



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



CSIC

CONSEJO SUPERIOR DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS

INSTITUTO DE AGROQUÍMICA Y

TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS (IATA)

**INFLUENCIA DEL ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA
Y ACTIVA EN LA CALIDAD NUTRICIONAL DE TOMATE
FRESCO**

TRABAJO FIN DE MÁSTER

MÁSTER EN GESTIÓN Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Presentado por:

Ayoub Fathi Najafabadi

Director:

Dr. Rafael Gavara Clemente

Codirectoras:

Dra. Pilar Hernández Muñoz

Dra. Irene Domínguez Pérez

Centro:

Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (CSIC)

Valencia, Febrero 2015

INFLUENCIA DEL ENVASADO EN ATMÓSFERA MODIFICADA Y ACTIVA EN LA CALIDAD NUTRICIONAL DE TOMATE FRESCO

Ayoub Fathi Najafabadi¹⁻², Pilar Hernández Muñoz¹, Irene Domínguez Pérez¹, Rafael Gavara Clemente¹⁻².

RESUMEN

Se ha estudiado el efecto del envasado en atmósfera modificada (AM) y con absorbedor de etileno en la calidad nutricional de tres variedades de tomate con diferente actividad metabólica (cvs Delizia, Vernal y Pitenza). Los resultados obtenidos mostraron la notable influencia que variedad, envasado y tiempo de exposición a la AM ejercen en el contenido de ácido ascórbico, fenoles totales y en la capacidad antioxidante de los frutos. En general, los frutos mostraron mayores contenidos de ácido ascórbico, fenoles totales y actividad antioxidante en los envases con absorbedor de etileno.

PALABRAS CLAVE: tomate, AM, envase activo, absorbente de etileno, ácido ascórbico, compuestos fenólicos, capacidad antioxidante

RESUM

S'ha estudiat l'efecte de l'envasament en atmosfera modificada (AM) i amb absorbidor d'etilè en la qualitat nutricional de tres varietats de tomàquet amb diferent activitat metabòlica (cvs Delizia, Vernal i Pitenza). Els resultats obtinguts van mostrar la notable influència que varietat, envasat i temps d'exposició a la MAP exerceixen en el contingut d'àcid ascòrbic, fenols totals i en la capacitat antioxidant dels fruits. En general, els fruits van mostrar majors continguts d'àcid ascòrbic, fenols totals i activitat antioxidant en els envasos amb absorbidor d'etilè.

PARAULES CLAU: tomàquet, AM, envàs actiu, absorbent d'etilè, àcid ascòrbic, compostos fenòlics, capacitat antioxidant.

ABSTRACT

The effect of modified atmosphere packaging MAP and packaging with an ethylene absorbent on the nutritional quality of three tomato varieties with different metabolic activity (cvs Delizia, Vernal and Pitenza) has been studied. The results showed the significant influence that variety, packaging and exposure time to MAP have on the content of ascorbic acid, total phenols and antioxidant capacity of fruits. In general, tomatoes showed higher ascorbic acid content, total phenols and antioxidant activity in bags with an ethylene absorbent.

KEYWORDS: tomato, active packaging, MAP, ethylene absorbent, ascorbic acid, total phenols, antioxidant capacity

¹ Instituto de Agroquímica y Tecnología de Alimentos (IATA-CSIC). Av. Agustín Escardino, 7. 46980. Paterna, Valencia. España.

² Instituto de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia, Camino de Vera s/n. 46022. Valencia. España.

INTRODUCCIÓN

El tomate es actualmente la hortaliza más consumida en el mundo. En España, el consumo medio de tomate fresco por habitante y año es de unos 13 kg, mientras que la producción total es de 4 millones de toneladas, destinadas en buena parte a la exportación.

El tomate es un fruto climatérico y continúa madurando después de la cosecha. En la maduración del fruto suceden fenómenos como el aumento de sólidos solubles, reducción de la firmeza y ablandamiento, cambios en el aroma, cambios en la coloración, así como pérdidas en el valor nutritivo (Pantastico, 1979).

El tomate, presenta una intensa actividad respiratoria (10, 15, 22, 35 y 43 mg CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ a 5, 10, 15, 20 y 25 °C respectivamente), y producción de etileno, 5 a 8 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ a 12 °C en frutos pintones y de unos 10 µL C₂H₄ kg⁻¹ h⁻¹ a 20 °C y una marcada susceptibilidad a la deshidratación. La elevada sensibilidad del tomate a la acción del etileno, con un umbral de 0.05 ppm (Artés 1999), dificulta los tratamientos postcosecha, lo que incrementa el interés por encontrar el modo de alargar la vida útil de este fruto.

Para prolongar la vida útil de los frutos de tomate, se debe principalmente reducir su metabolismo respiratorio para lo cual se hace uso del almacenamiento a baja temperatura y/o en una atmósfera modificada (AM), enriquecida en dióxido de carbono y empobrecida en oxígeno (Kalt et al., 1999). Este sistema de envasado es un proceso dinámico en donde el envase cerrado interactúa con el producto envasado, para finalmente alcanzar un equilibrio en la atmósfera gaseosa interna.

El envasado en AM contribuye a la reducción de la velocidad de respiración y de la actividad metabólica, al control de la pérdida de humedad, a la reducción o prevención del crecimiento microbiano, así como a la protección de los daños mecánicos que pueden sufrir durante la manipulación comercial (Kader y Watkins, 2000). Sin embargo, el potencial beneficio o riesgo del envasado en AM depende del producto, la variedad, el estado fisiológico así como de la temperatura y duración del almacenamiento.

Los productos hortícolas pueden variar generalmente en su tolerancia relativa a las bajas concentraciones de O₂ y elevadas de CO₂. Estos límites de tolerancia pueden ser diferentes a temperaturas inferiores o superiores a las recomendadas. En el caso de los tomates verdes, la temperatura óptima de almacenamiento es de 12°C y las concentraciones recomendadas de O₂ y CO₂ son de 3-5% y 2-3%, respectivamente. En el caso de tomates maduros, la temperatura óptima disminuye a los 10°C y las concentraciones óptimas de O₂ y CO₂ son de un 3-5% para ambos gases (Kader, 2007). Generalmente, durante tiempos largos de conservación, mientras más baja sea la concentración de O₂ y más alta la concentración de CO₂, más importantes son los efectos residuales. De esta forma, el envasado en atmósfera modificada logra beneficios notables para los productos vegetales si éstos se mantienen bajo condiciones óptimas de temperatura, humedad relativa y composición en O₂, CO₂ y C₂H₄, es por ello que no se pueden exceder los límites de tolerancia al frío (Artés y Artés-Hernández, 2002), ni los niveles mínimos de O₂ y/o

máximos de CO₂. Cuando las concentraciones de O₂ y CO₂ no son las adecuadas puede tener lugar una maduración irregular del fruto, aparición de sabores y olores desagradables, así como aparición de fisiopatías y una mayor susceptibilidad a la pudrición.

Con la finalidad de mejorar la calidad de los productos alimentarios e incrementar su periodo de comercialización, la tecnología de envasado está en continuo desarrollo (Gavara y Catalá, 2001). Uno de los principales puntos de atención en el diseño de envases activos para frutas y hortalizas frescas es el control y modificación de la composición del espacio de cabeza, especialmente, en referencia a la concentración de etileno (Martínez-Romero et al., 2007; Serrano et al., 2008). El etileno cuenta con un papel muy importante en la maduración de los frutos climatéricos (Lelievre et al., 1997; Payasi y Sanwal, 2010) y su presencia en el entorno de conservación actúa en detrimento de la calidad del fruto. Los efectos de esta fitohormona dependen de la sensibilidad a dicho gas, del tiempo de exposición, de la concentración, de la composición atmosférica y de la temperatura de conservación (Salveit, 1999). Básicamente, el etileno altera el desarrollo, maduración y senescencia de los frutos, por lo que se ha de minimizar la exposición a dicho gas.

Los resultados obtenidos hasta el momento ponen de manifiesto el efecto positivo que la conservación en AM ejerce en la calidad y vida útil de tomate, ya que permite reducir la pérdida de peso así como ralentizar la evolución de la firmeza y color de los frutos (Thompson, 1998; Salveit, 1999; Kuenwoo et al., 2000; Linke y Geyer, 2002; Aguayo et al., 2004; Akbudak et al., 2007; 2012).

Por otro lado, Bailén et al. (2006) y posteriormente Martínez-Romero et al. (2009) observaron como la eliminación de etileno de la atmósfera de conservación disminuyó la pérdida de peso, mejoró la firmeza y ralentizó la evolución del color en los frutos con respecto a tomates conservados en presencia de la fitohormona. Tal y como describieron Opiyo y Ying (2005) y más tarde, Sabir y Agar (2011) la inhibición de la acción del etileno mediante el empleo de 1-metilcicloprano (1-MCP), conllevó a los mismos resultados.

En adición a estas observaciones son pocos los estudios que evalúan la influencia que el envasado en atmósfera modifica y/o activo ejerce en la calidad nutricional de tomate. En general se considera que el envasado en una óptima AM ralentiza los cambios fisiológicos y químicos que tienen lugar en frutas y hortalizas durante su conservación preservando la calidad nutricional de los frutos (Lee y Kader, 2000). Así mismo se ha demostrado que altos niveles de CO₂ aumentan la actividad de fenilalanina amonio liasa (PAL), enzima clave en la síntesis de los compuestos fenólicos (Ke y Salveit, 1989). Ello hace considerar que el estrés abiótico generado por una baja concentración de O₂ y una presencia elevada de CO₂ en el interior de los envases conlleva a un aumento en el contenido de compuestos bioactivos, sin embargo es necesario llevar a cabo un mayor número de estudios que permitan elucidar la influencia del sistema de envasado y otros tratamientos postcosecha en la calidad nutricional de los frutos.

