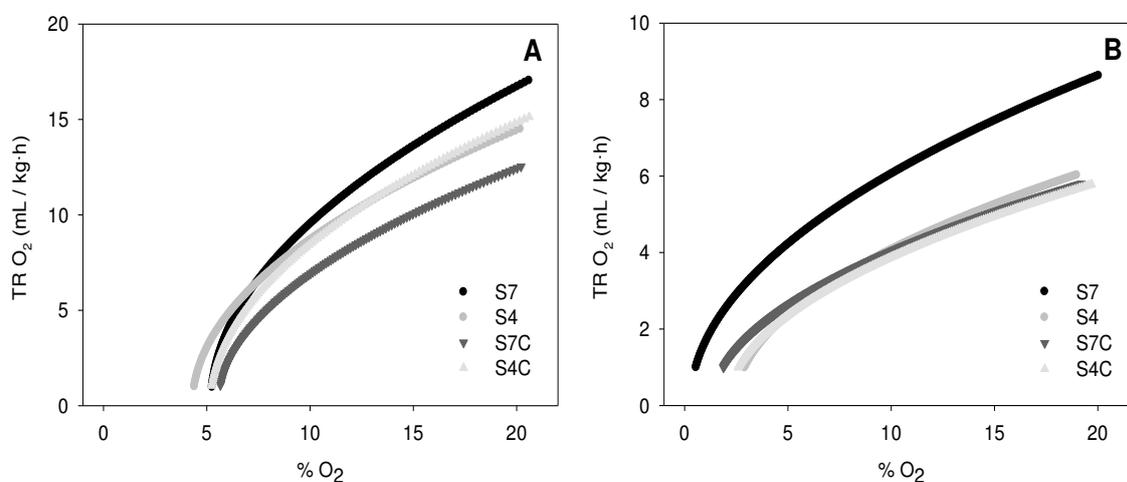


Figura 5.3.2.3. Evolución de la tasa respiratoria (TRO₂) en función de la concentración de O₂ disponible en el interior de un envase a 20 (A) y 10 °C(B).

Distintos autores establecen la elección del sistema de envasado establece en función del O₂ y no del CO₂ ya que se considera que una disminución de la presencia de O₂ ejerce una mayor influencia en el proceso respiratorio que un aumento de la concentración de CO₂ (Kader, A. 1980 y Zagory 1988)

Los mejores resultados en atmósfera modificada se han alcanzado con una concentración de O₂ comprendida entre 3-5% (Geeson et al., 1985 y Kader et al., 1980), sin embargo en este estudio se ha determinado la O₂% óptima para la conservación de los frutos cultivados bajo los distintos tratamientos precosecha (salinidad y CO₂). Para ello se ha calculado, además de la TRO₂ la velocidad de respiración en función del CO₂ producido (Figura 5.3.2.4.).

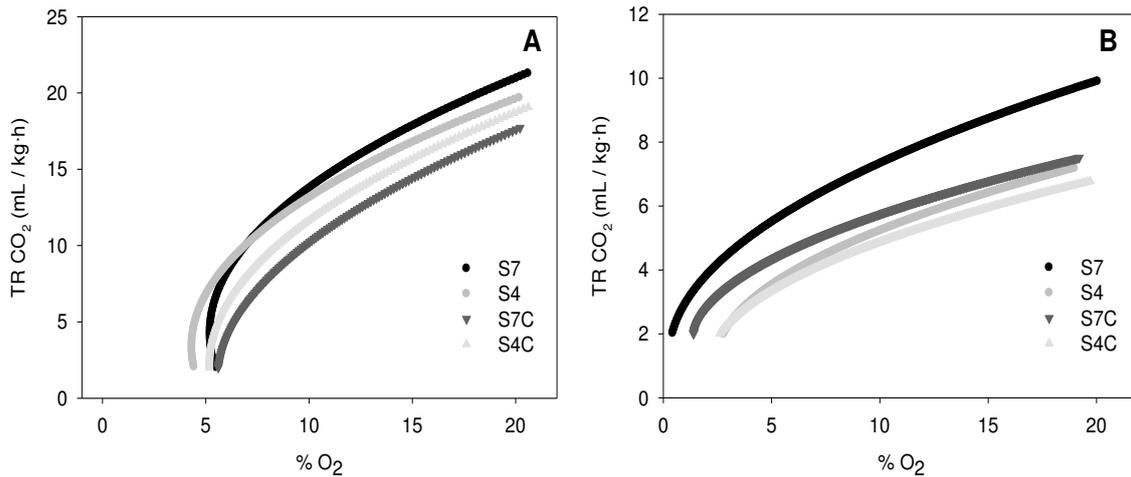


Figura 5.3.2.4. Evolución de la tasa respiratoria (TRCO₂) en función de la concentración de O₂ disponible en el interior de un envase a 20 (A) y 10 °C (B).

Tal y como ocurría con la TRO₂, la actividad respiratoria determinada en función de la producción de CO₂ (TRCO₂) disminuye considerablemente conforme lo hace el O₂ presente en el interior de los envases.

Los resultados estadísticos derivados del análisis de las distintas muestras ponen de manifiesto la influencia que la CE, la concentración de CO₂, la interacción entre ambos factores así como la concentración de O₂ disponible en el interior del envase ejerce en la tasa respiratoria teórica (TRO₂ y TRCO₂) de los frutos conservados a 20 y 10 °C (Tabla 5.3.2.1.). A 20 °C y a concentraciones de O₂ superiores a 10 %, los valores de TRO₂ fueron más elevados para los tomates cultivados bajo una mayor CE en la solución nutritiva (S7). Los frutos cultivados bajo las mismas condiciones de salinidad pero en presencia de una atmósfera enriquecida en CO₂ (S7C) presentaron una menor actividad respiratoria (TRO₂). El aporte de CO₂ no afectó a la respiración de los tomates cultivados con una menor CE (S4 y S4C). Cuando la concentración de CO₂ alcanza valores inferiores a un 10 % no se predicen valores de actividad respiratoria similares entre los frutos procedentes de los distintos tratamientos.

Tabla 5.3.2.1. Análisis de la varianza de los valores de actividad respiratoria teóricos obtenidos para las muestras de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservadas a 20 y 10 °C afectadas por la CE de la solución nutritiva, la concentración de CO₂ empleadas durante su cultivo, así como la concentración de O₂ presente en el interior de los envases.

	TRO ₂ (ml/kg.h)	TRCO ₂ (nl/kg.h)
20 °C		
CE	***	***
CO ₂	***	***
CE x CO ₂	***	***
O ₂	***	***
CE x CO ₂ x O ₂	ns	***
N	516	516
10 °C		
CE	***	***
CO ₂	***	***
CE x CO ₂	***	***
Tiempo	***	***
CE x CO ₂ x O ₂	ns	ns
N	516	516

ns, diferencias no significativas, diferencias significativas *** p ≤ 0.001

La determinación de la actividad respiratoria en función del CO₂ producido así como del O₂ consumido permitió calcular el cociente respiratorio (CR). Este cociente se supone 1 si los sustratos metabólicos son hidratos de carbono. Si el sustrato es un lípido, el CR es siempre inferior a 1, ya que la relación entre oxígeno y carbono es menor que en el caso de los hidratos de carbono. Si en cambio, el sustrato es un ácido el CR sería superior a 1. Se han descrito valores de CR comprendidos entre 0,7-1,3 para distintos frutos (Kader, 1987). El valor de CR será empleado para estimar la concentración de O₂ óptima para la conservación de los frutos. Cuando el CR es considerablemente superior a 1 tiene lugar un proceso de respiración

anaeróbica. Como consecuencia del metabolismo fermentativo se produce etanol teniendo lugar la descarboxilación del piruvato a CO_2 sin consumo de O_2 .

El CR como indicativo de un proceso de respiración anaeróbico ha sido empleado anteriormente por otros autores (Carlin, 1990; Beaudry et al, 1992 y Joles et al, 1994). En la figura 5.3.2.5. se presentan los valores medios de CR obtenidos a 20 (A) y 10 °C (B) en función de la concentración de O_2 presente en el interior del envase. En el Anexo nº6 podemos observar la CR para cada réplica y temperatura de estudio.

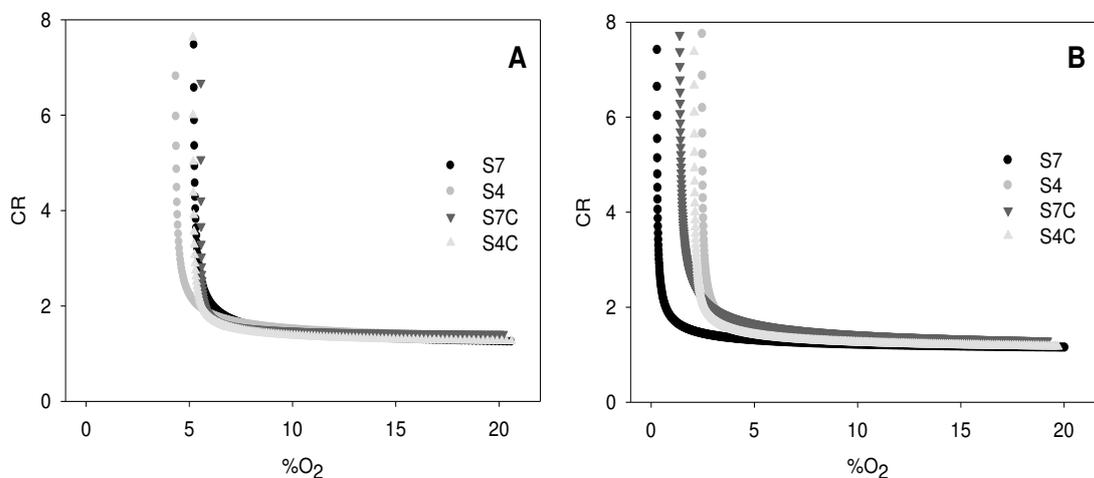


Figura 5.3.2.5. Evolución del cociente respiratorio (CR) en función de la concentración de O_2 disponible en el interior de un envase a 20 (A) y 10 °C (B).

A ambas temperaturas en estudio puede observarse un considerable incremento del CR a bajas concentraciones de $\text{O}_2\%$. Se puede considerar la concentración de O_2 óptima como la mínima concentración de O_2 la cual sin llegar a desencadenar procesos fermentativos, permitiese reducir la tasa respiratoria de los frutos. A la concentración de O_2 a partir de la cual aumenta el CR se le conoce como coeficiente de extinción. Conociendo este valor se han seleccionado distintas concentraciones de O_2 como óptimas para el envasado de los frutos cultivados bajo los distintos tratamientos precosecha y conservados a las temperaturas en estudio

(20 y 10 °C). En la siguiente tabla se incluyen los valores de O₂ medios seleccionados en cada caso junto con la TRO₂, determinada mediante el modelo propuesto por Gong & Corey, asociada a dicha concentración.

Tabla 5.3.2.2. Valores de O₂ considerados como óptimos para el envasado de tomate tipo Raf cultivados bajo distintas CE en la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO₂. Valores de TRO₂ estimados para dichas concentraciones de oxígeno.

	Conservación a 20°C		Conservación a 10°C	
	TRO ₂	%O ₂	TRO ₂	%O ₂
S7	3,08 ± 0,31 ab	7,45 ± 0,97	2,29 ± 0,23	1,95 ± 0,10 b
S4	4,38 ± 0,52 a	5,66 ± 0,32	1,88 ± 0,07	3,89 ± 0,32 a
S7C	2,67 ± 0,44 b	6,46 ± 0,80	1,92 ± 0,25	3,63 ± 0,34 a
S4C	4,48 ± 0,34 a	5,79 ± 0,61	1,64 ± 0,39	3,58 ± 0,23 a

Estos valores de TRO₂ y concentración de O₂ se emplearon para estimar la permeancia o velocidad de transmisión de O₂ (OTR) del polímero, de forma que permita alcanzar la concentración de O₂ en el equilibrio óptima para los frutos procedentes de los distintos tratamientos.

Tabla 5.3.2.3. Valores de la varianza de O₂ (%), TRO₂ asociada a dicha concentración y valores de transferencias de O₂ óptimos para el envasado de tomate tipo Raf (cv. Delizia) conservados a 20 y 10 °C afectadas por la CE de la solución nutritiva y la concentración de CO₂ empleada durante su cultivo, así como la concentración de O₂ presente en el interior de los envases.

	O ₂ (%)	TRO ₂ (ml/kg.h)	OTR (ml/m ² .dia.atm)
20 °C			
CE	ns	***	**
CO ₂	ns	*	*
CE x CO ₂	ns	*	**
N	12	12	12
10 °C			
CE	***	ns	ns
CO ₂	***	**	ns
CE x CO ₂	***	ns	ns
N	12	12	12

ns, diferencias no significativas, diferencias significativas * p ≤ 0.05, ** p ≤ 0.01, *** p ≤ 0.001

A 20 °C no se observaron diferencias significativas entre los valores de O₂ considerados como óptimos para la conservación de las muestras en estudio.

A 10 °C, la concentración de O₂ óptima para prolongar la vida útil es inferior para las muestras cultivadas con una mayor CE y sin aporte extra de CO₂ (S7).

Como se ha comentado anteriormente, los mejores resultados en atmósfera modificada se han alcanzado con una concentración de O₂ comprendida entre 3-5% (Kader et al., 1980; Geeson et al., 1985) para las muestras conservadas entre 10-12 °C. En este estudio, la concentración de O₂ estimada para los frutos conservados a 10 °C está comprendida entre dichos valores. Sin embargo en el caso de los frutos

cultivados con una mayor CE y sin aporte de CO₂ (S7), la concentración de O₂ podría reducirse incluso a valores próximos a un 2 %, lo cual permitiría reducir aún más la actividad respiratoria de dichos frutos.

