

EFECTO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES Y ENVASADO EN ATMOSFERAS MODIFICADAS EN EL CONTROL DEL PARDEAMIENTO EN CAQUI 'ROJO BRILLANTE'

MASTER EN GESTION Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Alumno:
Christian Ghidelli

Directores:
Dra. María Bernardita Pérez-Gago
Dr. Miguel Ángel del Río

Tutora:
Dra. Isabel Pérez-Munuera

Centro:
Centro de Tecnología Postcosecha - IVIA

EFFECTO DE RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES Y ENVASADO EN ATMOSFERAS MODIFICADAS EN EL CONTROL DEL PARDEAMIENTO EN CAQUI 'ROJO BRILLANTE'

Christian Ghidelli¹, María Bernardita Pérez Gago^{1,2}, Miguel Ángel del Río¹, Isabel Pérez Munuera³

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue estudiar el efecto de un recubrimiento comestible y el envasado en atmósferas modificadas (AM) en el control del pardeamiento enzimático de caqui 'Rojo brillante'. Los trozos de caqui fueron sumergidos en un recubrimiento a base de proteína de soja, ácido cítrico y cloruro de calcio o en agua como control. Posteriormente, las muestras se envasaron en bandejas de polipropileno (PP) y se termosellaron en una atmósfera normal (aire) con un film de PP perforado (AN-P) o sin perforar (AN-SP) o en dos mezclas gaseosas (AM-A: 15 kPa CO₂ + 5 kPa O₂; AM-B: 50 kPa O₂). Las muestras se almacenaron a 5 °C durante un periodo de 10 días, evaluándose de manera periódica la composición de la atmósfera en el interior del envase, el color (coordenadas CIELAB, L*, a*, b*), firmeza, capacidad antioxidante total y análisis sensorial del caqui troceado. El envasado en la AM-A en combinación con la aplicación del recubrimiento mostró un efecto sinérgico en el control del pardeamiento enzimático, manteniendo la calidad visual del caqui minimamente procesado por encima del límite de comercialización durante todo el periodo de almacenamiento. Sin embargo, se observó una disminución de la capacidad antioxidante total del caqui. La aplicación de elevadas concentraciones de O₂ (AM-B) dañó el tejido del fruto dando lugar a un aumento del pardeamiento. La firmeza del caqui troceado no se vio afectada ni por la aplicación del recubrimiento, ni de las AM. La aplicación del recubrimiento mejoró el aspecto del caqui troceado durante el almacenamiento sin afectar negativamente el sabor del mismo.

PALABRAS CLAVE: caqui minimamente procesado, pardeamiento enzimático, recubrimiento comestible, antioxidantes, atmósfera modificada

RESUM

L'objectiu d'aquest treball va ser l'estudi de l'efecte d'un recobriment comestible i l'envasat en atmòsferes modificades (AM) en el control del pardetjament enzimàtic del caqui 'Rojo brillante'. Els troços de caqui van ser sumergits en un recobriment a base de proteïna de soia, àcid cítric i clorur de

¹ Centro de Tecnología Poscosecha. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Moncada (Valencia).

² Fundación Agroalimed. Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias. Moncada (Valencia).

³ Dpto. de Tecnología de Alimentos. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia

calci o en aigua com control. Posteriorment, les mostres es van envasar en safates de polipropilen (PP) i es van termosetllar en una atmòsfera normal (aire) amb un film de PP perforat (AN-P) o sense perforar (AN-SP) o en dos mescles gasoses (AM-A: 15 kPa CO₂ + 5 kPa O₂; AM-B: 50 kPa O₂). Les mostres es van enmagatzemar a 5 °C durant un període de 10 dies, evaluant-se de manera periòdica la composició de l'atmòsfera en l'interior de l'envàs, el color (coordinades CIELAB L*, a*, b*), fermesa, capacitat antioxidant total i anàlisi sensorial del caqui trossejat. L'envasat en AM-A en combinació amb l'aplicació del recobriments va mostrar un efecte sinèrgic amb el control del paretjament enzimàtic, mantenint la qualitat visual del caqui mínimament processat per damunt del límit de comercialització durant tot el període d'enmagatzament. En canvi, es va veure una disminució de la capacitat antioxidant total. L'aplicació d'elevades concentracions d'O₂ (AM-B) va llastimar el teixit de la fruita donant lloc a un augment del paretjament. La fermesa del caqui trossejat no es va veure afectada ni per l'aplicació del recobriments, ni per les AM. L'aplicació del recobriments va millorar l'aspecte del caqui trossejat durant l'enmagatzament sense afectar negativament el sabor del mateix.