Los alimentos de origen vegetal no sólo proporcionan a nuestra dieta ciertas vitaminas antioxidantes como la vitamina C (ácido ascórbico), vitamina E (α -tocoferol) y provitamina A (β -caroteno), sino también una compleja mezcla de

otras sustancias naturales con capacidad antioxidante. Estos compuestos actúan protegiendo a organismos y células de daños derivados del estrés oxidativo. Éste está asociado a la generación de especies reactivas de oxígeno las cuales están implicadas en la patofisiología de enfermedades tales como el cáncer, artritis reumatoide, cirrosis y arterioesclerosis además de procesos degenerativos relacionados con el envejecimiento (Leonardi et al., 2000). Componentes del tomate como licopeno, compuestos fenólicos, principalmente flavonoides, y vitaminas C y E son los principales responsables de la capacidad antioxidante de estos frutos (Giovanelli et al., 1999; y Stewart et al., 2000, Lenucci et al., 2006). La concentración de estos compuestos bioactivos se ha demostrado que depende de la variedad, estado de madurez, condiciones de cultivo y tratamiento postrecolección (Leonardi et al., 2000; George et al., 2004; Domínguez et al., 2012; Erba et al., 2013; Leyva et al., 2013) por lo que existe un gran interés por elucidar las condiciones pre- y postcosecha que garanticen una elevada calidad nutricional de los frutos.

El objetivo de este estudio es determinar el efecto que el envasado en atmósfera modificada en presencia/ausencia de etileno ejerce en el contenido de ácido ascórbico y fenoles totales así como en la capacidad antioxidante de tres variedades de tomate (cvs Delizia, Vernal y Pitenza).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

En este trabajo se han utilizado los siguientes reactivos: metanol y ácido acético de Scharlab S.L. (España), y acetato de sodio, TPTZ (2,4,6-Tripyridyl-s-Triazine), cloruro férrico hexahidratado, sulfato de hierro heptahidratado, DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) y ácido oxálico de Sigma-Aldrich (España).

Métodos

SELECCIÓN DEL MATERIAL VEGETAL

Se emplearon tomates de las variedades Delizia, Vernal y Pitenza, clasificados como tomates de corta, media y larga vida útil, suministrados en su estado de madurez comercial, pintón en el caso de Delizia y Vernal y rojo en el caso de Pitenza (USDA, 1999) por Caparros Nature S.L (El Alquián, Almería).

Antes de cada experimento, se llevó a cabo un exhaustivo muestreo escogiendo aquellos frutos que, en ausencia de defectos, presentaban homogeneidad en tamaño y color, con la finalidad de obtener frutos en el mismo estado de madurez. Se seleccionaron un total de 171 tomates Delizia y Vernal y 273 frutos procedentes de la variedad Pitenza. Antes del envasado los frutos se distribuyeron en bandejas de poliestireno, incluyendo 5 tomates en el caso de las variedades Delizia y Vernal y 8 frutos de la variedad Pitenza. Para cada variedad de tomate se destinaron 3 bandejas por tratamiento y día de análisis.

ENVASADO

Las bandejas resultantes fueron envasadas en bolsas de polipropileno de distinta permeabilidad y en presencia o ausencia de un absorbente de etileno,

siendo un total de 4 sistemas de envasado los evaluados en este estudio. Junto a los tomates envasados, se analizaron frutos que fueron conservados sin envasar (muestras control). Se emplearon bolsas de polipropileno de 27 x 35 cm (25 μm de espesor) y las mismas incluyendo 4 perforaciones realizadas con una aguja de cromatografía biselada ($0.06 \pm 0.02 \text{ mm}^2$), ambos envases en presencia o ausencia de un absorbente de etileno. El material absorbente empleado, sobres con 2.30 g de material activo (KMnO_4 impregnado sobre un material poroso), fue proporcionado por Keepfresh (Madrid).

En la siguiente tabla se incluyen los distintos tratamientos en estudio así como la nomenclatura asignada a los mismos, la cual se empleará a lo largo del proyecto.

TABLA 1. Sistemas de conservación empleados en la conservación de tomate (cvs. Delizia, Vernal y Pitenza).

Nomenclatura	Conservación a 14 °C
Control	Sin envasar
PP	Bolsas de polipropileno
PPA	Bolsas de polipropileno con absorbente de etileno
PPpf	Bolsas de polipropileno perforadas
PPpfA	Bolsas de polipropileno perforadas con absorbente de etileno

La permeabilidad de los envases fue determinada previamente en el laboratorio, obteniéndose una permeación por bolsa de $730 \pm 20 \text{ cm}^3$ (STP)/[día·atm] para los envases no perforados, y de $2030 \pm 180 \text{ cm}^3$ (STP)/[día·atm] para la bolsa perforada. Para envasar los frutos se utilizó una envasadora de campana Multivac C350 (Alemania). Con la finalidad de contar con el mismo espacio de cabeza en las distintas bolsas, se estableció un protocolo de envasado que consistía en aplicar tras un vacío inicial una introducción de aire (500 mbar) con una duración de distribución de 1s.

CONSERVACIÓN

Los tomates procedentes de las variedades Delizia, Vernal y Pitenza fueron conservados a $14 \pm 1 \text{ °C}$ y 65% HR hasta un total de 7, 10 y 14 días respectivamente. Los frutos tras su conservación a 14 °C fueron extraídos de los envases y transferidos a $20 \pm 1 \text{ °C}$ y 65% HR y finalmente, tras 48 h a dicha temperatura se procedió a su análisis.

Además de la caracterización inicial de los tomates tras su llegada al laboratorio, se analizaron en otras dos ocasiones a lo largo del periodo de conservación. Los tomates Delizia se analizaron tras 5 y 9 días de almacenamiento, mientras que los tomates Vernal tras 6 y 12 días y finalmente, los frutos Pitenza tras 8 y 16 días de conservación. En cada caso se analizaron frutos control, sin envasar, y aquellos conservados en los distintos sistemas de envasado.

DETERMINACIÓN DE LA COMPOSICIÓN ATMOSFÉRICA PRESENTE EN EL INTERIOR DE LOS ENVASES

La determinación de la composición atmosférica se llevó a cabo en cada uno de los envases, contando con un total de tres réplicas por sistema de envasado y día de análisis. Dicho análisis se llevó a cabo antes de la apertura de los envases, coincidiendo con el final de su conservación a 14 °C, haciendo mediciones por triplicado. El análisis del CO₂ y O₂ se realizó mediante el empleo de un analizador de gas en línea (Checkmaster, Lippke, Alemania), mientras que la determinación de etileno se llevó a cabo mediante cromatografía gaseosa. El cromatógrafo de gases (6850 Series II, Agilent Technologies, USA), estaba equipado con una columna semicapilar Ultrabond (Restek, Teknokroma, Barcelona) de 30 m de longitud, 530 µm de diámetro y 20 µm de recubrimiento y con un detector FID.

Para el analizador en línea se emplearon 15 mL de gas presente en el interior del envase y 1 mL para la determinación de etileno. Ambos análisis se realizaron por triplicado para cada una de las réplicas en estudio.

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD NUTRICIONAL DE TOMATE

Para llevar a cabo la caracterización nutricional de los frutos, el conjunto de tomates presentes en cada una de las réplicas, se trituraron con una licuadora (Fritti Pro, Moulinex (España) contando con un total de 3 triturados por tratamiento. Las muestras se conservaron a -80 °C hasta el momento de su análisis. Para cada una de las réplicas las distintas determinaciones se llevaron por triplicado.

- Ácido ascórbico (AA)

La determinación de la concentración de ácido ascórbico fue optimizada a partir de la metodología propuesta por Zhang et al (2014). Para ello a 1 g de triturado de tomate se añadió 8 mL de una disolución acuosa de ácido oxálico (1 %w/v). La mezcla se homogenizó mediante el empleo de un Ultra-Turrax (T18 basic, IKA, Alemania) y a continuación, se centrifugó durante 15 min a 4 °C (5000 rpm). El sobrenadante fue analizado mediante un HPLC Agilent 1200, (Micron Analítica, España) equipado con una columna C6 Fenil 110 A (4.6 x 150 mm, 5 µm tamaño de partícula) y un detector DAD y una disolución acuosa de ácido oxálico como fase móvil a un flujo de 0.5 mL/min. El ácido ascórbico fue medido a 243 nm y cuantificado a partir de una recta de calibrado del mismo compuesto (1.25, 2.5, 5, 7.5 y 10 µg/mL).

- Contenido en fenoles totales (CFT)

El contenido de compuestos fenólicos totales fue determinado a partir de la metodología propuesta por Mazur et al (2014). Para ello a 1 mL de reactivo Folin–Ciocalteu se le añadieron 0.2 mL de la muestra de tomate filtrado. Transcurridos 3 min se adicionaron 1.5 mL de carbonato sódico al 7% y 0.8 mL de agua milli-Q. La mezcla fue incubada durante 1 h a temperatura ambiente y a continuación analizada mediante espectroscopia UV-Vis con un Agilent 8453 (España), registrando los valores de absorbancia obtenidos a 765 nm. Los

resultados se expresaron en mg de equivalente de ácido gálico/100 g de peso fresco de la muestra de tomate.

- Capacidad Antioxidante (CA)

La capacidad antioxidante de tomate fue determinada mediante los métodos de FRAP (Ferric Reducing Ability of Plasma) y DPPH (2,2-diphenyl-1-picrylhydrazyl).