Para evitar procesos fermentativos a 20 °C es necesario llevar a cabo la conservación de los tomates en presencia de una concentración de O₂ superior al 5% (Tabla 5.3.2.2.).

Considerando los valores de O₂ (%) así como las TRO₂ asociadas a los mismos (Tabla 5.3.2.2.) se puede calcular la permeabilidad del film a emplear, para lo cual es necesario establecer las dimensiones del envase y el peso de muestra. Se ha considerado como peso de la muestra 0,6 kg y como área 660 cm² (bolsas de 30 x 22 cm), valores extraídos a partir de distintas pruebas de envasado llevadas a cabo previamente con tomate tipo Raf (cv. Conquista y cv. Delizia) (Imagen 5.3.2.1).

$$\text{OTR} \left(\frac{\text{mL}}{\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}} \right) = \left(\frac{\text{TR} \cdot \text{P}(\text{kg})}{\text{D}(\text{m}^2) \cdot \left(\frac{\% \text{O}_2 \text{ out} - \% \text{O}_2 \text{ in}}{100} \right)} \right) \cdot 24$$

donde, TR = tasa respiratoria O₂

P= peso en kg

D= dimensiones en m²

%O_{2 out} = porcentaje de O₂ atmosférico (20,9)

%O_{2 in} = porcentaje de O₂ en el interior del envase



Imagen 5.3.2.1. Tomates tipo Raf (cv. Conquista) envasados para la determinación de las dimensiones del envase.

Según la Tabla 5.3.2.4. no se observaron diferencias significativas entre los valores de OTR óptimos para el envasado de los frutos procedentes de los mismos tratamientos para su conservación a 10 °C. Sin embargo, para una conservación a 20 °C los tomates cultivados con una mayor CE en la solución nutritiva y en presencia de una atmósfera enriquecida en CO₂ (S7C) deberían de ser envasados con film de menor permeabilidad al O₂ (4080 ± 480 mL/m²·día·atm).

Tabla 5.3.2.4. Valores de velocidad de transferencia de O₂ (OTR) óptimos para el envasado de tomate tipo Raf (cv. Delizia) cultivados bajo distintas CE en la solución nutritiva así como distintas concentraciones de CO₂.

	OTR (mL/m ² ·día·atm)	
	20°C	10°C
	660 cm ² – 0,6 kg	660 cm ² – 0,6 kg
S7	6000 ± 240a	2640 ± 240
S4	6240 ± 720a	2400 ± 24
S7C	4080 ± 480b	2400 ± 41
S4C	6480 ± 480a	2160 ± 467

Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas entre tratamientos

En la siguiente tabla se incluyen los datos de permeabilidad ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$) para los polímeros que resultarían óptimos para el envasado de frutas y hortalizas (Massey, 2003), debido a su transparencia, resistencia mecánica así como capacidad de termosellado. La permeabilidad se obtiene a partir de los valores de permeanza o velocidad de transferencia de O_2 (OTR) y espesor del film (permeanza = permeabilidad/espesor), aumentando este último la permeabilidad del material polimérico disminuye.

Tabla 5.3.2.5. Valores de permeabilidad a O_2 de distintos polímeros comerciales a $23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$ que podrían ser empleados en la conservación de frutas y hortalizas (CPP: polipropileno craft, BOPP: polipropileno biorientado, LLDPE: polietileno lineal de baja densidad, LDPE: polietileno de baja densidad)

Polímeros	Permeabilidad ($\text{mL}\cdot\text{mm}/\text{m}^2\cdot\text{dia}\cdot\text{atm}$)	Espesor (mm)	OTR ($\text{mL}/\text{m}^2\cdot\text{dia}\cdot\text{atm}$)
CPP	59-100	0,040	1475-2500
BOPP	59-63	0,025	2360-2520
LLDPE	200	0,040	5000
LDPE	200	0,050	4000

En cuanto al oxígeno los valores de permeanza (OTR) alcanzados con los polímeros comerciales resultarían idóneos para la conservación de los frutos a $10\text{ }^{\circ}\text{C}$. Es necesario considerar también la concentración de CO_2 acumulada en el interior de los envases. Para ello en la siguiente tabla (Tabla 5.3.2.6.) se incluyen los valores de permeabilidad a CO_2 asociados a los mismos polímeros, partir de dichos valores se predice una concentración de CO_2 superior a un 19 %. Esta elevada concentración de CO_2 podría actuar en detrimento de la calidad del fruto

dependiendo del periodo de exposición a la misma. Sin embargo, estos valores vienen referidos a una temperatura superior ($23\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 3\text{ }^{\circ}\text{C}$). Un descenso de la temperatura produce un descenso considerable en la OTR del material polimérico.

Para aumentar el periodo de conservación del producto en el interior del envase es necesario el empleo de un polímero con una mayor velocidad de transferencia de CO_2 y O_2 .

Tabla 5.3.2.6. Valores de permeabilidad a CO_2 de distintos polímeros comerciales que podrían ser empleados en la conservación de frutas y hortalizas (CPP: polipropileno craft, BOPP: polipropileno biorientado, LLDPE: polietileno lineal de baja densidad, LDPE: polietileno de baja densidad)

Polímeros	Permeabilidad (mL.mm/m ² .dia.atm)	Espesor (mm)	CO ₂ TR (mL/m ² .dia.atm)
CPP	200	0,040	5000
BOPP	250	0,025	80000
LLDPE	800	0,040	20000
LDPE	1000	0,050	20000

A partir de esta evaluación se desprende que los distintos materiales poliméricos disponibles en el mercado suponen una importante limitación ya que no permiten un adecuado intercambio de gases (O_2 y CO_2) capaz de mantener al producto en una atmósfera modificada óptima tal que permita mantener su calidad durante un mayor tiempo. La excesiva capacidad de barrera de los materiales plásticos convencionales frente a la elevada velocidad de respiración del producto, conducen a una reducción continuada de oxígeno y a un aumento en la concentración de dióxido de carbono. Lamentablemente, materiales con permeabilidades a gases muy superiores a las poliolefinas, que sean

termosoldables y con capacidad de formación de película, no son comerciales. Una alternativa podría ser la reducción del espesor de la película, para aumentar así la permeabilidad. Sin embargo, esta opción está limitada por la tecnología a espesores de entre 0,010-0,015 mm.

La solución viable más extendida es la utilización de películas poliméricas denominadas perforadas, pudiendo mantener un aporte continuo del O_2 y una pérdida equivalente del CO_2 producido por la respiración del producto.

Estos datos ponen de manifiesto la dificultad que existe en torno a la adquisición de polímeros compatibles con las condiciones de envasado en atmósfera modificada de productos hortofrutícolas. Por lo que para alcanzar una composición atmosférica próxima a la determinada como óptima hay que recurrir a la incorporación de microperforaciones en el material polimérico.

A partir de los resultados derivados de este trabajo se llevará a cabo un análisis enfocado al desarrollo de un envase microperforado para la conservación de tomate tipo Raf (cv. Delizia), que se trate de ajustar en la mayor medida posible a las condiciones de conservación óptimas para esta variedad de tomate. Para ello se hará uso de un modelo propuesto por Del Valle et al (2003; 2009), el cual permite predecir la composición atmosférica en el interior de envases microperforados. De este modo se podría determinar el número y diámetro de poros que resulte más idóneo para el envasado de los frutos.

Conclusiones

6. CONCLUSIONES

A partir del estudio de la influencia que ejerce la temperatura de conservación en la calidad y vida útil del tomate tipo Raf (cv. Delizia) se determina que:

- La mejor temperatura de conservación puesta a estudio para tomate Raf cv. Delizia fue 10°C, permitiendo ralentizar el proceso de maduración de los frutos sin producir alteraciones asociadas a daños por frío. Los frutos conservados una semana a 10 °C tras ser transferidos a 20 °C resultaron aptos para su comercialización un total de 3 días a dicha temperatura (10 días).

Las conclusiones obtenidas a partir del estudio de la influencia de los factores precosecha en la calidad y vida útil del tomate tipo Raf (cv. Delizia) son:

- Un aumento de la CE de la solución nutritiva ejerce un efecto positivo en la calidad poscosecha del tomate tipo Raf (cv. Delizia), sin embargo este efecto se ve afectado en gran medida por la concentración de CO₂ presente durante el cultivo de los frutos.
- El aporte de CO₂ podría beneficiar la calidad poscosecha de los frutos cuando éstos son cultivados con una menor CE, como consecuencia de una menor pérdida de peso durante la conservación de los mismos.
- Una mejor calidad general y vida útil se consigue cuando los tomates son cultivados en presencia de una elevada CE y sin aporte extra de CO₂.

Del estudio del proceso respiratorio se desprende:

- La CE, la concentración de CO_2 así como la interacción entre ambos factores influye en la actividad respiratoria y producción de etileno de los frutos. A las temperaturas de conservación en estudio, 20 y 10 °C, los tomates cultivados con una mayor CE en la solución nutritiva han presentado una mayor actividad respiratoria (TRCO_2) a la vez que una menor tasa de emisión de etileno.
- La temperatura de conservación influye significativamente en el proceso respiratorio así como en la emisión de etileno, resultando superiores los valores obtenidos para estos parámetros a 20 °C. Los valores de Q10 obtenidos, se encuentran entre 2,37 y 3,88.
- Se ha estimado los valores de permeabilidad óptimos para el envasado de tomate tipo Raf cv. Delizia. Los polímeros disponibles en el mercado no permiten un intercambio gaseoso capaz de alcanzar una atmósfera modificada óptima para la conservación de esta variedad de tomate. A partir del modelo matemático desarrollado se obtienen los valores de TRCO_2 y TRO_2 que pueden ser empleados en un estudio posterior destinado al desarrollo de películas poliméricas perforadas.

Bibliografía

7. BIBLIOGRAFÍA

- **Adams D.O. and Yang S.F.**, 1979. Ethylene biosynthesis: Identification of 1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid as intermédiaire in the conversión of methionine to ethylene. *Proc. Natl. Acad. Sci.* 76: 170.
- **Adams P.**, 1991. Effects of increasing the salinity of the nutrients solution with major nutrients or sodium chloride on the yield, quality and composition of tomato grown in rockwool. *J. Hort. Sci.* 66, 201–207.
- **Agong S. G., Schittenhelm S. and Friedt W.**, 1997. Assessment of salt tolerance in the Kenyan tomato germplasm. *Euphytica* 95:57-66.
- **Alba R., Cordonnier-Pratt M., Pratt L.H.**, 2000. Fruit-localized phytochromes regulate lycopene accumulation independently of ethylene production in tomato. *Plant Physiol.* 123, 363-370.
- **Alba R., Payton P., Fei Z., McQuinn R., Debbie P., Martin G.B., Tanksley S.D. and Giovannoni J.J.**, 2005. Transcriptome and selected metabolite analyses reveal multiple points of ethylene control during tomato fruit development. *Plant Cell* 17:2954–2965.
- **Albi M.A. and Gutiérrez F.**, 1991. Parámetros para evaluar el estado de maduración y la calidad de frutos y hortalizas en “El etileno en la maduración y postrecolección de frutos y hortalizas”. España.
- **Alía T.I.**, 2000. Temperaturas de almacenamiento y maduración en frutos de mamey (*Pouteria sapota* (Jacq.) H.E. More & Stearn). *Revista Chapingo Serie Horticultura* 6: 73-77.

- **Alonso F.J., Lorenzo P., Medrano P. and Sanchez-Guerrero M.C.,** 2012. Greenhouse sweet pepper productive response to carbon dioxide enrichment and crop pruning. *Acta Hort.* 927: 345-352.
- **Angeletti P., Castagnasso H., Miceli E., Terminiello L., Concellón A., Chaves A. and Vicente A.,** 2010. Effect of preharvest calcium applications on postharvest quality, softening and cell wall degradation of two blueberry (*Vaccinium corymbosum*) varieties. *Postharvest Biology and Technology.* Volume 58, Issue 2, November 2010, Pages 98–103.
- **AOAC,** 1984. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemists. 13^a. Ed. Washington.
- **Arias R., Lee T.C. and Logendra L.,** 2000. Correlation of lycopene measured by HPLC with the L, a , b colour readings of a hydroponic tomato and the relationship of maturity with colour and lycopene content. *Journal of Agricultural and Food Chemistry,* 48, 1697-1702.
- **Artés F.,** 1974. Generación y estabilización de atmósferas especiales mediante el empleo de membranas de polímeros plásticos. Aplicaciones a la conservación de tomate. *Memorias CEBAS-CSIC,* XIV, 258: 1-12.
- **Artés F.,** 1977. Técnicas de generación de atmósfera controlada en instalaciones frigoríficas convencionales. *Información Técnica Económica Agraria,* 26: 56-64.
- **Artés F.,** 1987. Refrigeración y comercialización hortofrutícolas en la Región de Murcia. II Edición. Edición. CEBAS-CSIC. 150 p.