PARAULES CLAU: caqui mínimament processat, paretjament enzimàtic, recobriments comestible, antioxidant, atmòsfera modificada

ABSTRACT

The objective of this work was to study the effect of an edible coating with antioxidant activity and modified atmosphere packaging (MA) on enzymatic browning of fresh-cut persimmon 'Rojo brillante'. Persimmon pieces were dipped in a coating composed by soy protein isolate, citric acid and calcium chloride, or in water as a control. Fruit samples were then packed in polypropylene (PP) trays with air and sealed with perforated PP film (NA-P) or non-perforated PP film (NA-SP), or in two gas mixtures (AM-A: 15 kPa CO₂ + 5 kPa O₂; AM-B: 50 kPa O₂) sealed and stored at 5 °C for 10 days. Samples were stored at 5 °C for 10 days. Changes in atmosphere composition in the trays, color (CIELAB color parameters L*, a*, b*), texture, antioxidant capacity, and sensorial analysis of the fruit were evaluated during storage. Coating application reduced enzymatic browning. Browning was further reduced when coated samples were stored under AM-A, being this samples evaluated as above the limit of commercialization during all the storage period. However, MA-A reduced persimmon antioxidant activity. Packaging in MA-B damaged the tissue of the fruit, with an increase of browning. Persimmon firmness was not affected neither by coating application or MA packaging. Coating application improved persimmon visual quality without affecting fruit taste.

KEY WORDS: fresh-cut persimmons, enzymatic browning, edible coating, antioxidants, modified atmosphere.

INTRODUCCIÓN

El caqui 'Rojo brillante' es una variedad astringente con una elevada producción en la zona de la Ribera del Xuquer (Valencia). La exposición del fruto a elevadas concentraciones de CO₂ permite la eliminación de la astringencia manteniendo la firmeza del mismo (Arnal y del Río, 2003). La comercialización del caqui 'Rojo brillante' con alta firmeza ofrece la posibilidad de su comercialización como producto fresco cortado o minimamente procesado. Sin embargo, el éxito comercial del producto está limitado principalmente por el pardeamiento enzimático y la pérdida de firmeza.

Las metodologías clásicas para reducir o inhibir el pardeamiento enzimático de frutas y hortalizas frescas cortadas incluyen la aplicación de agentes antioxidantes, como el ácido cítrico o ascórbico, así como la aplicación de atmósferas modificadas (AM). Con el objetivo de mantener la firmeza de los tejidos frescos cortados, se ha visto que la aplicación de distintas sales cálcicas resulta efectiva a tal efecto, además de tener un efecto adicional controlando el pardeamiento enzimático de los productos (García y Barrett, 2002). En un trabajo reciente, Pérez-Gago et al. (2009) observaron que el ácido ascórbico, cítrico y la cisteína resultaron efectivos controlando el pardeamiento enzimático de caqui 'Rojo brillante' minimamente procesado, mientras que las concentraciones ensayadas de CaCl₂ no resultaron efectivas.

El envasado en AM con bajas concentraciones de O₂ y altas de CO₂ ha sido recomendado para varios productos minimamente procesados por su acción reduciendo la tasa respiratoria y las reacciones enzimáticas que dan lugar al pardeamiento del tejido. En trabajos recientes, algunos autores indican que la aplicación de atmósferas con elevadas concentraciones de O₂ (>40 kPa) pueden reducir el pardeamiento enzimático de algunos productos troceados, reduciendo además la fermentación anaeróbica de los mismos (Kader y Ben-Yeoshua, 2000). En el caso del caqui, existen escasos trabajos que estudien el efecto de AM en la calidad del producto cortado. Wright y Kader (1997) estudiaron el efecto del procesado y distintas atmósferas controladas en la calidad de caqui cv. 'Fuyu', indicando que mezclas de gases compuestas por 2 kPa de O₂ y 12 kPa de CO₂ tenían un ligero efecto extendiendo la vida útil de caqui procesado. Sin embargo, se sabe que la efectividad de las AM depende del producto, del cultivar y de su estado fisiológico.

Otra alternativa para poder prolongar aún más la vida útil de las frutas minimamente procesadas es el uso de los recubrimientos comestibles. Estos se definen como una fina capa de material comestible aplicados alrededor del alimento que ejercen una barrera semipermeable a los gases y al vapor de agua, lo que se traduce en una reducción de la respiración, del pardeamiento enzimático y de la pérdida de agua del producto (Baldwin et al., 1995). Además, su función protectora puede ser mejorada con la incorporación de compuestos antimicrobianos, antioxidantes, aromas, nutrientes, etc.

El desarrollo de películas y recubrimientos comestibles ha ido enfocado al uso de proteínas, polisacáridos y lípidos. Entre las proteínas, la proteína de soja (PS) es capaz de formar recubrimientos comestibles con muy buena barrera al oxígeno. Kinzel (1992) describió que la aplicación de recubrimientos formados a partir de esta proteína mantenían la frescura de manzanas frescas cortadas. Sin embargo, no se encuentran trabajos en la bibliografía que apliquen recubrimientos a base de PS a caqui troceado.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo ha sido estudiar el efecto combinado de un recubrimiento comestible a base de PS con antioxidantes y el envasado en AM en el control del pardeamiento enzimático del caqui 'Rojo brillante' fresco cortado.