Para el análisis de la capacidad antioxidante mediante el método **FRAP** se siguió la metodología descrita inicialmente por Benzie y Strain (1996) y modificada posteriormente por Leyva et al (2013). Para ello, a 1 g de muestra filtrada se le añadieron 5 mL de metanol. Posteriormente, se llevó a cabo la homogenización de la mezcla mediante el empleo de un Ultra Turrax. Finalmente, se añadieron a 1.2 mL de reactivo FRAP, 0.120 mL de agua destilada y 0.040 mL de muestra filtrada. Transcurridos 4 min, se analizó la muestra mediante espectroscopia UV-Vis, registrando los valores de absorbancia obtenidos a 593 nm. La cuantificación de los resultados se llevó a cabo a partir de una recta de calibrado elaborada con $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ (100, 250, 500, 750, 1000 $\mu\text{mol/L}$) siendo los resultados expresados como $\mu\text{mol Fe}^{2+}/\text{g}$ 100 p.f.

Para la preparación del reactivo FRAP se mezclaron 25 mL de tampón de acetato (pH 3.6, 0.3 mol/L), 2.5 ml de solución TPTZ (10mmol/L) y 2.5 mL de solución de cloruro férrico hexahidratado (0.20mol/L).

El análisis de la capacidad antioxidante mediante el método **DPPH** se llevó a cabo atendiendo al protocolo previamente descrito por Elez-Martínez y Martín-Belloso (2007). Inicialmente, se preparó una disolución de DPPH en metanol cuya concentración era de 25 mg/L. En un vial se introdujeron 6 ml de la disolución de DPPH y posteriormente, se añadieron 10 μL de muestra de tomate filtrado. Tras agitar la mezcla ésta se dejó reposar durante 15 min y a continuación se analizó mediante espectroscopia UV-Vis, registrando los valores de absorbancia obtenidos a 515 nm. Los resultados se expresaron en función del porcentaje de inhibición del DPPH calculado a partir de la disminución del valor de absorbancia obtenido para cada muestra con respecto al valor obtenido para la disolución DPPH empleada.

REPRESENTACIÓN DE DATOS Y ANÁLISIS ESTADÍSTICO

La representación de los datos que se muestran a continuación se llevó a cabo empleando el software Sigma-plot 12.0 (Sytat Software Inc., Richmond, CA). El análisis estadístico se realizó mediante el test de varianza unidireccional (ANOVA) y la prueba Tukey ($p < 0.05$), empleando el paquete estadístico SPSS 22 para Windows (SPSS Inc., Chicago, USA). Con el mismo programa se mismo se realizó un estudio de correlación lineal (Pearson) así como un análisis de componentes principales (ACP).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Composición atmosférica en el interior de los envases durante la conservación de tomate

Antes de estudiar el efecto de la atmósfera modificada sobre la calidad de los tomates, se determinaron las concentraciones de O₂, CO₂ y etileno presentes en el interior de cada uno de los envases.

En la figura 1 se representan los valores de O₂, CO₂ y etileno obtenidos en los distintos envases para cada una de las variedades en estudio. Las variedades de tomate seleccionadas presentan distintas tasas de respiración y producción de etileno lo que condujo a diferencias significativas ($p < 0.001$) en la composición atmosférica presente en el interior de las bolsas. Para las tres variedades en estudio la composición gaseosa de los envases se ve afectada por el tiempo de conservación ($p < 0.5$), el sistema de envasado ($p < 0.001$), siendo además significativa la interacción tiempo x tratamiento ($p < 0.01$).

En un trabajo previo se determinó que el tomate Delizia presenta la mayor tasa respiratoria (20 mL CO₂ /kg.h) mientras que la menor actividad metabólica tiene lugar en la variedad Pitenza (8 mL CO₂/kg.h). Como consecuencia de ello, en el interior de los envases de tomate Delizia se alcanzaron las menores concentraciones de O₂ y su vez, la mayor acumulación de CO₂. También se puede observar como la presencia de perforaciones en las bolsas de PP (PPpf y PPpfA) conllevó a una mayor concentración de O₂ en la atmósfera de conservación y evitó una elevada acumulación de CO₂.

Para las tres variedades en estudio, la concentración de O₂ permaneció invariable ya tras el primer día de análisis lo que indicó que la concentración de equilibrio se alcanzó ya en los primeros días de conservación. Sin embargo, el contenido de CO₂ continuó evolucionando en las bolsas de PP. Tal y como puede observarse en la figura 1, para los tomates Vernal y Pitenza se observaron diferencias significativas entre los envases continuos (PP y PPA) y perforados (PPpf y PPpfA) (Figura 1 E, H).

Los niveles alcanzados en bolsas continuas de O₂ y CO₂ fueron de 1 y 8% para el tomate Delizia, 6 y 6% para Vernal, y 7 y 5% para Pitenza, respectivamente. Con envases perforados, aumentó el contenido de O₂ y se redujo la acumulación de CO₂ hasta valores de 10 y 7% para el tomate Delizia, 14 y 4% para Vernal, y 15 y 3% para Pitenza, respectivamente.

Además, en la figura 1 (C, F, I) se refleja una importante acumulación de etileno en el interior de los envases de tomate, considerablemente mayor para la variedad Delizia, 70 y 49 ppm tras 3 y 7 días de conservación respectivamente, mientras que las menores concentraciones de este gas fueron halladas en los envases de tomates Pitenza, en concordancia con los valores de producción de etileno 0.16, 0.05 y 0.014 nmol/kg.s, medidos previamente para los frutos Delizia, Vernal y Pitenza, respectivamente.

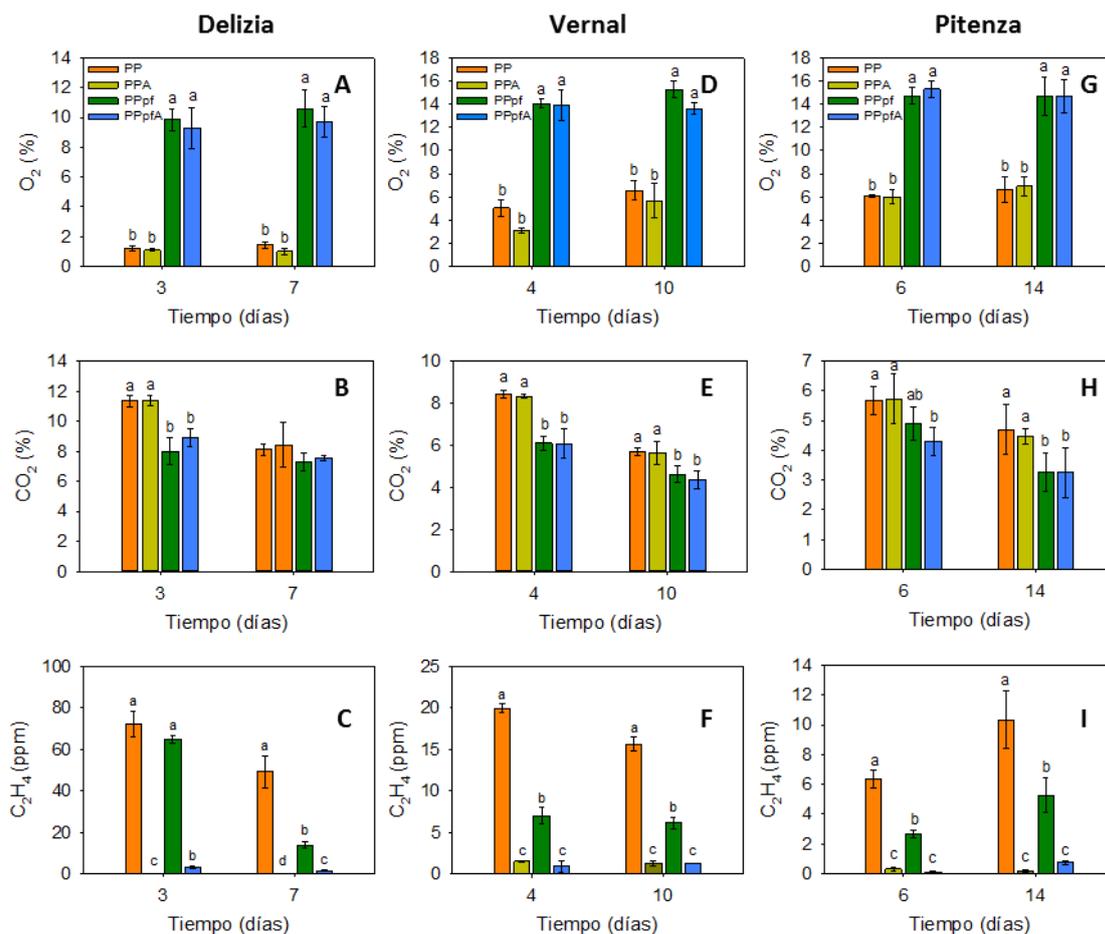


FIGURA 1. Composición atmosférica (O₂, CO₂ y etileno) presente en el interior de los envases de tomate: Delizia (A, B, C), Vernal (D, E, F) y Pitenza (G, H, I). Letras distintas para el mismo día de análisis indican diferencias significativas entre tratamientos.

El descenso en el etileno acumulado a lo largo de la conservación es debida en parte a la disminución de la tasa de producción de este gas con el tiempo y al efecto que la escasez de oxígeno y la acumulación de CO₂ tienen en el mecanismo de síntesis de etileno. De hecho, la oxidación del ácido carboxílico 1-amino-ciclopropano (ACC), última etapa en la biosíntesis de etileno, requiere la presencia de oxígeno así como una baja concentración de dióxido de carbono (Salveit, 1999).

La incorporación del absorbente de etileno en el interior de las bolsas condujo a una reducción drástica de la concentración de la fitohormona hasta valores ≤ 1 ppm, lo que demostró la elevada eficacia del absorbente empleado. A diferencia de lo observado por otros autores (Bailén et al., 2006), no se observaron diferencias significativas en las concentraciones de O₂ y CO₂ al emplear un absorbente de etileno.

Determinación de la calidad nutricional de tomate

- Ácido ascórbico (AA)

En la figura 2 se puede observar la evolución de la concentración de AA presente en los tomates a lo largo de su conservación.