- **Artés F.**, 1997. El frío y la alimentación en el mundo. Alimentación, Equipos y Tecnología. 1: 61-64.
- **Artés F.**, 1998. Avances recientes en la postrecolección de productos hortícolas. Phytoma. 100: 167-176.
- **Artés F.**, 1999. Avances en los tratamientos post-cosecha para la conservación en fresco de limón y pomelos. Levante Agrícola, Especial post-cosecha. (38), 348:289-294.
- **Artés F.**, 2000. Modificaciones de la atmósfera y tratamientos térmicos para reducir los daños por el frío en la posrecolección hortofrutícola. 2º Cong. Iber. Tecnología Poscosecha y Agroexportaciones. Santa Fe de Bogotá. Colombia.
- **Artés F., Mínguez M.I. and Hornero D.**, 2002. Analysing changes in fruit pigments. In: Colour in Food. Improving Quality. Ed. D. B. Mac Dougall. Edit. CRC Press and Woodhead. Publishing Ltd. Chap. 10: 248-282.
- **Artés F., Gómez P.**, 2003. Packaging and colour control: the case of fruits and vegetables. En: Novel Food Packaging Techniques. Ed R. Avenhainen. Cap 20, pp 416-438.
- **Artés F. and Artés-Hernández F.**, 2004. Reducción de daños por el frío en la refrigeración hortofrutícola. Alimentación, Equipos y Tecnología. 186: 56-64.
- **Auerswald H., Schwarz D., Kornelson C., Krumbein A. and Bruckner B.**, 1999. Sensory analysis, sugar and acid content of tomato at different EC values of the nutrient solution. Sci. Hortic. 82, 227–242.

- **Augustin J.**, 1975. Variation in the nutritional composition of fresh potatoes. *J. Food Sci.* 40: 1295-1299.
- **Balibrea M.E., Martínez-Andujar C., Cuartero J., Bolarin M.C., Pérez-Alfocea F.**, 2006. The high fruit soluble sugar content in wild *Lycopersicon* species and their hybrids with cultivars depends on sucrose import during ripening rather than on sucrose metabolism. *Funct. Plant Biol.* 33, 279-288.
- **Ball J.A.**, 1997. Evaluation of Lipid-based Edible Coating for Their Ability to Preserve Postharvest Quality of Green Bell Peppers. M. Sc. Thesis, Blacksburg, Virginia, 89p.
- **Beaudry R.M., Cameron A.C., Shirazi A. and Dostal-Lange D.L.**, 1992. Modified atmosphere packaging of blueberry fruit: effect of temperature on package O₂ and CO₂. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 117, 436-441.
- **Beckles D.M.**, 2012. "Factors affecting the postharvest soluble solids and sugar content of tomato (*Solanum lycopersicum* L.) fruit". *Postharvest Biology and Technology* 63 (1) , pp. 129-140.
- **Bindi M., Fibbi L. and Miglietta F.**, 2001. Free air CO₂ Enrichment (FACE) of grapevine (*Vitis vinifera* L.): II. Growth and quality of grape and wine in response to elevated CO₂ concentrations. *European Journal of Agronomy*, 14, 145–155.
- **Borghesi E., González-Miret M.L., Escudero-Gilete M.L., Malorgio F., Heredia F.J. and Meléndez-Martínez J.**, 2011. Effects of salinity stress on Carotenoids, Anthocyanins, and Color of Diverse Tomato Genotypes. *J. Agric. Food Chem.* 59, 11676-11682.

- **Botella M.A., Del Amor F., Amoros A., Serrano M., Martínez V. and Cerda A.,** 2000. Polyamine, ethylene, and other physico-chemical parameters in tomato (*Lycopersicon esculentum*) fruit as affected by salinity. *Physiol. Planta.* 109, 428-439.
- **Budde C., Polenta G., Lucangeli C. and Murria R.,** 2006. Air and immersion heat treatments affect ethylene production and organoleptic quality of Dixiland peaches. *Postharvest Biology and Technology.* (41), 32-37.
- **Burg S.P. and Burg E.A.,** 1967. Molecular requirements for biological activity of ethylene. *Plant Physiol.* 42:144–152.
- **Burzo, I.,** 1980. Influence of temperature level on respiratory intensity in the main vegetables varieties. *Acta Horticulturae,* 116, 61–64.
- **Buttery, R. G.,** 1993 In: *Flavor Science-Quantitative and sensory aspects of flavor of tomato and other vegetables and fruits.* (Acree, T. E., Teranishi, R., eds.), American Chemical Society, Washington, DC. pp 259–285.
- **Bruhn C.M.,** 2003. Aspectos de calidad y seguridad alimentaria de interés para el consumidor. Cap. 3. In: Kader A., *Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícola.* Tercera edición. Series de horticultura poscosecha nº4. Universidad de California.
- **Cantwell M.,** 2007. Resumen de las condiciones recomendadas para el manejo de frutas y hortalizas frescas. En A.A. Kader (ed.) *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas.* Davis, CA, USA pp. 571-580.

- **Cameron A.C.**, 1989. Modified atmosphere packaging: a novel approach for optimising package oxygen and carbon dioxide. In Proceedings of the fifth international controlled atmosphere research conference (Vol. 2) (pp. 197-207).
- **Carlin F., Nguyen-the, C., Hilbert, G., and Chambroy, Y.**, 1990. Modified atmosphere packaging of fresh, “ready-to-use” grated carrots in polymeric films. *Journal of Food Science*, 55, 1033–1038.
- **Catovsky S. and Bazzaz F.**, 1999. Elevated CO₂ influences the responses of two birch species to soil moisture: Implications for forest community structure. *Global Biol.* 5: 507-518.
- **Causse M., Damidaux R. and Rousselle P.**, 2007. Traditional and enhanced breeding for quality traits in tomato. In: Razden, M.K., Matto, A.K. (Eds.), *Genetic Improvement of Solanaceous Crops. Vol.2: Tomato Science Publisher*, pp. 153-192.
- **Cornish P.S.**, 1992. Use of high electrical conductivity of nutrient solution to improve the quality of salad tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grown in hydroponic culture. *Aust. J. Exp. Agric.* 32.
- **Cuarteto J. and Fernández-Muñoz R.**, 1999. Tomato and salinity. *Scientia Horticulturae* 78: 83-125.
- **Chang C.H. and Liu Y.C.**, 2007. Study on lycopene and antioxidant contents variations in tomatoes under air-drying process. *Journal of Food Science* 72 (9), 532-540.

- **Chen C.T. and Setter T.L.**, 2012. Response of potato dry matter assimilation and partitioning to elevated CO₂ at various stages of tuber initiation and growth. *Environmental and Experimental Botany* 80: 27-34.
- **Chaïb J., Devaux M.F., Grotte M.G., Robini K., Causse M., Lahaye M. and Marty,I.**, 2007. Physiological relationships among physical, sensory, and morphological attributes of texture in tomato fruits. *J. Exp. Bot.* 581 1915-1925.
- **Cliff M.A., Li J.B., Toivonen P.M and Ehret D.L.**, 2012. “Effects of nutrient solution electrical conductivity on the compositional and sensory characteristics of greenhouse tomato fruit”. *Postharvest Biology and Technology* 67: 10-18.
- **Crisosto, C. and Mitchell, J.**, 2003. Factores precosecha que afectan la calidad de frutas y hortalizas. Cap. 5. In: Kader A., *Tecnología poscosecha de cultivos hortofrutícola*. Tercera edición. Series de horticultura poscosecha nº4. Universidad de California.
- **Davies J.N. and Hobson G.E.**, 1981. The constituents of tomato fruit – the influence os environment, nutrition and genotype. *CRC Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 15, 205-280.
- **Dennis C., Browne K.M. and Adamicki F.**, 1979. Controlled atmosphere storage of tomatoes. *Acta Hort.* 93: 75-83.
- **de Pascale S., Maggio A., Fogliano V., Ambrosino P. and Ritieni A.** 2001. Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *J. Hortic. Sci. Biotechnol.* 76 (4), 447-453.

- **Del Valle V., Almenar E., Lagarón J. M., Catalá R., Gavara R.** 2003. Modelling permeation through porous polymeric films for modified atmosphere packaging. *Food Additives and Contaminants*, 20, 2, 170-179.
- **Del Valle V., Hernández-Muñoz P., Catalá R., Gavara R.** 2009. Optimization of an equilibrium modified atmosphere packaging (EMAP) for minimally processed mandarin segments. *Journal of Food Engineering*, 91, 3, 474-481
- **Di Mascio P., Kaiser S. and Sies H.,** 1989. Lycopene as the most efficient biological carotenoid singlet oxygen quencher. *Arch. Biochem. Biophys.* 274, 535–538.
- **Dominguez I., Ferreres F., Pascual del Riquelme F., Font R. and Gil M.,** 2012. “Influence of preharvest application of fungicides on the postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.)”. *Postharvest Biology and Technology* 72: 1-10.
- **Dorais M., Dorval R., Demers D.A., Micevic D., Turcotte G., Hao X., Papadopoulos A.P., Ehret D.L. and Gosselin A.,** 2000. Improving tomato fruit quality by increasing salinity: effects on ion uptake, growth and yield. *Acta Hortic.* 511, 185–195.
- **Eaks I.L. and L.L. Morris.** 1956. Respiration of cucumber fruits associated with physiological injury at chilling temperatures. *Plant Physiol.* 31:308-314.
- **Emond J. P., Chau K. V., and Brecht J. K.,** 1993. Modeling respiration rates of blueberry in a perforation-generated modified atmosphere package. In G. D. Blanshard, J. A. Barstch, & J. R. Hicks (Eds.). *Proceedings of the 6th international controlled atmosphere research conference* (pp. 134–144), Ithaca, NY, USA.

- **Ehret D.L. and Plant A.L.**, 1999. Salt tolerance in crop plants. In: Dhaliwal, G.S., Arora, R. (Eds.), Environmental Stress in Crop Plants. Commonwealth Publishers, New Delhi, pp. 69–120.
- **Escobar I., Berenguer J.J., Navarro M. and Cuartero J.**, 2012. “La calidad gustativa y nutricional como atributos para liderar el mercado de tomate en fresco”.
- **Fabre R., Duval M. and Jeannequin B.**, 2011. Effect of the salinity on the organoleptic quality and yield of early-grown soilless grafted tomatoes under heated glasshouses in the south of France. Cahiers Agricultures 20, 266–273.
- **FAO**, 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 151. ISSN 1020-4334.
- **Fennema O.**, 1993. “Química de alimentos”. Zaragoza. Editorial Zaragoza.
- **Fernández-García N., Martínez V. and Cerdá A.**, 2004. “Fruit quality of grafted tomato plants grown under saline conditions”. J, Hort. Sci. Biotechnol. 79, 995-1001.
- **Fernandez C., Pitre A., Llobregat MJ. and Rondón Y.**, 2007. Información Tecnológica 18 (3), 31-38.
- **Fidler J.C.**, 1965. Controlled atmosphere storage of apples. Proc. Instit. Refrig., May 6, 1965, Natl. College for Heat-ing, Ventilation, Refrigeration and Fan Engineering, London, pp. 1-7.

- **Fidler J. C., & North C. J.**, 1967. The effect of conditions of storage on the respiration of apples. I. The effects of temperature and concentrations of carbon dioxide and oxygen on the production of carbon dioxide and uptake of oxygen. *Journal of Horticultural Science*, 42, 189–206.
- **Fonseca S., Oliveira F., Brecht J.**, 2002. Modelling respiration rate of fresh fruits and vegetables for modified atmosphere packages: a review. *Journal of Food Engineering* 52: 99-119.
- **Fuke S. and Shimizu T.**, 1993. Sensory and preference aspects of umami. *Trends Food Sci. Technol.* 4, 246-251.
- **Flores P., Navarro J.M., Carvajal M., Cerdá A. and Martínez V.**, 2003. "Tomato yield and quality as affected by nitrogen source and salinity. *Agronomie* 23: 249-256".
- **Gallo F.**, 1997. Manual de fisiología, patología poscosecha y control de calidad en frutas y hortalizas. Armenia, Colombia, SENA.
- **Oms-Oliu G., Hertog M., Poel B., Ampofo-Asiama J., Geeraerd A. and Nicolaï B.**, 2011. "Metabolic characterization of tomato fruit during preharvest development ripening, and postharvest shelf-life".
- **Geeson J.D., Browne K.M., Maddison K., Shepherd J. and Guaraldi F.**, 1985. Modified atmosphere packaging to extend the self life of tomatoes. *J. Food Technol.* 20: 339-349.
- **Gerster H.**, 1997. The potential role of lycopene for human health. *J. Am. Coll. Nutr.* 16, 109–126.

- **Gifford R.**, 1979. Growth and yield of CO₂-enriched wheat under water limited conditions. *Aust. J.Plant Physiol.* 6: 367-378.
- **Gil M.I., Tomás-Barberán F.A. and Hess-Pierce.**, 2002. Antioxidant capacities, phenolic compounds, carotenoids, and vitamin C contents of nectarine, peach, and plum cultivars from California. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 50, 4952-4976.
- **Giovannoni J.**, 2001. Molecular biology of fruit maturation and ripening. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52: 725-749.
- **Giovannucci E.**, 1999. Tomatoes, tomato-based products, lycopene, and prostate cancer: review of the epidemiologic literatures. *J. Natl. Cancer Inst.* 91, 317–331.
- **Gohil H.L., Bucklin R.A. and Correll M.J.**, 2010. “The effects of CO₂ on growth and transpiration of radish (*Raphanus sativus*) in hypobarica”45: 823–831.
- **Gong S. and Corey K.A.**, 1994. “Predicting Steady-state Oxygen Concentrations in Modified-atmosphere Packages of Tomatoes”. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 119 (3): 546-550.
- **Gómez M.A.**, 1999. Physiology and molecular biology of fruit ripening. In “Plant Biotechnology for food production”. Technomic Publishing Co. London 303-342pp.
- **Goula A.M. and Adamopoulos K.G.**, 2005. Stability of lycopene during spray of tomato pulp. *LWT-Food Science and Technology.* 38 (5), 479-487.

- **Guerra F.**, 1996. Tecnología post-cosecha de frutos cítricos. Curso integral de citricultura. Instituto de Investigaciones de Fruticultura Tropical. P: 242-257.
- **Grierson W., Wardowski W.F. and Nagy S.**, 1986. Fresh citrus fruits: Avi Publishing Co. Westport. (Connecticut) 571pp.
- **Haggar P., Lee D. and Yam K.**, 1992. Application of an enzyme kinetics based respiration model to closed system experiments for fresh produce. Journal of Food Proceedings and Engineering, 15, 143-157.
- **Harris R.S.**, 1975. Effects of agricultural practices on the composition of food, pp. 33-57. In: Harris, R.S. and E. Karmas (eds.), Nutritional evaluation of food processing, 2nd ed., AVI Publ. Co., Westport, CT.
- **Hasegawa P.M., Bressan R.A., Zhu J.K. and Bohnert H.J.**, 2000. Plant cellular and molecular responses to high salinity. Annu Rev. Plant Physiol. Plant Mol Biol., 51, 463-499.
- **Hayakawa K., Henig Y. and Gilbert S.G.**, 1975. Formulae for predicting gas exchange of fresh produce in polymeric film package. Journal of Food Science, 40: 172-186.
- **Henig Y.S. and Gilbert S.G.**, 1975. Computer analysis of the variables affecting respiration and quality of produce packaged in polymeric films. J. Food Sci. 40, 1033-1035.
- **Herner R. C.**, 1987. High CO₂ effects on plant organs. In J. Weichmann (Ed.), Postharvest physiology of vegetables (pp. 239–253). New York, USA: Marcel Dekker.

- **Hinklenton P.R.**, 1988. CO₂ enrichment in the greenhouse, principles and practice. Armitage .\M, ed, Portland, OR, US.A: Timber Press.
- **Hobson GE.**, 1981. The short-term storage of tomato fruit. J. Hort. Sci. 56:363-368.
- **Ikhtiar K., Andaleeb A. and Abid M.**, 2012. “The impact of enhanced atmospheric carbon dioxide on yield, proximate composition, elemental concentration, fatty acid and vitamin C contents of tomato (*Lycopersicon esculentum*)”.
- **IPCC.** Climate change. **Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis K.B., Averyt K., Tignor H. and Miller H.**, 2007. The physical science basis contribution of working group I to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change (996 p.). Cambridge, UK.
- **International Institute of Refrigeration (IRR).**, 1996. The role of refrigeration in worldwide nutrition. Paris. Nov. 2 pág.
- **Isenberg F. M. R.**, 1979. Controlled atmosphere storage of vegetables. Horticultural Reviews, 1, 337–394.
- **Islam Md.S., Matsui T. and Yoshida Y.**, 1996. Effect of carbon dioxide enrichment on physico-chemical and enzymatic changes in tomato fruits at various stages of maturity.

- **Jacxsens L., Devlieghere F., Falcato P. and Debevere J.**, 1999. Behavior of *Listeria monocytogenes* and *Aeromonas* spp on fresh cut produce stored under equilibrium modified atmosphere. Journal of Food Protection in press.

- **Janse J.**, 1995. Flavour of tomatoes. In: XXX. Vortragstagung der Deutschen Gesellschaft für Qualitätsforschung (Pflanzliche Nahrungsmittel), Heilbronn, Deutschland, 27-28. pp. 179-194.

- **Jarvis P.J.**, 1993. Global change and plant water relations. –in: Borghetti, M., Grace, J., Raschi, A. Water transport in plants under climatic stress. Cambridge University Press, London, pp. 1-13.

- **Javanmadi J. and Kubota C.**, 2006. Variations of lycopne, antioxidant activity, total soluble solids and weight loss of tomato during postharvest storage. Postharvest Biology and Technology.41 (2), 151-155.

- **Joles D. W., Cameron A. C., Shirazi A., Petracek P. D., and Beaudry R. M.** 1994. Modified atmosphere packaging of 'Heritage' red raspberry fruit:

respiratory response to reduced oxygen, enhanced carbon dioxide and temperature. Journal of the American Societyfor Horticultural Science, 119, 540–545.

- **Kader A.A., Stevens M., Albright-Holton M., Morris L.L. and Algazi M.**, 1977. Effect of fruit ripeness when picked on flavor and composition in fresh market tomatoes. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 102: 724-731.

- **Kader A.A., Morris L.L., Stevens M.A. and Albright-Holton M.**, 1978b. Composition and flavor quality of fresh market tomatoes as influenced by some postharvest handling procedures. J. Amer. Soc. Hort. Sci. 103: 6-13.

- **Kader, A.A.**, 1980. Prevention of ripening in fruits by use of controlled atmospheres. *Food Technol.* 34: 51-54.
- **Kader A. A.** 1985. Postharvest biology and technology: an overview. En: *En: Postharvest Technology of Horticultural Crops*. Kader, A. A.; R. F. Kasmire; F. G. Mitchel; M. S. Reid; N. F. Sommer and J. F. Thompson. Capítulo 2, pp. 3-7.
- **Kader A.**, 1986. Effects of postharvest handling procedures on tomato quality. *Acta Horticulturae* 190, Tomato on Arid Land.
- **Kader A.A.**, 1986. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. *Food Technol.* 5: 99-104.
- **Kader, A. A.**, 1987. Respiration and gas exchange of vegetables. En J. Weichmann (Ed). *Postharvest physiology of vegetables*. New York, USA: Marcel Dekker, pp25-43.
- **Kader A.**, 1988. "Influence of preharvest and postharvest environment on nutritional composition of fruits and vegetables". Department of Pomology , University of California.
- **Kader A. A., Zagory D. and Kerbel E. L.**, 1989. Modified atmosphere packaging of fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 28, 1–30.
- **Kader A.A.**, 1990. Modified atmosphere during transport and storage of fresh fruits and vegetables. *I Int. Cong. Food Technol. Develop. Murcia.* 1: 149-163.

- **Kader A. A.**, 1992. Methods of gas mixing, sampling and analysis. En: A.A. Kader (ed.). Postharvest technology of horticultural crops. Universidad de California, Berkley California, pp 93-95.

- **Kader A. A.**, 1997. A summary of CA requirements and recomendations for fruits other than apples and pears. En A. A. Kader (Ed.), Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas. Proceedings of the 7th international controlled atmosphere research conference: Davis, CA, USA, Vol 3 pp 1-34.

- **Kader A.A.**, 2002. Modified atmosphere during transport and storage. En: Postharvest Technology of Horticultural Crops. Third edition. Ed: A.A. Kader. University of California. 14:135-144.

- **Kader A.A.**, 2003. Tecnología Postcosecha de cultivos hortofrutícolas. 3ª Edición. Centro de información e investigación en tecnología poscosecha. Universidad de California.

- **Kader A.**, 2008. Perspective. Flavor quality of fruits and vegetables. J Sci Food Agric 88:1863-1868.

- **Kays S.J. and Paul R.E.**, 2004. Metabolic Processes in Harvested Products. Exon Press, Athens, GA.

- **Kersten M., Van Veel L.**, 1998. Ras veel belangrijker voor smaak fan EC. Groenten en fruit/Glasgroenten 8 (7), 16-17.

- **Kramer, P. J.** 1981. Carbon dioxide concentration, photosynthesis, and dry matter production. BioScience. 31: 29-33.

- **Krauss S., Schnitzler W.H., Grassmann J. and Voitke.,** 2006. “The influence of different electrical conductivity values in a simplified recirculating soilless system on inner and outer fruit quality characteristics of tomato. *J. Agric. Food Chem.* 54, 441-448”.
- **Krumbein A. and Auerswald H.,** 1998. Characterization of aroma volátiles in tomatoes by sensory analyses. *Nahrung* 42, 395-399.
- **Krumbein A., Schwarz D. and Klaring H.P.,** 2006. Effects of environmental factors on carotenoid content in tomato (*Lycopersicon esculentum* (L.) Mill.) grown in a greenhouse. *J. Appl. Bot. Food Qual.* 80, 160–164.
- **Leonardi M., Giusstrida S., Fogliano V. and Pernice R.,** 2004. Tomato fruit quality in relation to the content of sodium chloride in the nutrient solutions. Università di Napoli. Italy. 7p.
- **Lin W.C. and Block G.S.,** 1999. The effects of NaCl addition and macronutrient concentration on fruit quality and flavor volatiles of greenhouse tomatoes. *Acta Hortic.* 481, 487–493.
- **Long S.P.,** 1991. Modification of the response of photosynthetic productivity to rising temperature by atmospheric CO₂ concentrations: Has its importance been underestimated? *Plant, Cell and Environment* 14: 729-739.
- **López Camelo A.F.,** 2003. “Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas”. Boletín de servicios agrícolas de la FAO.
- **Macnish A.J., Joyce D.C. and Shorter A.J.,** 1997. A simple non-destructive method for laboratory evaluation of fruit firmness. *Aust. J. Exp. Agric.* 37, 709–713.

- **Maggio A., Fogliano V., Ambrosino P., Ritieni A. and De Pascale S., 2001.** Irrigation with saline water improves carotenoids content and antioxidant activity of tomato. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. 76 (4): 447-453.
- **Magán J.J., Gallardo R.B., Thompson P. and Lorenzo,** 2008. Effects of salinity on fruit yield and quality of tomato grown in soil-less culture in greenhouses in Mediterranean climatic conditions. *Agricultural Water Management*, 95 (9), pp. 1041-1055.
- **Malundo T.M., Shewfelt R.L. and Scott J.W., 1995.** Flavor quality of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum Mill.*) as affected by sugar and acid levels. *Postharvest Biol. Technol.* 6, 103-110.
- **Marcellin P., 1970.** Développements récents de la conservation en atmosphère contrôlée des produits horticoles. *Rev Prat. Froid*.6, 27-33.
- **Marcellin P., 1974.** Conservation des fruits et légumes en atmosphère contrôlée a l'aide de membranes de polymers, *Rev. Gen. Froid*. 3:217-263.
- **Marcellin P. and Ulrich R., 1983.** Comportement des fruits et légumes en conditions modulées et programmées. *Int. J. Refrigeration*.6: 329-336.
- **Marcellin P., 1986.** Conservation des fruits en atmosphère contrôlée. *Rev. Gén. Froid*. 76: 155-159.
- **Marcellin P., 1992.** Les maladies physiologiques du froid. En: *Les végétaux et le froid*.Ed. D. Côme. Ed. Hermann. París. 53-105.

- **Martínez-Jávega J.M.**, 1997. La frigoconservación en naranjas y mandarinas. Rev. Phytoma. 90: 136-140.
- **Massey L.K.**, 2003. Permeability properties of plastics and elastomers: a guide to packaging and barrier properties. Pag 235-290. Ed.: Plastics Design Library (New York).
- **Mitchell J.P., Shennan C. and Grattan S.R.**, 1991. Developmental changes in tomato fruit composition in response to water deficit and salinity. Physiol. Planta. 83, 177–185.
- **Mattheis J.P.**, 1999. "Preharvest factors influencing flavor of fresh fruit and vegetables". Postharvest Biology and Technology 15 (1999) 227–232.
- **Maul F., Sargent S.A., Sims C.A., Baldwin E.A., Balaban M.O. and Huber D.J.**, 2000. Recommended comercial storage temperaturas affect flavour and aroma quality. Journal of Food Science65, 1228-1237.
- **Nakhasi, S. D. and Solomos, T.**, 1991. Storage potential of tomatoes harvested at hte breaker stage using modified atmosphere packaging. J. Food Sci. 56: 55-59.
- **Namesny A.**, 2004. Tomates. Producción y comercio. Ediciones de Horticultura.
- **Nguyen M.L. and Schwartz S.J.**, 1999. Lycopene: chemical and biological properties. Food Technol. 53, 38–45.

- **Petro-Turza M.**, 1987. Flavor of tomato and tomato products. *Food Rev. Int.* 2, 309-351.
- **Petersen K., Willumsen J. and Kaak K.**, 1998. Composition and taste of tomatoes as affected by increased salinity and different salinity sources. *J. Hortic. Sci. Biotechnol*, 73 (2), 205-215.
- **Pippen E.L., Potter A.L., Randall K.C., Reuter A.I., Morgan Jr. and Oshima R.J.**, 1975. Effect of ozone fumigation on crop composition. *J. Food Sci.* 40: 672-676.
- **Ponce de León L.**, 1997. Técnicas de almacenamientos. Manejo post-cosecha del mango. de. EMEX. A. C. p: 22-24.
- **Poorter H., Van Berkel Y., Baxter R., Den Hertog J., Dijkstra P., Gifford R.M., Griffin K.L., Roumet C., Roy, J. and Wong, S.C.**, 1997. The effects of elevated CO₂ on the chemical composition and construction costs of leaves of 27 C₃ species. *Pl. Cell Environ.*, 20, 472–482.
- **Porter J. R. and Semenov M. A .**, 1993. Simulation of the effects of climate change on growth of wheat in UK and France. In *The effect of climate change on agricultural and horticultural potential in Europe* Kenny, G. J., Harrison, P. A. & Parry, M. L., eds, 121-137. Environmental Change Unit, University of Oxford.
- **Porter J. and Semenov M.A.**, 2005. “Crop responses to climatic variation”. *Phil. Trans. R. Soc. B.* 360, 2021–2035.