La concentración de AA determinada al inicio del experimento para los tomates Delizia fue de 2.09 ± 0.16 mg/100 g p.f. viéndose influenciada significativamente por el tiempo y modo de conservación empleado. Tal y como se observa en la figura 2, dicha concentración disminuyó durante el periodo de almacenamiento. Tras 5 días de conservación las mayores concentraciones de AA se encontraron en los frutos conservados en bolsas de PPpf (PPpf y pPppfA) así como en bolsas de PP en presencia de un absorbente de etileno (PPA). Una exposición prolongada a la atmósfera modificada (7 días) conllevó a una notable reducción en la concentración de este compuesto en las bolsas de (PP y PPpf), viéndose este efecto reducido por la eliminación de etileno del interior de los envases (PPA y PPpfA).

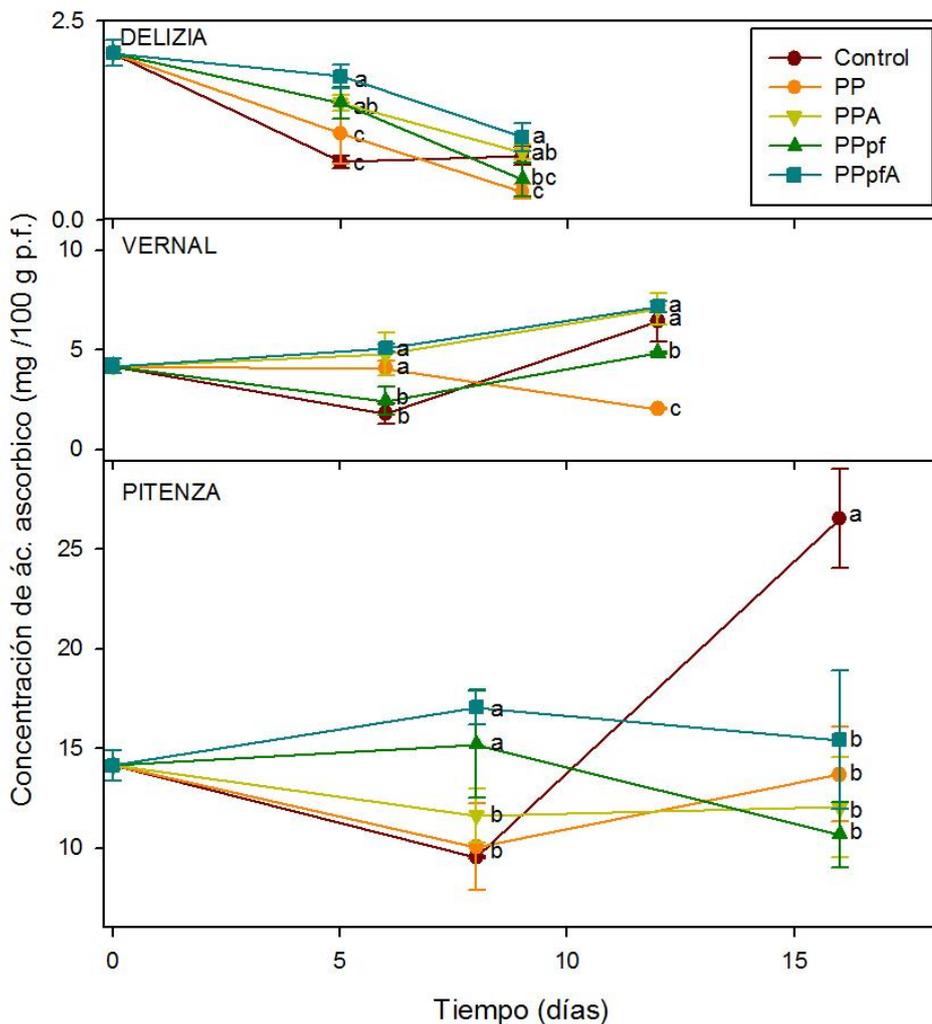


FIGURA 2. Evolución de la concentración de AA durante la conservación a 14°C y a continuación, 48 h a 20°C de tomates envasados y sin envasar (control) para las variedades Delizia, Vernal y Pitenza. Letras distintas para el mismo día de análisis indican diferencias significativas entre tratamientos.

La concentración de AA determinada en tomate Vernal al inicio del experimento fue de 4.17 ± 0.36 mg/100 g. p.f., duplicando el valor determinado para tomate Delizia. El contenido de este compuesto en frutos Vernal también se vio significativamente influenciado por el tiempo así como por el

tratamiento de conservación empleado. Tras 6 días de conservación los tomates sin envasar (control) y los envasados en bolsas de PPpf (atmósfera menos modificada) presentaron el menor contenido de AA siendo inferior a los valores obtenidos al inicio del experimento. Dicha concentración no se vio reducida cuando los tomates fueron conservados en el interior de bolsas de PP (PP y PPA) y PPpf en presencia del absorbente de etileno (PPpfA). Tal y como se puede observar en la figura 2, un aumento del tiempo de conservación conllevó a un incremento en el contenido de AA excepto para los frutos envasados en bolsas de PP. En este caso, el mayor tiempo de exposición a la atmósfera de conservación alcanzada en el interior de los envases de PP, conteniendo una elevada concentración de CO₂ y etileno así como una baja concentración de O₂, alteró notablemente los procesos implicados en la síntesis y acumulación de este compuesto. Los frutos envasados en PPpf presentaron al final del experimento una menor concentración de AA que los frutos control. Tal y como se observó en tomate Delizia, la eliminación de etileno del interior de los envases de PP y PPpf conllevó a un mayor contenido de AA en los frutos, similar al obtenido para los frutos control (~7 mg/100 g p.f.).

En cuanto a la variedad Pitenza los valores de AA determinados antes de la conservación fueron entorno a 14 mg/100 g p.f., valores superiores a los encontrados en las variedades Delizia y Vernal. Tras 8 días de conservación, las mayores concentraciones de este compuesto se hallaron en los tomates conservados en bolsas de PPpf (PPpf y PPpfA). La concentración de ácido ascórbico presente en los tomates control aumentó significativamente al final del periodo de conservación, así tras 16 días resultó del orden de 26 mg/100 g p.f., no observándose diferencias significativas en el contenido de AA determinado en los frutos conservados en los distintos envases.

Las concentraciones de AA obtenidas se encuentran dentro del rango de valores publicados por distintos autores (George et al., 2004; Toor y Savage, 2005; Odriozola-Serrano et al., 2008; Domínguez et al., 2012; Doménech-Carbó et al., 2015). En términos generales se considera que el contenido de AA aumenta durante el proceso de maduración (Dumas et al., 2003; Gautier et al., 2008), tal y como ha ocurrido al final de la conservación en tomates (frutos control) de la variedades Vernal y Pitenza. Sin embargo, otros autores han observado una reducción en la concentración de dicho compuesto como consecuencia del proceso madurativo (Abushita et al., 1997; Ilahy et al., 2011; Erba et al., 2013) lo que indica que este efecto depende significativamente de la variedad de tomate, tal y como ha quedado reflejado en este estudio. El contenido de AA se vería reducido al ser utilizado como sustrato respiratorio o convertido a azúcar durante el proceso de maduración (Islam et al., 1996).

Los resultados obtenidos evidencian la influencia que la variedad de tomate ejerce en el contenido de AA ($p \leq 0.001$), siendo la variedad Pitenza la que presenta una mayor concentración de este compuesto.

Las condiciones de conservación estudiadas afectan significativamente al contenido de AA ($p < 0.001$) y dicha influencia difiere en función del tiempo de conservación ($p < 0.001$) siendo además significativas las interacciones, tiempo x tratamiento ($p < 0.001$) y variedad x tratamiento ($p \leq 0.001$).

El envasado contribuye a ralentizar la pérdida inicial de AA, sin embargo una exposición prolongada a una baja concentración de O₂ y elevada de CO₂, conllevaría a una menor acumulación de este compuesto. Ello podría asignarse a cambios en las rutas metabólicas y en la actividad de las enzimas, inhibiendo su síntesis y/o disminuyendo su estabilidad (Holcroft y Kader, 1999). De hecho, Pinto et al (2001) observó que altos niveles de CO₂ debían de provocar la acidificación del citoplasma alterando la función mitocondrial lo que resulta en un daño oxidativo que contribuiría a la pérdida de vitamina C.

De acuerdo a los resultados obtenidos por Martínez-Romero et al. (2009), la presencia de un absorbente de etileno afectó positivamente a este parámetro de calidad, dependiendo dicha influencia de la variedad de tomate. Las variedades de corta y media vida, Delizia y Vernal, mostraron una mayor sensibilidad al etileno y vieron aumentado su contenido en ácido ascórbico con respecto a los frutos conservados sin material activo, mientras que dicho efecto no fue significativo en los frutos Pitenza.

- Contenido en fenoles totales (CFT)

Entre los compuestos fenólicos presentes en tomate se encuentran la naringenina chalcona, naringenina, derivados de ácidos cinámicos y flavonoles (Domínguez et al., 2012). En la figura 3 se puede observar la evolución del contenido de fenoles totales en los tomates (cvs. Delizia, Vernal y Pitenza) durante su conservación.

El CFT observado al inicio del experimento para los tomates Delizia fue de 7.80 ± 0.91 mg ác. gálico/100 p.f. Dicha concentración aumentó durante el periodo de conservación ($p \leq 0.001$). Tras 5 días, los frutos conservados en bolsas de PP continuas y perforadas en presencia de un absorbente de etileno (PPA y PPpfA) presentaron un mayor CFT, llegándose a obtener valores próximos a 12 mg ác. gálico/100 g p.f. Ese mismo día de análisis fueron los frutos control los que presentaron la menor concentración de estos compuestos. Al final del experimento, los frutos conservados en presencia de un absorbente de etileno (PPA y PPpfA) presentaron el mayor CFT, seguido de los frutos envasados en bolsas de PPpf. Mientras que la menor concentración de estos compuestos se obtuvo en el caso de los frutos control y aquellos envasados en bolsas de PP.