- **Požrl T.; Žnidarčič D.; Kopjar M., Hribar J. and Simčič M.,** 2010. Change of textural properties of tomatoes due to storage and storage temperatures. *Journal of Food, Agriculture & Environment* Vol.8 (2): 292 – 296.
- **Plaut Z., Grava A., Yehezkel C. and Matan E.,** 2004. How do salinity and water stress affect transport of water, assimilates and ions to tomato fruits? *Physiol. Plant* , 122, 429).
- **Pratt H.K.,** 1975. The role of ethylene in fruit ripening. Coll. In. C.N.R.S. No. 238, pp. 153-159.
- **Ramírez H., Encina-Rodríguez L., Benavides-Mendoza A., Robledo-Torres V., Hernández-Dávila J. and Alonso-Corona S.,** 2004. Influencia de la Temperatura sobre Procesos Fisiológicos en Postcosecha de Tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista Agraria -Nueva Epoca-* Año I · Vol. 1 · No 3.
- **Rayll A.L. and Lipton W.J.,** 1979. Handling, transportation and storage of fruits and vegetables, Vol.1. Vegetables and melón, Second edition; AVI Publ. Co., Westport , CT; pp 4-12.
- **Reid M.S.,** 2003. Maturation and Maturity índices. University of California, Agriculture and Natural Resources Publication 3311, Oakland.
- **Riso P., Pinder A., Santagelo A. and Porrini M.,** 1999. Does tomato consumption effectively increase the resistance of lymphocyte DNA to oxidative damage? *Am. J. Clin. Nutr.* 69, 712–718.

- **Romero F. and Riquelme F.**, 1994. Criterios de calidad del fruto. Cambios durante la maduración. Identificación de criterios no destructivos. In: Calidad poscosecha y productos derivados en frutos de hueso. Actas del seminario celebrado en la Feria de Lleida. P. 55-78.
- **Romero F., Martínez Madrid M.C. and Pretel M.T.**, 2003. "Factores precosecha determinantes de la calidad y conservación en poscosecha de productos agrarios".
- **Salles C., Nicklaus S. and Septier C.**, 2003. Determination and gustatory properties of taste-active compounds in tomato juice. Food Chem 81:395–402.
- **Salveit M.E. and Morris L.L.**, 1990. Overview on chilling injury of horticultural crops. In: Wang,C.Y. (Ed.), Chilling Injury of Horticultural Crops. CRC Press, Boca Raton.
- **Salveit M.**, 1997. A summary of CA and MA requirements and recommendations for harvested vegetables. En M. E. Salveit (Ed.), Proceedings of the 7th international controlled atmosphere research conference: USA. Davis, CA, Vol 3, pp 1-34.
- **Salveit M.E.**, 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. Postharvest Biology and Technology. 15: 279-292.
- **Salveit M.E.**, 2003. Temperature extremes. In: Bartz,J.A., Brecht,J.K. (Eds.), Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables. Marcel Dekker, New York, pp. 457-483.

- **Sanchez Gonzalez M.J.**, 2012. Influencia del enriquecimiento carbónico sobre la producción y eficiencia en el uso del agua en tomate tipo Raf. Universidad de Almería.
- **Sanchez-Guerrero M.C.**, 1999. Enriquecimiento carbónico en cultivos hortícolas bajo invernadero de polietileno. Tesis doctoral. Universidad de Murcia. 266pp.
- **Sanchez-Guerrero M.C., Lorenzo P., Medrano E., Castilla N., Soriano T. and Baille A.**, 2005. Effect of variable CO₂ enrichment on greenhouse production in mild winter climates. *Agric. Forest Meteorol.* 132: 244-252.
- **Serio F., De Gara L., Caretto S., Leo L. and Santamaría P.**, 2004. Influence of an increased NaCl concentration on yield and quality of cherry tomato grown in posidonia. (*Posidonia oceanica* (L) Delile). *Journal of the Science of Food and Agriculture*.
- **Seymour G.B. and McGlasson W.**, 1993. Melons. In: G.B. Seymour, J.E. Taylor and G.A. Tucker (eds) *Biochemistry of Fruit Ripening*, Chapman and Hall NY, pp. 273-290.
- **Solomos T., & Kanellis A.**, 1989. Low oxygen and fruit ripening. *Acta Horticulturae*, 258, 151–160.
- **Suzuki N. and Mittler R.**, 2006. Reactive oxygen species and temperature stresses: a delicate balance between signalling and destruction. *Physiologia Plantarum* 126, 45-51.

- **Shi J. and Le Maguer M.**, 2000. Lycopene in Tomatoes: Chemical and Physical properties affected by food processing, *Critical Review in Biotechnology*: 20 (4), 293-334.
- **Smirnoff N.**, 1995. Antioxidant systems and plant response to the environment. In: N. Smirnoff (eds.) *environment and plant metabolism: flexibility and acclimation*. BIOS Scientific Publishers Limited. Oxford, UK.
- **Smock, R. M.** 1979. Controlled atmosphere storage of fruits. *Horticultural Reviews*, 1, 301–336.
- **Talasila P. C., Chau K. V., and Brecht J. K.**, 1992. Effects of gasconcentrations and temperature on O₂ consumption of strawberries. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, 35, 221–224.
- **Tandon K.S., Baldwin E.A., Scott J.W. and Shewfelt R.L.**, 2003. Linking sensory descriptors to volatile and nonvolatile components of fresh tomato flavor. *J. Food Sci.* 69, 2366-2371.
- **Toivonen P.M.A.**, 2007. Fruit maturation and ripening and their relationship to quality. *Stewart Postharvest Rev.* 3, 1-5.
- **Tuba Z., Raschi A., Lannini G.M., Nagy Z., Helyes L., Vodnik D. and di Toppi L.S.**, 2003. Vegetations with various environmental constraints under elevated atmospheric CO₂ concentrations, In: *Abiotic Stresses in Plants*, Eds.: Luigi Sanità di Toppi and Barbara Pawlik-Skowronska, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht. pp. 157-204.

- **Thongbai P., Kozai T. and Ohyama K.**, 2010. CO₂ and air circulation effects on photosynthesis and transpiration of tomato seedlings. *Scientia Horticulturae*, 126, 338-344.
- **Thompson J.F., Mitchell F.G. and Kasmire R.F.**, 2007. En: A.A. Kader (de.), *Tecnología Postcosecha de Cultivos Hortofrutícolas*. Davis, CA, USA. Cap. 11, pp. 111-130.
- **Thybo A.K., Bechmann I.E. and Brandt K.**, 2005. Integration of sensory and objective measurements of tomato quality: quantitative assessment of the effects of harvest date as compared with grown medium (soil versus rockwool), electrical conductivity, variety and maturity. *J. Sci. Food Agric.* 85, 2289–2296.
- **Varoquaux P.**, 1999. L'emballage des végétaux vivants. Emballages physiologiques. Atmosphère auto-régulée. En: *L'emballage des denrées alimentaires de grande consommation*. Ed: J.L. Multon et J. Bureau. Edit. Technique and Documentation. Paris. 41: 910-941.
- **Vila I.**, 2011. Estrategias de conservación de tomate tipo Raf. TFC, Universidad Politécnica de Valencia.
- **Watkins C.B.**, 2006. The use of 1-methylcyclopropene (1-MCP) on fruits and vegetables. *Biotechnol. Adv.* 24, 389-409.
- **Weigel H.J., Pacholski A., Burkart S., Helal M., Heinemeyer O., Kleikamp B., Manderscheid R., Frühauf C., Hendrey G., Lewin K. and Nagy J.**, 2005. Carbon turnover in a crop rotation under free air CO₂ enrichment (FACE). *Pedosphere*. 15(6): 728-738.

- **Wills R., McGlasson B., Graham D., Joyce D.**, 1998. Fisiología y bioquímica, pp. 29-51. In: Introducción a la fisiología y manipulación poscosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Acribia.
- **Willits D.H. and Peet M.M.**, 1989. Predicting yield responses to different greenhouse CO₂ enrichment schemes: cucumbers and tomatoes. *Agricultural and Forest Meteorology* 44: 275-293.
- **Woodward F.I.**, 2002. Potential impacts of global elevated CO₂ concentrations on plants. *Current Opinion Pl. Biol.*, 5, 207-211.
- **Wold A.B., Rosenfeld H. J., Holte K., Baugerod H. and Haffner K.**, 2004. Color of post-harvest ripened and vine ripened tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.) as related to total antioxidant capacity and chemical composition. *Int. J. Food Sci. Technol*, 39, 295-302.
- **Wolf S. K.**, 1980. Use of CO- and CO₂-enriched atmospheres for meats, fish and produce. *Food Technology*, 34(3), 55–58, 63.
- **Wu M., Buck J.S. and Kubota C.**, 2004. Effects of nutrient solution EC, plant microclimate and cultivars on fruit quality and yield of hydroponic tomatoes. *Acta Hort.* 659, 541–547.
- **Wu M. and Kubota C.**, 2008. Effects of high electrical conductivity of nutrient solution and its application timing on lycopene, chlorophyll and sugar concentrations of hydroponic tomatoes during ripening. *Sci. Hortic.* 116, 122–129.

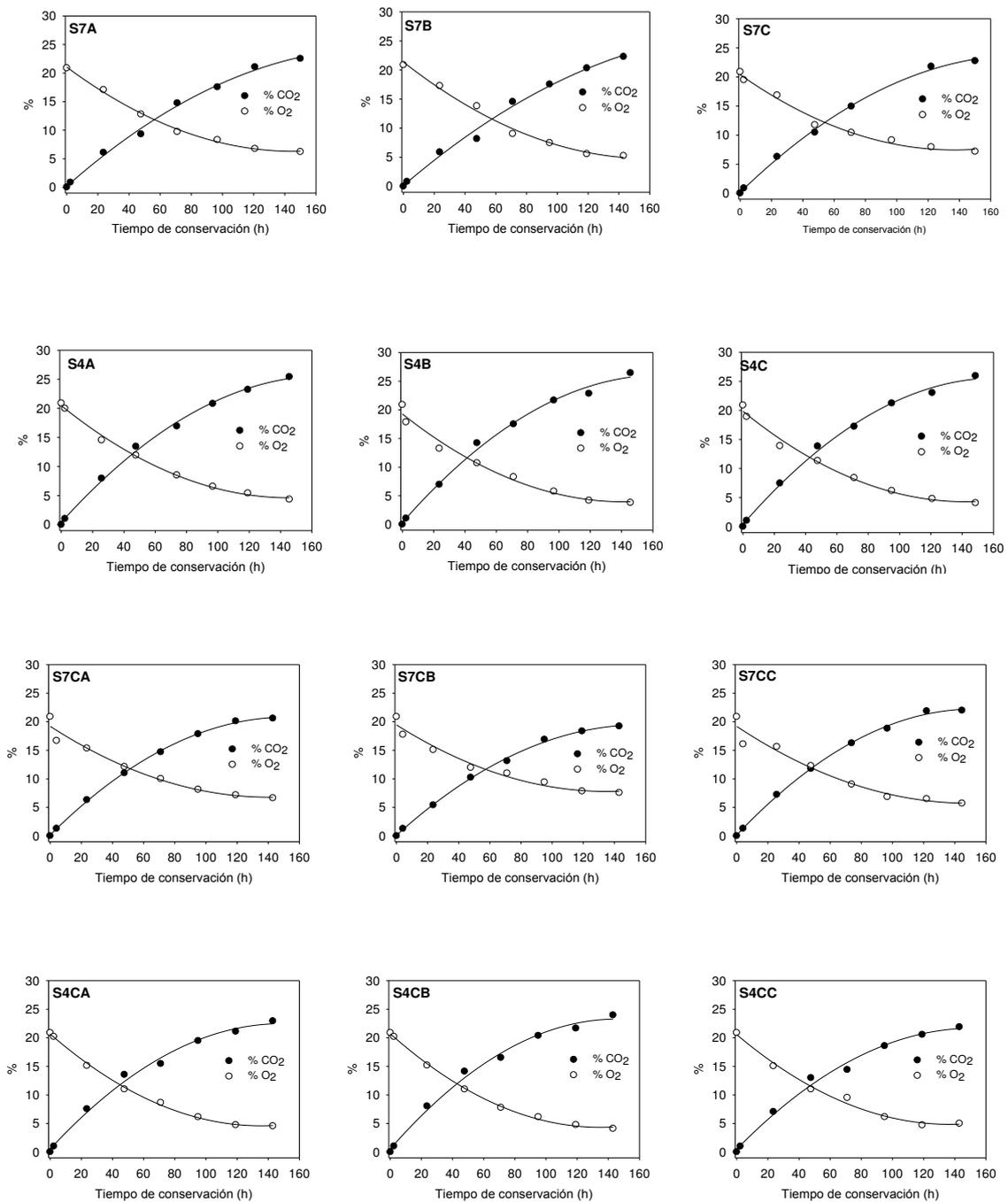
- **Yang C.C. and Chinnan M.S.**, 1987. Modelling of color development of tomatoes in modified atmosphere storage. Transactions of the ASAE, 30, 2, 548-553.
- **Yang C. and Chinnan M.S.**, 1988. Modeling the effect of O₂ and CO₂ on respiration and quality of stored tomatoes. Transactions of the American Society of Agricultural Engineers, 31. 920-925.
- **Zagory D., and Kader A. A.**, 1988. Modified atmosphere packaging of fresh produce. Food Technology 42 (9), 70-77.
- **Zegzouti H, Jones B, Frasse P, Marty C, Maitre B, Latche A, Pech J.C and Bouzayen M.**, 1999. Ethylene-regulated gene expression in tomato fruit: Characterization of novel ethylene-responsive and ripening-related genes isolated by differential display. Plant J 18:589–600.
- **Zushi K. and Matsuzoe N.**, 2011. Utilization of correlation network analysis to identify differences in sensory attributes and organoleptic compositions of tomato cultivars grown under salt stress. Sci. Hortic. 129, 18–26.
- **Zhuang H., Barth M.M. and Hankinson T.R.**, 2003. Microbial safety, quality and sensory aspects of fresh-cut fruits and vegetables, p. 255-278. In: Novak J.S., Sapers G.M. and Junega V.K. (eds.). Microbial safety of minimally processed foods. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- **Žnidarčič D., Ban D., Ilak-Peršurić A., Oplanić M. and Bizjak A.**, 2008. Yield and quality of sweet corn (*Zea mays* L. var. *Saccharata*) cultivars grown on different soil types. Cereal Research Communications 36(S1):147-150.

- **Žnidarčič D., Band D., Oplanić M., M., Karić L. and Požri T., 2010.** Influence of postharvest temperatures on physicochemical quality of tomatoes (*Lycopersicon esculentum* Mill.). J. Food Agric. and Enviro. 8 (1): 21-25.

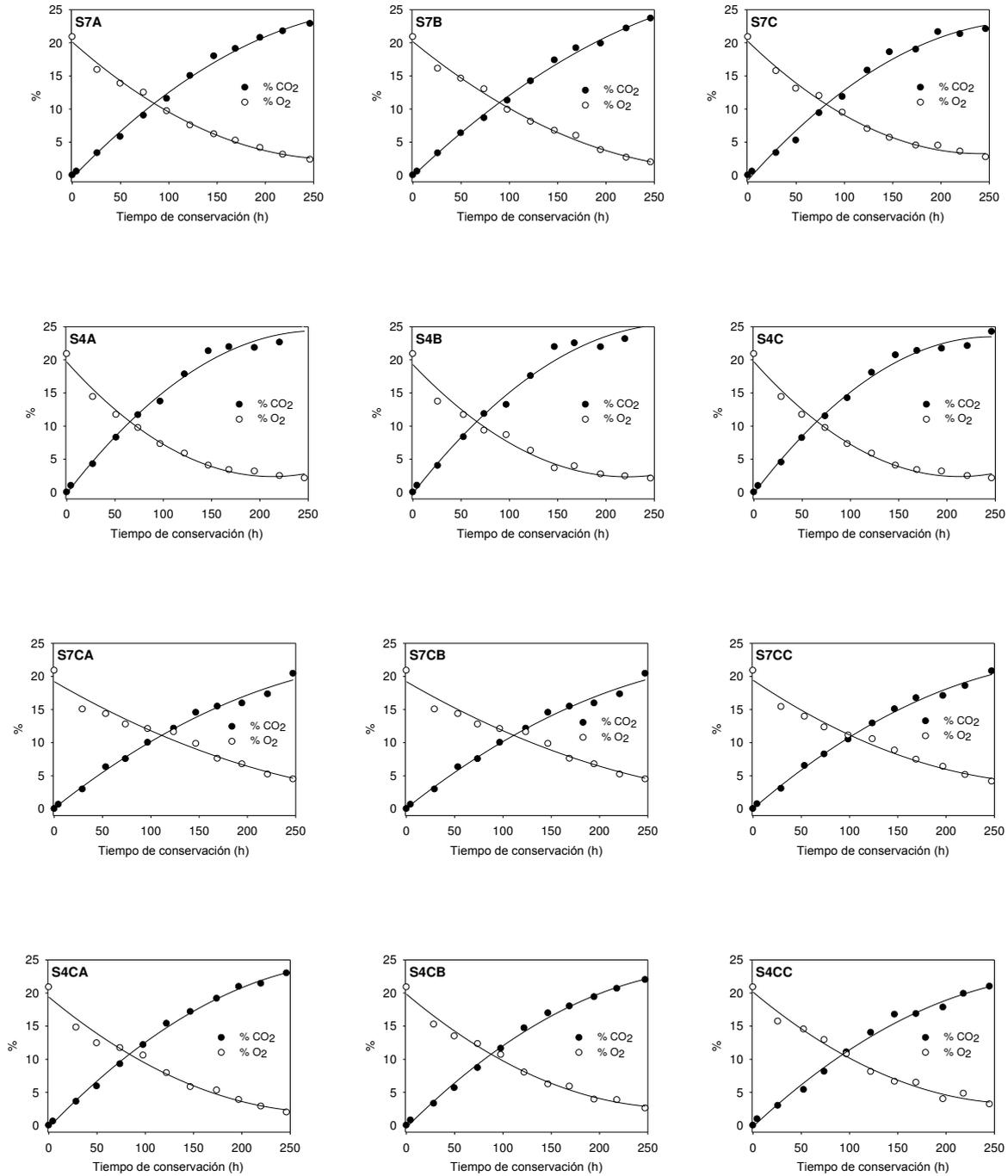
Anexos

Anexo nº3. Evolución de la composición atmosférica (% O₂ y % CO₂) presente en el interior de envases herméticamente cerrados conteniendo frutos cultivados bajo distinta CE en la solución nutritiva a la vez que distinta concentración de CO₂.

Temperatura de conservación: 20 °C

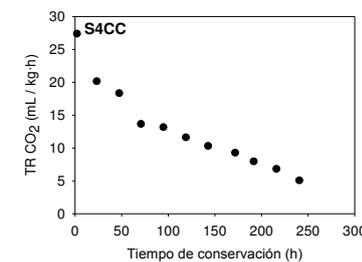
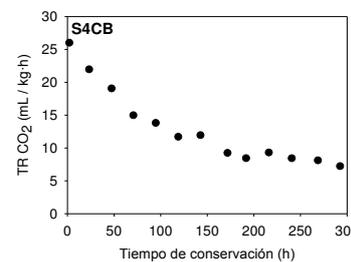
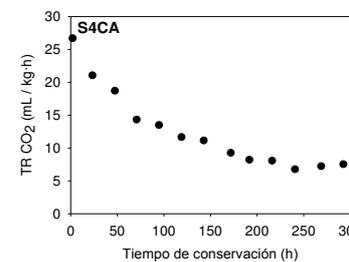
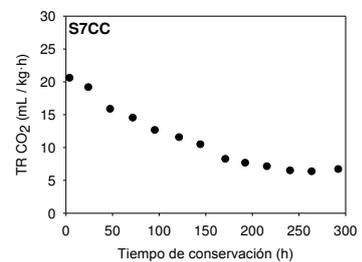
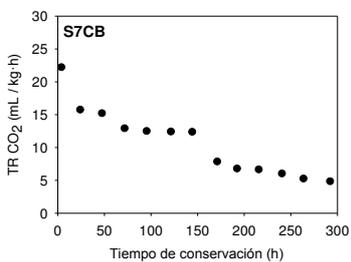
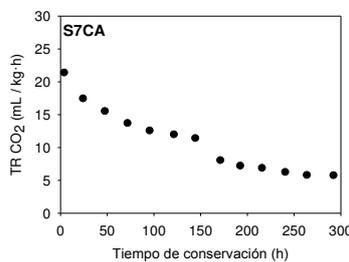
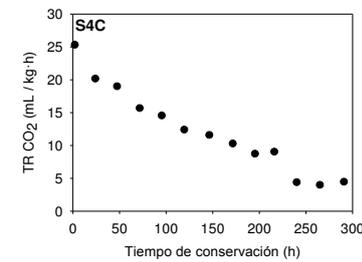
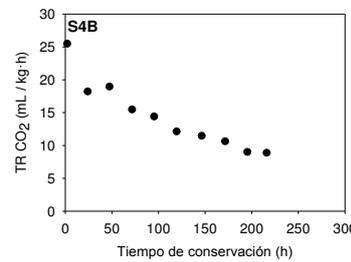
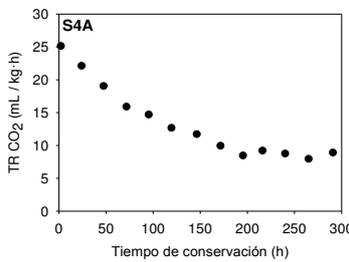
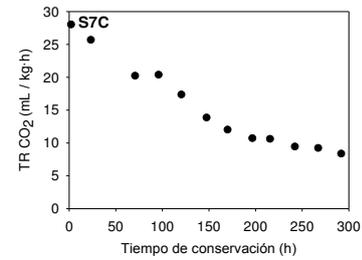
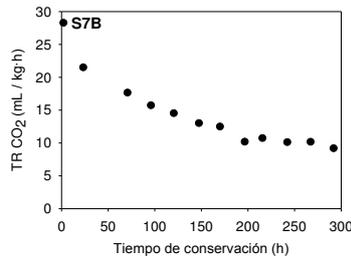
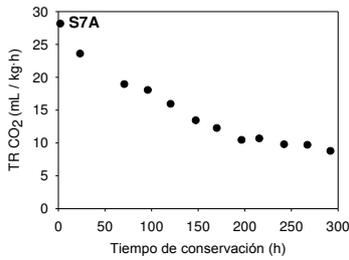


Temperatura de conservación: 10 °C

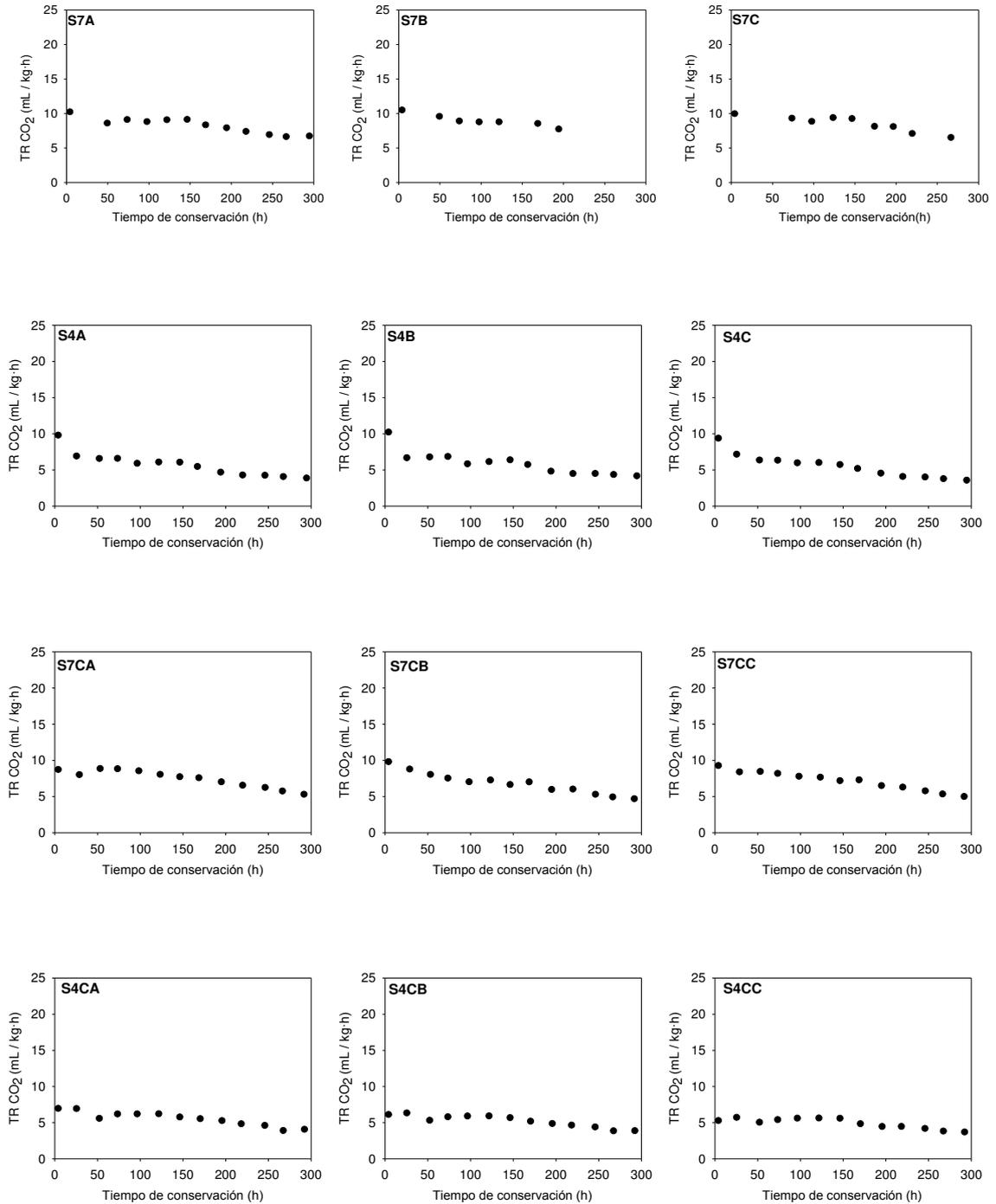


Anexo nº1. Evolución de la actividad respiratoria (TRCO₂) en función del tiempo de conservación (h) para los frutos cultivados bajo distinta CE en la solución nutritiva a la vez que distinta concentración de CO₂