El tomate Vernal al inicio del experimento presentó un CFT de 5.57 mg/100 g p.f., inferior al obtenido para las muestras de tomate Delizia. La concentración de los compuestos fenólicos aumentó durante el periodo de conservación, siendo el aumento más significativo durante los primeros días de conservación (6 días) para las muestras envasadas en bolsas de PPpf (PPpf y PPpfA) y PP en presencia de un absorbente de etileno (PPA). Al final de experimento los frutos envasados en bolsas de PPpf en presencia de un absorbente de etileno (PPpfA) exhibieron la mayor concentración de compuestos fenólicos, seguida por los frutos envasados en PPpf. No se observaron diferencias significativas entre las muestras envasadas en bolsas de PP (PP y PPA) y frutos sin envasar.

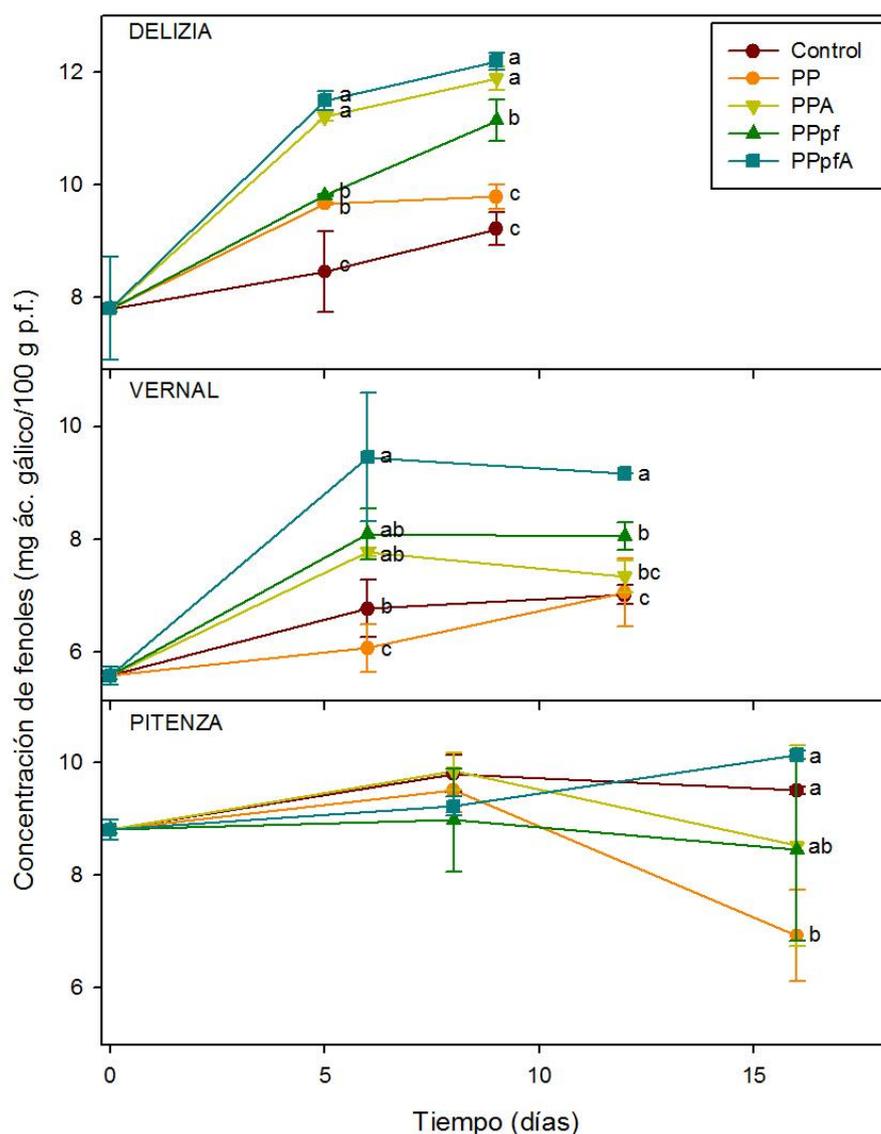


FIGURA 3. Evolución del contenido de fenoles totales durante la conservación a 14°C y a continuación, 48 h a 20°C de tomates envasados y sin envasar (control) para las variedades Delizia, Vernal y Pitenza. Letras distintas para el mismo día de análisis indican diferencias significativas entre tratamientos.

El CFT en tomates Pitenza determinado tras 8 días de conservación aumentó con respecto a los valores obtenidos al inicio del experimento (8.8 ± 0.17 mg/100g p.f), no observándose diferencias significativas entre los distintos tratamientos de conservación en estudio. Tras un mayor periodo de conservación (16 días), el menor CFT fue hallado en los tomates conservados en bolsas de PP.

A lo largo del periodo de conservación se ha observado un aumento del CFT para las tres variedades en estudio, de acuerdo a lo observado en estudios previos (García-Valverde et al., 2011) lo cual podría ser debido al incremento del contenido en ácidos fenólicos y flavonoles durante la

conservación de tomate tal y como Domínguez et al. (2012) observaron en tomates de las variedades Raf y Amadeo.

Los resultados obtenidos ponen de manifiesto la notable influencia que la variedad ($p < 0.001$), el tiempo ($p < 0.05$) y modo de conservación ($p < 0.05$) ejercen en este parámetro de calidad, siendo además significativa la interacción tiempo x tratamiento ($p < 0.05$) y variedad x tratamiento ($p < 0.001$). Por lo general, el envasado de tomate durante un periodo corto de tiempo ha conllevado a un aumento del CFT, lo cual viene a confirmar que la presencia de altos niveles de CO_2 , aumenta la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL) (Ke y Salveit, 1989) lo que se traduce una mayor síntesis de compuestos fenólicos. Sin embargo, una exposición prolongada a la atmósfera modificada podría ocasionar un desorden fisiológico, que contribuye a degradar y/o inhibir la síntesis de dichos compuestos, tal y como ha ocurrido en los frutos Pitenza al ser envasados en bolsas de PP.

El CFT, al igual que se observó con AA, se ha visto incrementado al reducir la concentración de etileno en el interior de los envases, lo que indica que la presencia de la fitohormona actúa en detrimento de la calidad nutricional de los tomates.

- Capacidad antioxidante (CA)

Existen distintos procedimientos para llevar a cabo la determinación de la CA de productos vegetales. Con frecuencia, los resultados obtenidos mediante los distintos protocolos difieren, al emplear diferentes principios mecánicos, por lo que es recomendable la determinación de este parámetro de calidad de forma paralela mediante diversas metodologías (Natić et al., 2015).

En el presente estudio se determina la CA mediante los métodos FRAP (Ferric Reducing Antioxidant Power) y del radical DPPH (difenil-1-picrylhydrazyl). El primero mide la habilidad del hierro como agente reductor a pH básico del complejo férrico 2,4,6-tripiridil-s-triazina (Fe^{3+} -TPTZ) a la forma ferrosa (Fe^{2+} -TPTZ) (Benzie y Strain, 1996) mientras que el segundo mide la capacidad de una muestra de captar radicales libres en una reacción que implica la transferencia de electrones y de átomos de hidrógeno (Brand-Williams et al., 1995).

En la figura 4 se puede observar la evolución de la CA determinada en los tomates durante su conservación y a continuación, se describen los resultados alcanzados mediante la metodología FRAP y seguidamente mediante el método DPPH.

La CA de los tomates Delizia se vio significativamente influenciada ($p < 0.001$) por el tiempo y el tratamiento de conservación empleados ($p < 0.001$). Tal y como puede observarse en la figura 4, durante los primeros días de conservación (5 días) la CA inicial de los frutos ($1.56 \pm 0.02 \mu\text{molFe}^{2+} / \text{g p.f.}$) se vio reducida, exceptuando los tomates conservados en bolsas perforadas conteniendo un absorbente de etileno (PPpfA). A continuación, tras 9 días de conservación se observó un aumento de la CA de los frutos envasados en bolsas de PPpf (PPpf y PPpfA) así como en bolsas de PP en presencia del material activo (PPA). De forma que, al final del periodo de conservación los

frutos con menor CA fueron los conservados sin envasar (control) y aquellos envasados en bolsas de PP, mientras que los frutos conservados en bolsas de PPpfA fueron los que presentaron los mayores valores, $2.24 \pm 0.32 \mu\text{molFe}^{2+}/\text{g}$ p.f.

La CA del tomate Vernal al inicio del experimento fue de $1.18 \pm 0.02 \mu\text{molFe}^{2+}/\text{g}$ p.f. y ésta aumentó durante el periodo de conservación (Figura 4). Tras 6 días de almacenamiento no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) en los valores obtenidos para los frutos envasados y sin envasar. Sin embargo, el efecto del envasado se hizo patente al aumentar el periodo de conservación. Los frutos conservados en bolsas de PPpf (PPpf y PPpfA) fueron tras 12 días almacenamiento los que presentaron una mayor CA próxima a $1.78 \text{ mmol}/100 \text{ g}$ p.f.

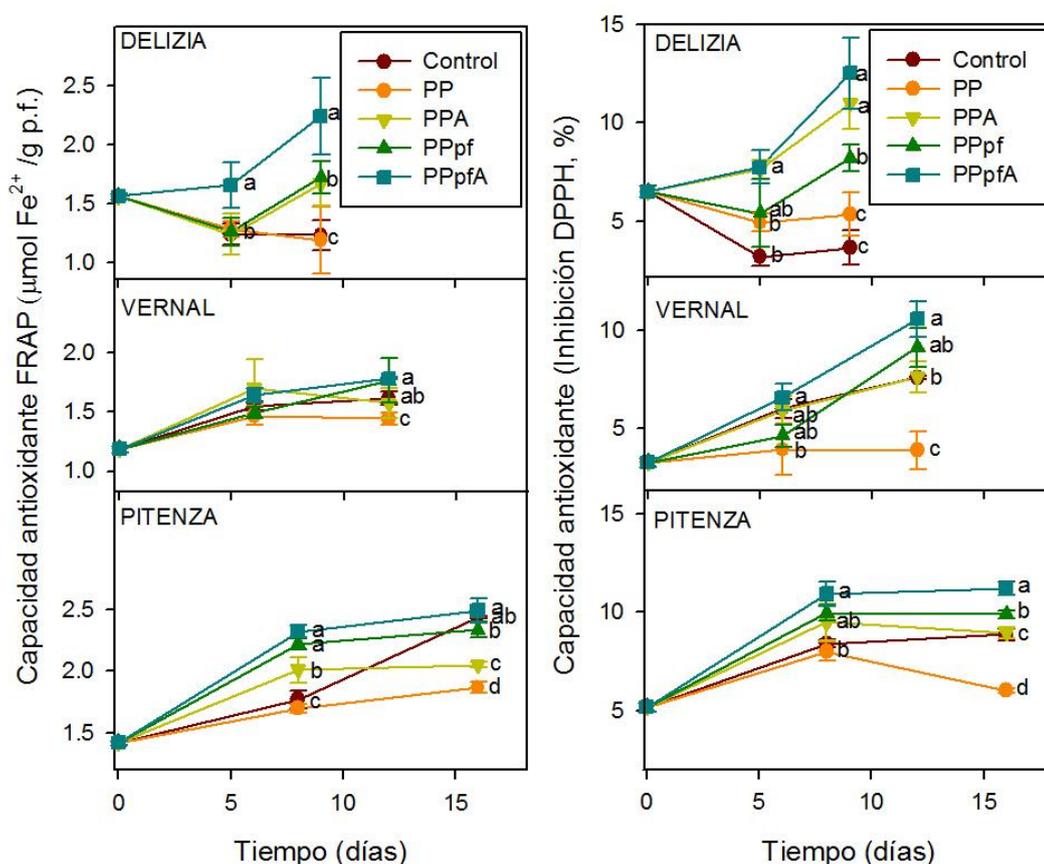


FIGURA 4. Evolución de la CA mediante el método FRAP (A) y DPPH (B) durante la conservación a 14°C y a continuación, 48 h a 20°C , de tomates envasados y sin envasar (control) para las variedades Delizia, Vernal y Pitenza. Letras distintas para el mismo día de análisis indican diferencias significativas entre tratamientos.

La CA de la variedad Pitenza también se vio influenciada por el tiempo y modo de conservación. El valor inicial para esta variedad de tomate fue de $1.41 \pm 0.01 \mu\text{molFe}^{2+}/\text{g}$ p.f, viéndose incrementado durante el periodo de conservación (Figura 4). Tras 8 días de almacenamiento, los frutos con una mayor CA fueron aquellos conservados en bolsas de PPpf (PPpf y PPpfA), mientras que la menor CA fue obtenida para los tomates conservados en

bolsas de PP y sin envasar. Una exposición más prolongada (14 días) a la atmósfera modificada presente en el interior de los envases de PP (PP y PPA) conllevó a una reducción en la CA de los frutos. Tal y como puede observarse en la figura 4, al final del periodo de conservación fueron los tomates envasados en PPpfA los que presentaron una mayor capacidad de reducción siendo ésta de $2.49 \pm 0.10 \mu\text{molFe}^{2+}/\text{g p.f.}$

En la misma figura (figura 4) se puede observar también los resultados obtenidos mediante la metodología DPPH.

Al inicio del experimento los tomates Delizia inhibieron el radical DPPH en un $6.51 \pm 0.28\%$. El tiempo de conservación influyó significativamente en este parámetro de calidad, aumentando o disminuyendo la CA en función del tratamiento de conservación. A lo largo de la conservación los frutos conservados sin envasar y los preservados en bolsas de PP inhibieron en un menor porcentaje el radical DPPH. Al final del experimento, fueron los frutos conservados en presencia de una menor concentración de etileno (PPA y PPpfA) los que presentaron una mayor CA.

Una menor CA se observó en el tomate Vernal ya que esta variedad de tomate presentó, al inicio del experimento, un porcentaje de inhibición de DPPH de un $3.37 \pm 0.24 \%$. A excepción de las muestras que permanecieron envasadas 10 días en bolsas de PP, se observó un aumento de la capacidad antioxidante durante la conservación de los frutos tanto para las muestras sin envasar como envasadas. Tras 6 días de conservación se observaron diferencias significativas entre los frutos conservados en bolsas de PP y PPpf conteniendo un absorbente de etileno (PPpfA), siendo superiores los valores obtenidos para los tomates conservados en este último sistema de envasado.

El porcentaje de inhibición de DPPH obtenido para los tomates Pitenza al inicio del experimento fue de un $5.18 \pm 0.21 \%$. El tiempo de conservación influyó significativamente ($p \leq 0.05$) en la CA así como en el efecto ejercido por el tratamiento (tratamiento x tiempo ≤ 0.01). Tras 8 días de conservación fueron los frutos preservados en bolsas perforadas (PPpf y PPpfA) los que presentaron una mayor CA. Después de 16 días, los menores valores fueron obtenidos para los frutos conservados en bolsas continuas (PP) mientras que los tomates envasados en bolsas perforadas en presencia de un absorbente de etileno (PPpfA) presentaron la mayor CA.

La vitamina C y los compuestos fenólicos son considerados los componentes con mayor CA en tomate (Takeoka et al., 2001), sin embargo no siempre se obtiene una buena correlación entre ellos. De hecho, Wang et al. (1996) establecieron que la contribución de la vitamina C a la actividad antioxidante de un fruto es menos del 15 %. Por otro lado, se ha encontrado una baja correlación entre el contenido de licopeno y la CA de tomate (Martínez-Valverde, 2002; Odriozola-Serrano et al., 2008).

La CA determinada mediante los métodos FRAP y DPPH depende de la variedad de tomate ($p < 0.001$), del tiempo ($p < 0.05$) y del sistema de conservación ($p < 0.01$), siendo además significativa la interacción tiempo x tratamiento ($p < 0.01$) y variedad tratamiento ($p < 0.001$).

Anteriormente, Odriozola-Serrano et al. (2009) encontraron que la conservación de tomate en presencia de un 2.5 % de O₂ y un 5% CO₂ conllevaba a un aumento de la capacidad antioxidante de los frutos. Por otro lado, la inhibición de la acción de etileno mediante 1-MCP ha permitido disminuir la CA de fresa (Jiang et al., 2001) y aumentarla en manzana (MacLean et al., 2003). En cambio Defilippi et al. (2004) no observaron diferencias en este parámetro de calidad al aplicar 1-MCP también en manzana. Estos resultados, de acuerdo con los obtenidos en este estudio, vienen a manifestar la influencia de la variedad en el efecto que la acción del etileno ejerce en la actividad antioxidante de los frutos.

A partir de los resultados obtenidos en las distintas determinaciones se ha llevado a cabo un análisis de componentes principales (ACP) para cada variedad y día de análisis, los distintos gráficos pueden observarse en la figura 5.

Para la variedad Delizia el ACP explica el 98 % de la varianza el primer día de análisis (5 días) y un 97 % al término de la conservación (9 días). En las representaciones correspondientes a los dos periodos de almacenamiento se evidencia la separación de los tratamientos de conservación empleados. El componente 1 separa los tratamientos de envasado en los que se usa un absorbente de etileno (PPpf y PPA) de aquellos en los que no (PP, PPpf y Control). Esta distribución viene justificada por los valores más elevados de AA, compuestos fenólicos totales (CFT) así como CA (FRAP y DPPH) en las muestras conservadas en presencia del material activo. La influencia del tiempo en estos parámetros de calidad introduce cambios en los gráficos, sin embargo los tratamientos en ambos días de análisis están distribuidos de forma similar. A partir de las ACP puede estimarse una buena correlación entre las variables AA, CFT y CA(DPPH) al inicio y entre CA(FRAP), CFT y CA(DPPH) al final de la conservación, lo cual ha sido confirmado mediante el análisis de correlación de Pearson. Los coeficientes de correlación obtenidos han sido de $r = 0.997$, 0.912 y 0.909 , para CFT-CA(DPPH), CFT-AA y CA(DPPH)-AA, respectivamente. Al final de la conservación, dicho valores fueron $r = 0.991$, 0.901 y 0.912 para CFT-CA(DPPH), CFT-CA(FRAP) y CA(DPPH) y CA(FRAP), respectivamente.

Para la variedad Vernal el ACP obtenido a partir de los resultados alcanzados tras 6 días de conservación explica el 86 % de la varianza, mientras que dicho valor fue del 96 % al final del periodo de conservación. Tras un periodo corto de almacenamiento y al igual que se observó en la variedad Delizia, el componente 1 separa los sistemas de envasado que incluyen el material activo (PP y PPA) de aquellos en los que no se ha hecho empleo del absorbente de etileno (PPpf, PP y control). Dicha distribución viene también justificada por los elevados valores de AA, CFT y CA (FRAP y DPPH) que presentan los tomates conservados en ausencia de etileno. Se observa una distribución distinta al aumentar el tiempo de conservación, existiendo ahora una mayor correlación entre las muestras control y PPA y a su vez, entre el sistema de envasado PPpf y PPpfA. A partir del análisis de correlación de Pearson se establece una correlación positiva entre los valores de CA analizada mediante la metodología FRAP y DPPH ($r = 0.959$).