Temperatura de conservación: 20 °C

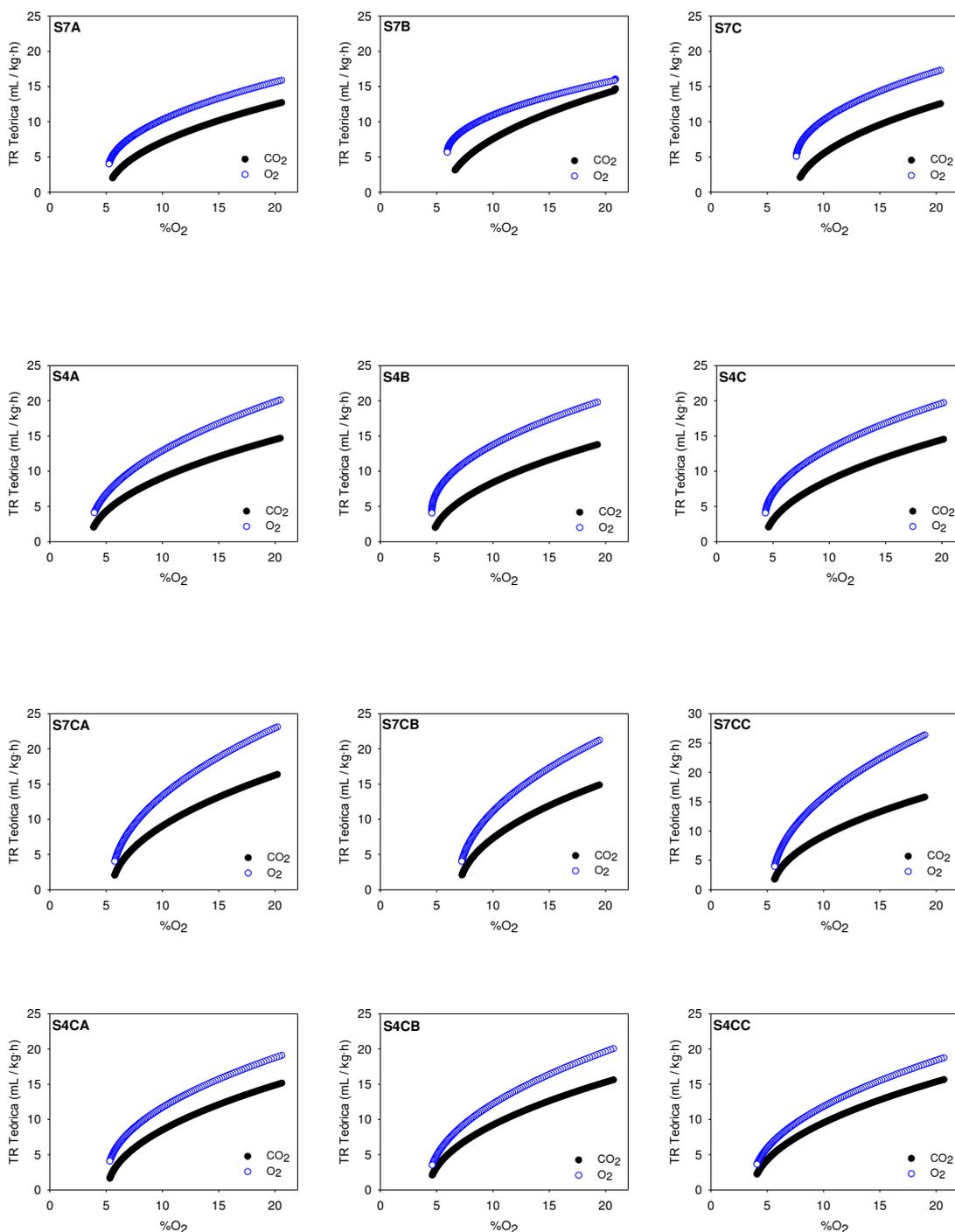


Temperatura de conservación: 10 °C

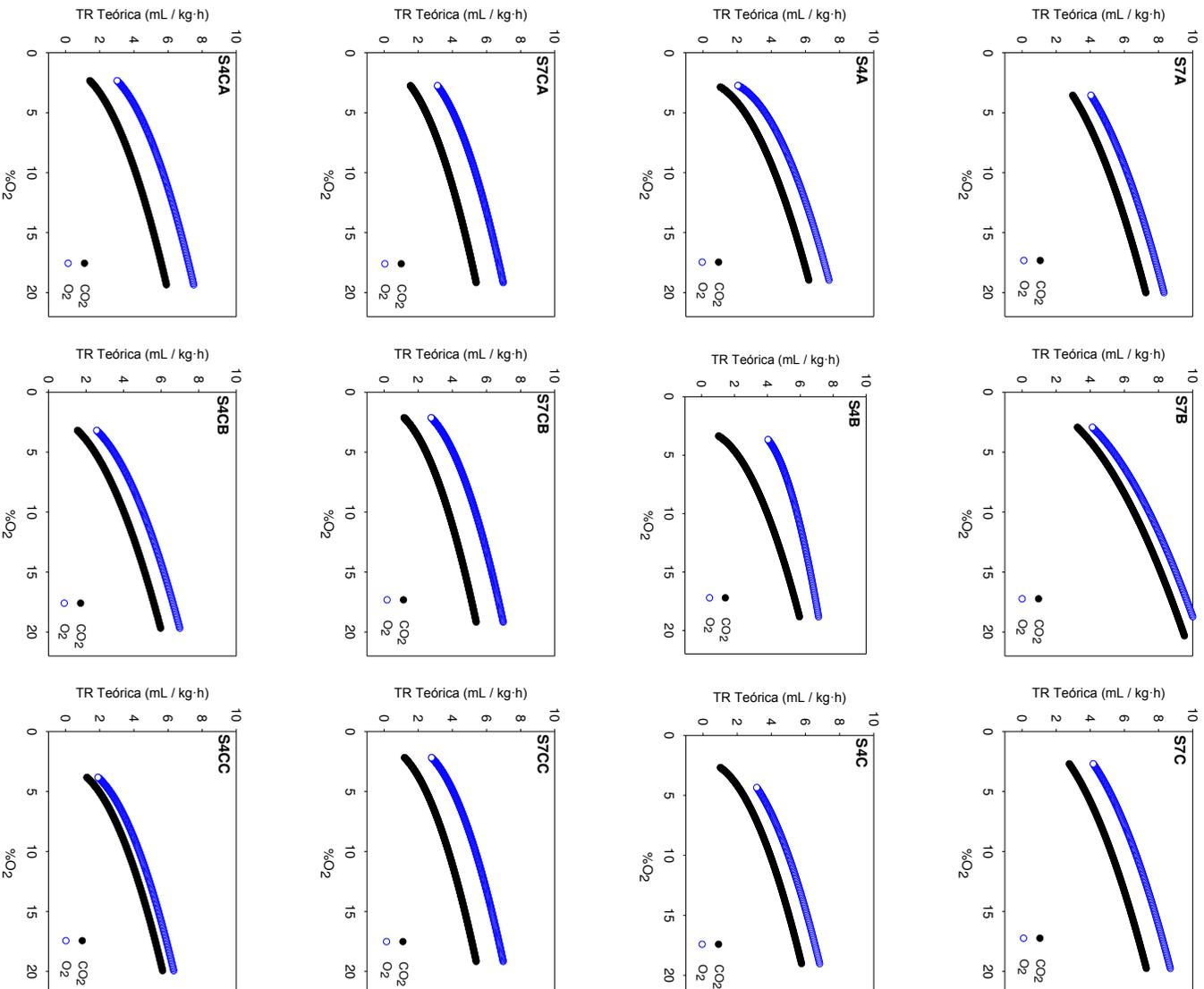


Anexo nº5. Representación de la Tasa Respiratoria Teórica (TRCO₂ y TRO₂) en función de la concentración de O₂ (%) presente en el interior del envase una vez alcanzado el equilibrio.

Temperatura de conservación: 20 °C

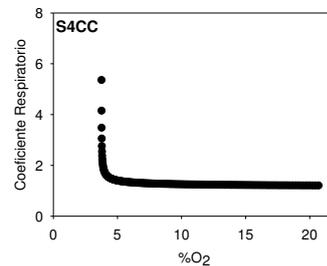
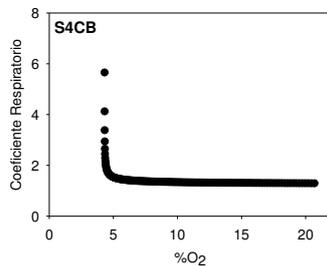
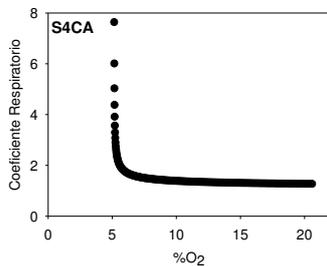
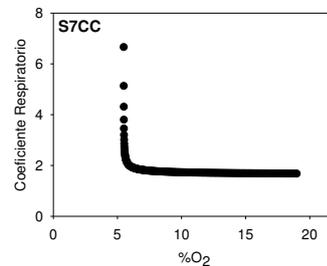
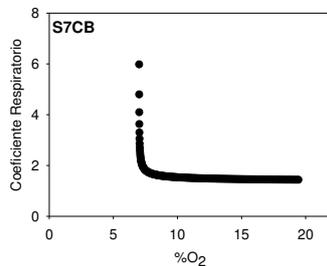
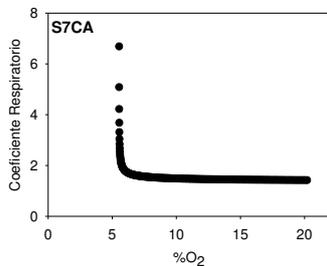
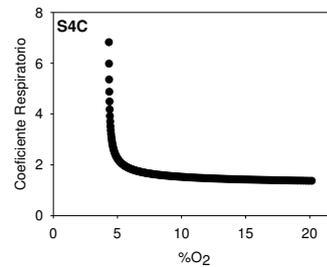
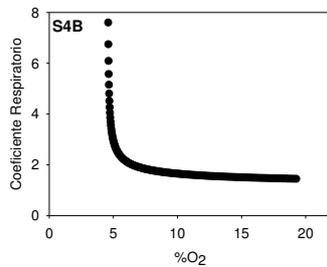
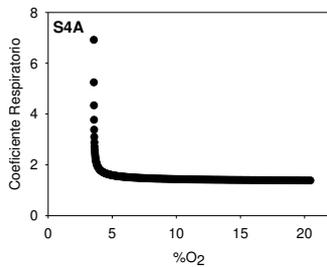
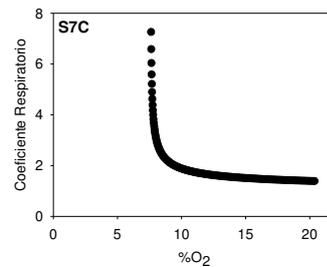
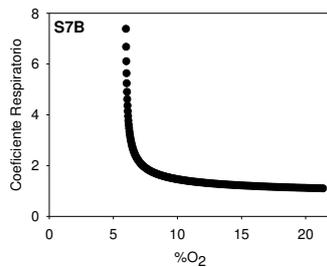
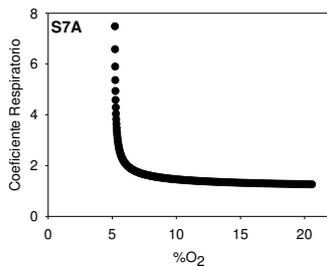


Temperatura de conservación: 10 °C

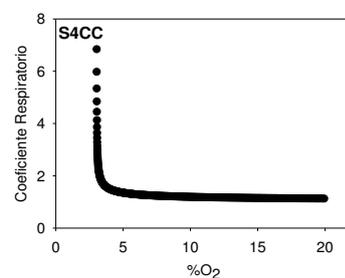
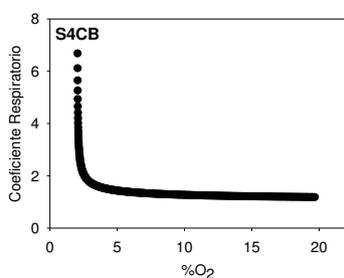
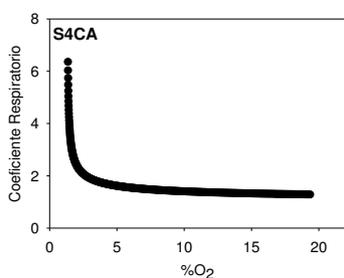
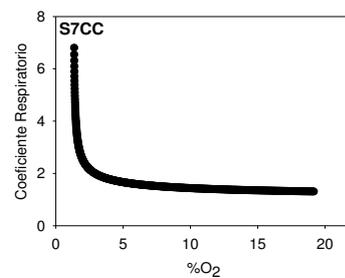
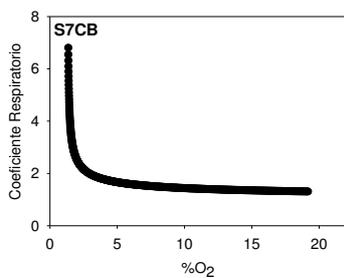
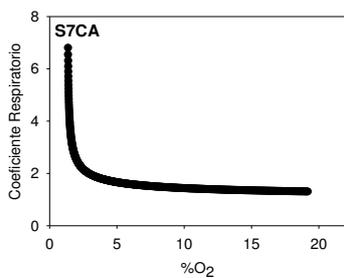
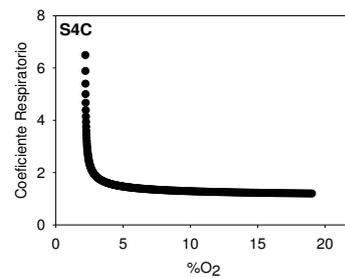
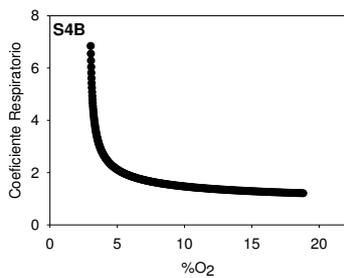
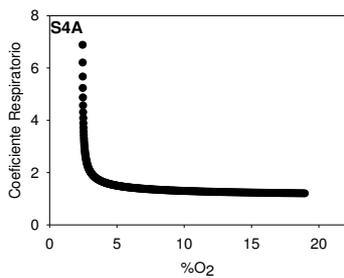
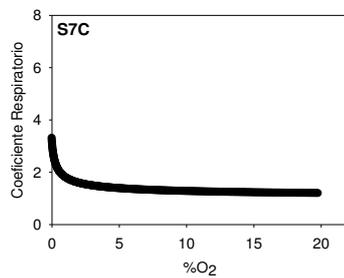
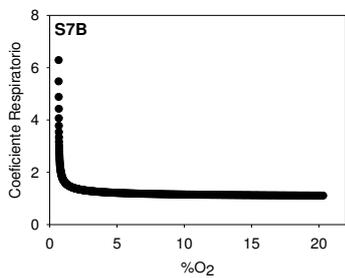
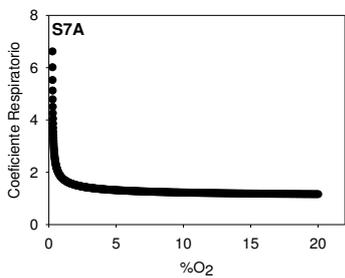


Anexo nº6. Representación del Coeficiente Respiratorio Teórico (CR) en función de la concentración de O₂ (%) presente en el interior del envase una vez alcanzado el equilibrio.

Temperatura de conservación: 20 °C

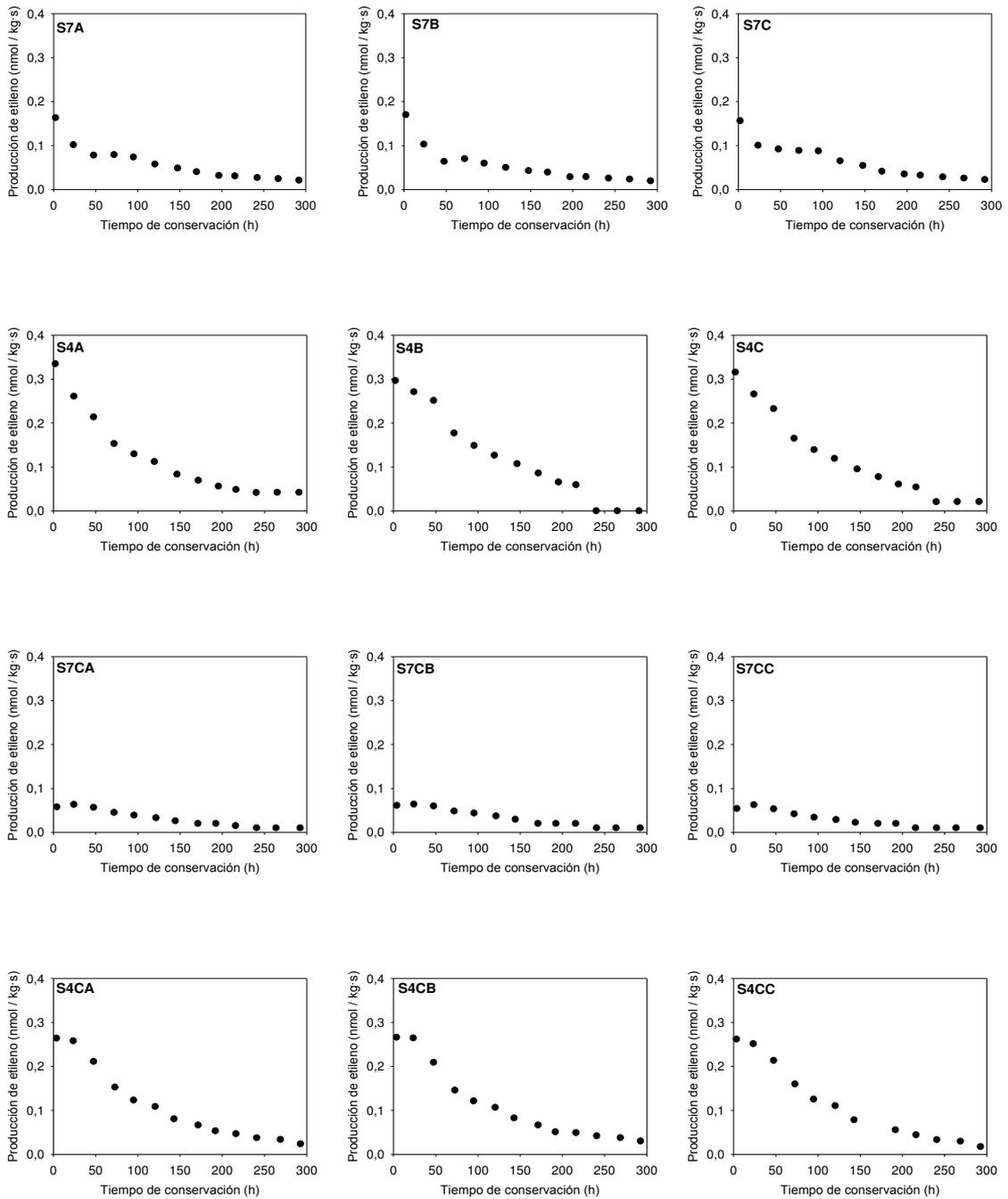


Temperatura de conservación: 10 °C

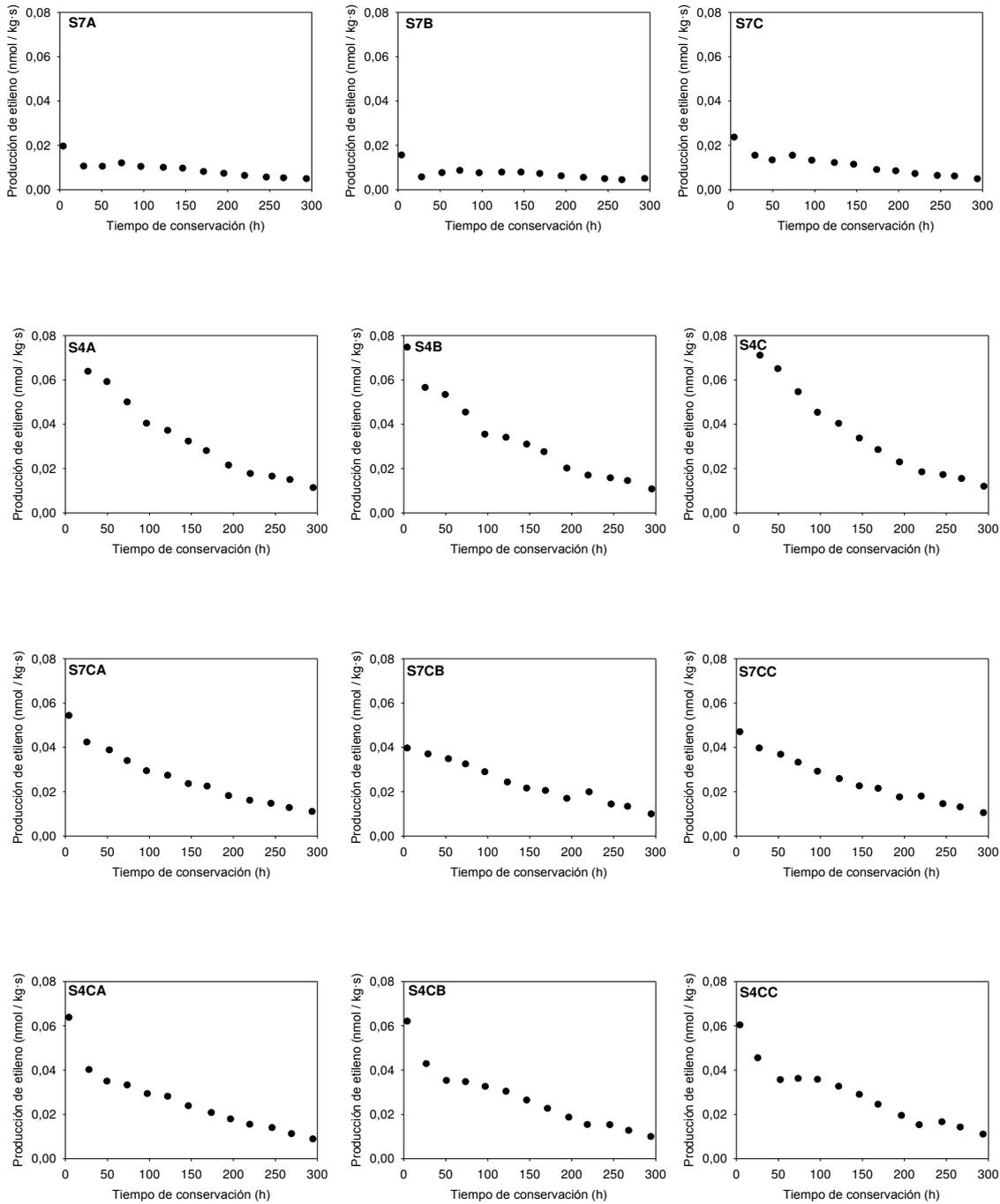


Anexo nº2. Evolución de la tasa de emisión de etileno determinada en envases herméticamente cerrados conteniendo frutos cultivados bajo distinta CE en la solución nutritiva a la vez que distinta concentración de CO₂.

Temperatura de conservación: 20 °C



Temperatura de conservación: 10 °C



Anexo nº4. Coeficientes extraídos a partir del ajuste a una ecuación polinómica de segundo orden de las concentraciones de CO₂ y O₂ presentes en el interior de envases herméticamente cerrados conteniendo frutos cultivados bajo distinta CE en la solución nutritiva a la vez que distinta concentración de CO₂.

Temperatura de conservación: 20 °C

Tratamientos		a	b	c	R ²
S7A	CO ₂	-0,0006	0,2401	0,2019	0,9964
	O ₂	0,0006	-0,1922	20,5970	0,9949
S7B	CO ₂	-0,0005	0,2270	0,1449	0,9924
	O ₂	0,0007	-0,2078	21,3757	0,9907
S7C	CO ₂	-0,0007	0,2612	0,1722	0,9984
	O ₂	0,0007	-0,1893	20,3938	0,9862
S4A	CO ₂	-0,0009	0,2982	0,4281	0,9975
	O ₂	0,0007	-0,2175	20,4726	0,9964
S4B	CO ₂	-0,0009	0,3119	0,3430	0,9950
	O ₂	0,0008	-0,2169	19,2847	0,9800
S4C	CO ₂	-0,0009	0,3057	0,4296	0,9959
	O ₂	0,0008	-0,2252	20,1721	0,9889
S7AC	CO ₂	-0,0008	0,2651	0,1988	0,9995
	O ₂	0,0006	-0,1876	20,2142	0,9899
S7BC	CO ₂	-0,0008	0,2465	0,1245	0,9986
	O ₂	0,0006	-0,1727	19,4518	0,9711
S7CC	CO ₂	-0,0008	0,2745	0,3568	0,9967
	O ₂	0,0005	-0,1643	19,0024	0,9648
S4AC	CO ₂	-0,0010	0,2920	0,6679	0,9909
	O ₂	0,0009	-0,2358	20,6084	0,9975
S4BC	CO ₂	-0,0011	0,3118	0,5657	0,9932
	O ₂	0,0009	-0,2428	20,7050	0,9985
S4CC	CO ₂	-0,0009	0,2788	0,5002	0,9924
	O ₂	0,0008	-0,2300	20,5624	0,9911

Temperatura de conservación: 10 °C

Tratamientos		a	b	c	R ²
S7A	CO ₂	-0,0002	0,1442	-0,2269	0,9958
	O ₂	0,0002	-0,1257	20,0353	0,9943
S7B	CO ₂	-0,0002	0,1370	-0,0687	0,9955
	O ₂	0,0002	-0,1254	20,3440	0,9922
S7C	CO ₂	-0,0002	0,1506	-0,4004	0,9915
	O ₂	0,0002	-0,1262	19,7676	0,9891
S4A	CO ₂	-0,0003	0,1674	0,3940	0,9853
	O ₂	0,0003	-0,1408	18,9805	0,9778
S4B	CO ₂	-0,0002	0,1671	0,2970	0,9868
	O ₂	0,0003	-0,1380	18,8397	0,9723
S4C	CO ₂	-0,0003	0,1685	0,4290	0,9882
	O ₂	0,0003	-0,1422	19,0558	0,9775
S7AC	CO ₂	-0,0001	0,1094	0,2707	0,9939
	O ₂	0,0001	-0,0846	19,1948	0,9718
S7BC	CO ₂	-0,0001	0,1154	0,3112	0,9721
	O ₂	0,0001	-0,0789	19,311	0,9741
S7CC	CO ₂	-0,0001	0,1197	0,2222	0,9801
	O ₂	0,0001	-0,0928	19,1279	0,9851
S4AC	CO ₂	-0,0002	0,1527	-0,3269	0,9981
	O ₂	0,0002	-0,1201	19,3715	0,9812
S4BC	CO ₂	-0,0002	0,1410	-0,2714	0,9952
	O ₂	0,0002	-0,1188	19,7029	0,9878
S4CC	CO ₂	-0,0002	0,1297	0,0186	0,9908
	O ₂	0,0002	-0,1163	19,9646	0,9861