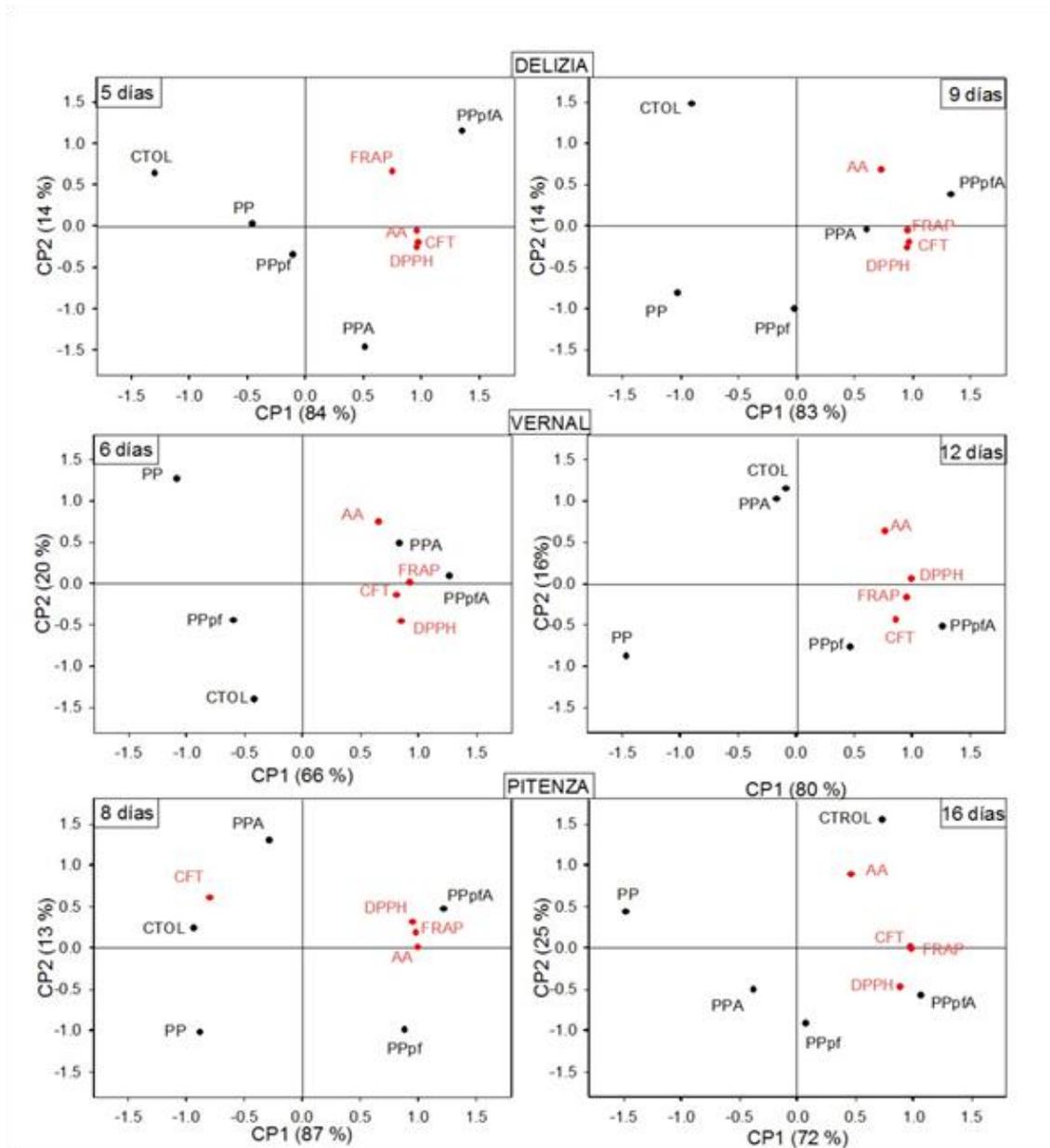


FIGURA 5. Representación gráfica obtenida a partir del análisis de componentes principales (ACP) de los resultados obtenidos durante la conservación de tomate Delizia (a 5 y 9 días), Vernal (a 6 y 12 días) y Pitenza (a 8 y 16 días).

En el caso de los tomates Pitenza el ACP explica el 100 % y 97% de la varianza para los resultados alcanzados tras 8 y 16 días de conservación. Los sistemas de envasado basados en films perforados (PPpf y PPpfA) está separados en el componente 1 del resto de tratamientos, siendo los tomates conservados en estos envases los que presentaron un mayor contenido en AA y CA (FRAP y DPPH). Tal y como se ha corroborado mediante el análisis de correlación de Pearson, existe una correlación positiva entre los valores de CA obtenidos mediante los protocolos FRAP y DPPH ($r= 0.985$), así como entre éstos y el contenido en AA (CA(DPPH)-AA, $r= 0.949$; CA(FRAP)-AA, $r= 0.968$). Tras 16 días de conservación, se observan diferencias significativas en la distribución de los tratamientos. Como consecuencia del aumento significativo del contenido en AA encontrado en los tomates control esta forma de

conservación aparece ahora en la zona positiva del componente 1, junto a los sistemas PPpf y PPpfA.

CONCLUSIONES

Se ha estudiado el efecto del envasado en atmósfera modificada y activa con absorbedores de etileno en la calidad nutricional de tres variedades de tomate con diferente actividad metabólica (cvs Delizia, Vernal y Pitenza). Tanto el envasado con PP continuo como el perforado como la inclusión o no del absorbedor produjeron modificaciones en la atmósfera de envasado tanto más diferente del aire cuanto más rápida es la actividad metabólica de la variedad.

Para analizar su efecto, se midieron los contenidos en ácido ascórbico, en fenoles totales y capacidad antioxidante, ésta última mediante los métodos FRAP y DPPH. Los resultados indicaron que todos los parámetros estudiados, AM, presencia de absorbedor, tiempo de almacenamiento y variedad produjeron variaciones en los parámetros estudiados. Para las variedades Delizia y Vernal, el empleo de absorbedor de etileno resultó en frutos con mayor capacidad antioxidante y mayor contenido en ácido ascórbico y en fenoles totales. En cambio, para la variedad Pitenza con menor actividad metabólica y tiempo más largo de conservación, fue el uso de los envases perforados los que mejores parámetros de calidad nutricional presentaron. También es destacable la elevada correlación mostrada entre el contenido en ácido ascórbico, fenoles totales y las medidas de capacidad antioxidante (FRAP y DPPH) como pone de manifiesto el análisis de componentes principales y el análisis de correlación de Pearson.

AGRADECIMIENTOS

Los autores de este trabajo agradecen la financiación recibida del Ministerio de Economía y Competitividad (proyecto AGL2012-39920-C03-01).

REFERENCIAS

- Abushita, A.A.; Hebshi, E.A.; Daood, H.G.; Biacs, P.A. 1997. Determination of antioxidant vitamins in tomatoes. *Food Chem.*, **60**:207-212.
- Aguayo, E.; Escalona, V.H.; Arteś, F. 2004. Metabolic behavior and quality changes of whole and fresh processed melon. *J. Food Sci.*, **69**:148-155
- Akbudak, B.; Akbudak, N.; Seniz, V.; Eris, A. 2007. Sequential treatments of hot water and modified atmosphere packaging in cherry tomatoes. *J Food Qual.*, **30(6)**:896-910.
- Akbudak, B.; Akbudak, N.; Seniz, V.; Eris, A. 2012. Effect of pre-harvest harpin and modified atmosphere packaging on quality of cherry tomato cultivars "Alona" and "Cluster". *Br. Food J.*, **114(2)**:180-196.
- Artés, F. 1999. Nuevas tendencias en la postrecolección del tomate fresco. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, **5**:143-151.

- Artés, F.; Artés-Hernández, F. 2002. *Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas*. Ponencia. I Cong. Español Ciencias y Técnicas del Frío. Cartagena.
- Bailén, G.; Guillén, F.; Castillo, S.; Serrano, M.; Valero, D.; Martínez Romero, D. 2006. Use of Activated Carbon inside Modified atmosphere packages to maintain tomato fruit quality during cold storage. *J Agr Food Chem.*, **54**:2229-2235
- Benzie, I.F.F.; Strain, J.J. 1996. Ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of antioxidant power: The FRAP assay. *Anal Biochem.*, **239**:70-76.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. 1995. Use of free radical method to evaluate antioxidant activity. *Lebensm Wiss Technology*, **28**:25-30.
- Defilippi, B.G.; Dandekar, A.M.; Kader, A.A. 2004. Impact of suppression of ethylene action or biosynthesis on flavor metabolites in apple (*Malus domestica* Borkh.) fruits. *J. Agric. Food Chem.*, **52**:5694-5701.
- Doménech-Carbó, A.; Domínguez, I.; Hernández-Muñoz, P.; Gavara, R. 2015. Electrochemical tomato (*Solanum lycopersicum* L.) characterisation using contact probe in situ voltammetry. *Food Chem.*, **172**:318-325.
- Domínguez, I.; Ferreres, F.; del Riquelme, F. P.; Font, R.; Gil M. I. 2012. Influence of preharvest application of fungicides on the postharvest quality of tomato (*Solanum lycopersicum* L.). *Postharvest Biol. Technol.*, **72**:1–10.
- Dumas, Y.; Dadomo, M.; Di Lucca, G.; Grolier, P. 2003. Effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *J. Sci. Food Agr.*, **83**:369– 382.
- Elez-Martinez, P.; Martín-Belloso, O. 2007. Effects of high intensity pulsed electric field processing conditions on vitamin C and antioxidant capacity of orange juice and gazpacho cold vegetable soup. *Food Chem.*, **102**:201-209.
- Erba, D.; Casiraghi, M. C.; Ribas-Agustí, A.; Cáceres, R.; Marfa, O.; Castellari, M. 2013. Nutritional value of tomatoes (*Solanum lycopersicum* L.) grown in greenhouse by different agronomic techniques. *J. Food Comp. Anal.*, **31**:245-251.
- García-Valverde, V.; Navarro-González, I.; García-Alonso, J.; Periago, M. J. 2011. Antioxidant bioactive compounds in selected industrial processing and fresh consumption tomato cultivars. *Food Bioprocess Tech.*, **6**:391-402.
- Gautier, H.; Diakou-Verdin, V.; Bénard, C. 2008. How does tomato quality (sugar, acid, and nutritional quality) vary with ripening stage, temperature, and irradiance. *J. Agr. Food Chem*, **56**:1241-1250.
- Gavara, R.; Catalá, R. 2001. Materiales y estructuras poliméricas de alta barrera para el envasado de alimentos perecederos. *Plásticos Modernos*, **81**:221-228.
- George, B.; Kaur, C.; Khurdiya, D.S.; Kapoor, H.C. 2004. Antioxidants in tomato (*Lycopersium esculentum*) as a function of genotype. *Food Chem.*, **84**:45-51.
- Giovanelli, G.; Lavelli, V.; Peri, C.; Nobili, S. 1999. Variation in antioxidant components of tomato during vine and postharvest ripening. *J. Sci. Food Agr.*, **79**:1583-1588.
- Holcroft, D.M.; Kader, A.A. 1999. Carbon dioxide-induced changes in colour and anthocyanin synthesis of stored strawberry fruit. *HortScience*, **34**:1244-1248.
- Ilahy, R.; Hdider, C.; Lenucci, M.S; Tlili, I.; Dalessandro, G. 2011. Phytochemical composition and antioxidant activity of high-lycopene tomato (*Solanum lycopersicum* L.) cultivars grown in Southern Italy. *Sci Hort.*, **127**:255-261.
- Islam, M.S.; Matsui, T.; Yoshida, Y. 1996. Effect of carbon dioxide enrichment on physico-chemical and enzymatic changes in tomato fruits at various stages of maturity. *Sci Hortic.*, **65**:137-49.

- Jiang, Y.; Joyce, D. C.; Terry, L. A. 2001. 1-Methylcyclopropene treatment affects strawberry fruit decay. *Postharvest Biol Technol.*, **23**:227-232.
- Kader, A.A.; C.B. Watkins. 2000. Modified atmosphere packaging—Towards 2000 and beyond. *HortTechnology*,**10**:483–486.
- Kader, A.A. 2007. *Atmósferas modificadas en el transporte y el almacenamiento. In Tecnología Poscosecha de Productos Hortofrutícolas*. 3ª edición. Kader, A. (Ed.). University of California, Division of Agriculture and Natural Resources, Oakland, California, USA, 43-54.
- Kalt,W.; Forney, C.F.; Martin, A., Prior, R.1999. Antioxidant capacity, vitamin C, phenolics and anthocyanins after fresh storage of small fruits. *J Agr Food Chem.*, **47**:4638-4644
- Ke, D.; Saltveit, M.E.1989. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg lettuce. *Physiol. Plant.*, **76**:412–418.
- Kuenwoo, P.; Homin, K.; Dongman, K.; Hyungwoo, P. 2000. Effect of the packaging films and storage temperatures on modified atmosphere storage of ripe tomato. *Postharvest News Info*, **11(3)**:1082.
- Lee, S.K.; Kader, A.A. 2000.Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharv. Biol. Technol.*, **20**: 207-220.
- Lelievre, J.M.; Latche, A.; Jones, B.; Bouzayen M.; Pech, J.C. 1997. Ethylene and fruit ripening. *Physiol. Plant*,**101**:727-739.
- Lenucci, M., Cadinu, D.; Taurino, M.; Piro, G.; Dalessandro, G. 2006. Antioxidant composition in cherry and high-pigment tomato cultivars. *J. Agr.Food Chem.*, **54**: 2606-2613.
- Leonardi, C.; Ambrosino, P.; Esposito, F.; Fogliano, V. 2000. Antioxidant activity and carotenoid and tomatine contents in different typologies of fresh consumption tomatoes. *J Agr Food Chem.*, **48**:4723-4727.
- Leyva, L.; Constán-Aguilar, C.; Blasco, B.; Sánchez-Rodríguez, E.; Romero, L. 2013. Effects of climatic control on tomato yield and nutritional quality in Mediterranean screenhouse. *J. Sci. Food Agric.*, **94**:63-70
- Linke M.; Geyer M. 2002. *Postharvest Behaviour of Tomatoes in Different Transport Packaging Units*. In: Verlinden et al. (Eds.) Proc. Postharvest Unltd, Acta Horticulturæ 599, ISHS 2003, S.115-122.
- Mac Lean, D.D.; Murr, D.P.; DeEll, J.R. 2003. A modified total oxyradical scavenging capacity assay for antioxidants in plant tissues. *Postharvest Biol. Technol.*, **29**:183-194.
- Martínez-Romero, D.; Serrano, M.; Guillén, F.; Castillo, S.; Valero, D. 2007. Tools to maintain postharvest fruit and vegetable quality through the inhibition of ethylene action: a review. *Crit.Rev. Food Sci. Nutr.*, **47**: 543-560.
- Martínez-Romero, D.; Guillén, F.; Castillo, S.; Zapata, P. J.; Valero, D.; Serrano, M. 2009. Effect of ethylene concentration on quality parameters of fresh tomatoes stored using a carbon-heat hybrid ethylene scrubber. *Postharvest Biol Technol.*, **51**: 206-211.
- Martínez-Valverde, I.; Periago, M.J.; Provan, G.; Chesson, A. 2002. Phenolic compounds, lycopene and antioxidant capacity in commercial varieties of tomato (*Lycopersicum esculentum*). *J Sci Food Agric.*, **82**:323-330.
- Mazur, S. P.; Nes, A.; Wold, A.-B.; Remberg, S. F.; Aaby, K. (2014). Quality and chemical composition of ten red raspberry (*Rubus idaeus* L.) genotypes during three harvest seasons. *Food Chem.*, **160**: 233-240.

- Natić, M.M.; Dabić, D.Č.; Papetti, A.; Fotirić Akšić, M.M.; Ognjanov, V.; Ljubojević, M.; Tešić, Ž.L. 2015. Analysis and characterisation of phytochemicals in mulberry (*Morus alba* L.) fruits grown in Vojvodina, North Serbia. *Food Chem.*, **171(15)**: 128-136.
- Odriozola-Serrano, I.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. 2008. Antioxidant properties and shelf-life extension of fresh-cut tomatoes stored at different temperature. *J Sci Food Agric.*, **88(15)**: 2606-2614.
- Odriozola-Serrano, I.; Oms-Oliu, G.; Soliva-Fortuny, R.; Martín-Belloso, O. 2009. Effect of High-Oxygen Atmospheres on the Antioxidant Potential of Fresh-Cut Tomatoes. *J. Agric. Food Chem.*, **57(15)**: 6603-6610.
- Opiyo, A.M.; Ying, T.J. 2005. The effects of 1-methylcyclopropane treatment on the shelf life and quality of cherry tomato (*Lycopersicon esculentum* var, *cerasiforme*) fruit. *J Food Sci Tech.*, **40**:665-673.
- Pantástico, B. 1979. *Fisiología de la Post recolección, Manejo y Utilización de Frutas y Hortalizas Tropicales y Subtropicales*. 2a Ed. Continental. México, D. F., 663 pp.
- Payasi, A.; Sanwal, G. 2010. Ripening of climacteric fruits and their control. *J Food Biochem.*, **34**:679-710.
- Pinto A.; Lenthéric I.; Vendrell, M.; Larrigaudiere C. 2001. Role of fermentative and antioxidant metabolism in the induction of core browning in controlled-atmosphere stored pears. *J Sci Food Agric.*, **81**:364-370.
- Sabir, F.K.; Agar, T. 2011. Effects of 1-methylcyclopropene and modified atmosphere packing on postharvest life and quality in tomatoes. *J Food Quality*, **34**:111-118.
- Salveit, M. E. 1999. Effect of ethylene on quality of fresh fruits and vegetables. *Postharvest Biol Technol.* **15**: 279-292.
- Serrano, M.; Martínez-Romero, D.; Guillén, F.; Valverde, J.M.; Zapata, P.J.; Castillo, S.; Valero, D. 2008. The addition of essential oils to MAP as a tool to maintain the overall quality of fruits. *Trends Food Sci Tech.*, **19(9)**:464-471.
- Stewart, A.J.; Bozonnet, S.; Mullen, W.; Jenkins, G.I.; Lean, M.E.J.; Crozier, A. 2000. Occurrence of flavonols in tomatoes and tomato-based products. *J. Agr. Food Chem.*, **48**:2663-2669.
- Takeoka, G.R.; Dao, L.; Flessa, S.; Gillespie, D.M.; Jewell, W.T.; Huebner, B. 2001. Processing effects on lycopene content and antioxidant activity of tomatoes. *J Agric Food Chem.*, **49**:3713-3717.
- Thompson, A. 1998. *Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables*. London: CAB International, 278 pp.
- Toor, R. K.; Savage, G. P. 2005. Antioxidant activity in different fractions of tomatoes. *Food Res Int.*, **38**:487-494.
- USDA, 1999. Standards for Grades of Fresh Tomatoes. USDA, Agr. Mktg. Serv., Washington, DC.
- Wang, H.; Cao, G.; Prior, R.L. 1996. Total antioxidant capacity of fruits. *J Agric Food Chem* **44**:701-705.
- Zhang, Z.; Liu, L.; Zhang, M.; Zhang, Y.; Wang, Q. 2014. Effect of carbon dioxide enrichment on health-promoting compounds and organoleptic properties of tomato fruits grown in greenhouse. *Food Chem.*, **153**:157-163.