MATERIALES Y MÉTODOS

Formulación del recubrimiento

Para la realización de los recubrimientos se preparó una solución acuosa al 7% (p/p) de PS (Supro 760 IP, SOLAE, Bélgica) y se desnaturalizó en un baño de agua a 90 °C durante 30 minutos. Como plastificante se añadió glicerol (Panreac Química, S.A., España). El ratio proteína-plastificante fue de 2 partes de PS - 1 parte de glicerol (en base seca) y este ratio se mantuvo constante durante todo el estudio. Se incorporó a la solución ácido cítrico y cloruro de calcio (Panreac Química, S.A., España) al 1% y al 0,3%, respectivamente. Finalmente, se añadió agua a la emulsión para alcanzar un contenido en sólidos total de 7,5%.

Selección, preparación y elaboración de la fruta

El caqui 'Rojo brillante' fue suministrado por la Cooperativa 'Nuestra Señora de Oretó' en l'Alcudia (Valencia). La eliminación de la astringencia se realizó a 20 °C en cabinas cerradas con 95% de CO₂ durante 24 horas. Tras el tratamiento de desastringencia, la fruta fue almacenada 1 día a 10 °C hasta la etapa de procesado. Los caquis se limpiaron, pelaron y cortaron en láminas rectangulares (5,5 cm x 3,5 cm x 1,5 cm aproximadamente) y finalmente se sumergieron en el recubrimiento o en agua, como tratamiento control, durante 3 minutos. Previo al envasado, los caquis se dejaron secar del exceso de recubrimiento superficial. Para cada tratamiento se procesaron un máximo de 20 frutos para minimizar una excesiva exposición al oxígeno. En el procesado se utilizaron cuchillos de acero inoxidable con un buen afilado para reducir el daño mecánico. Durante todo el proceso se trabajó en una cámara a una temperatura controlada de 10 ± 1 °C.

Tras el secado en frío, los trozos de caqui se envasaron en bandejas de polipropileno (PP) y se termosellaron en una atmósfera normal (aire) con un film de PP (35 PA 200, Amcor Flexibles, España) perforado (AN-P) o sin perforar (AN-SP), o en dos mezclas de gases (MA-A: 15 kPa CO₂ + 5 kPa O₂ + 80kPa N₂; MA-B: 50 kPa O₂ + 50 kPa N₂). Posteriormente las bandejas se almacenaron a 5 °C durante 10 días.

Atmósfera en el envase

La composición de la atmósfera (CO₂ y O₂) en el interior del envase se determinó con un cromatógrafo de gases (Thermo Finnigan GC 2000) equipado con un detector de termoconductividad y columna Poropak QS 80/100 (1,2 m x 0,32 cm) y Tamiz Molecular 5 Å 45/60 (1,2 m x 0,32 cm). Las temperaturas de trabajo del cromatógrafo fueron 125 °C, 35 °C y 180 °C para inyector, horno y detector, respectivamente. La determinación se realizó inyectando 1 ml de gas del espacio de cabeza del envase en el cromatógrafo. Las medidas se realizaron en 5 bandejas por cada tratamiento durante el almacenamiento y se expresan como kPa de O₂ y CO₂.

Color

Los cambios de color se determinaron periódicamente con un Minolta (Modelo CR-300, Ramsey, N.Y., U.S.A.) en 12 trozos de caquis por tratamiento utilizando las coordenadas de color CIELAB (L*, a* y b*).

Firmeza

La firmeza de los caquis se realizó con un texturómetro (Instron Universal Machine, model 3343) en 12 trozos por tratamiento, midiendo la fuerza en Newtons (N) requerida para que un punzón de 8 mm penetre en el tejido del fruto una profundidad de 2 mm, con una velocidad de punción de 5 mm/s.

Análisis sensorial

Durante el almacenamiento se realizó una evaluación visual de los caquis frescos cortados que incluyó la evaluación de la apariencia general del producto y la ordenación de los tratamientos en función del grado de pardeamiento. Los tratamientos se codificaron con un número de 3 dígitos y se presentaron a los jueces de manera aleatoria para que ordenaran las muestras de mayor a menor grado de pardeamiento. La calidad visual, basada en el aspecto general del producto, se realizó mediante una escala de 5 puntos, donde 9 = excelente, recién cortado; 7 = muy bueno; 5 = bueno, límite de comercialización; 3 = aceptable, límite de consumo; 1 = no comestible (Gorny et al., 2002). Para la realización de este análisis, se presentó a los jueces una fotografía de muestras de caqui con esta escala. Los tratamientos se presentaron a los jueces de manera aleatoria y cada tratamiento presentaba una media de 12 trozos de caqui para reducir la heterogeneidad entre piezas.

Adicionalmente se realizaron dos pruebas para evaluar el efecto de la aplicación del recubrimiento y las AM en el sabor de caqui 'Rojo brillante' fresco cortado durante el almacenamiento.

La primera consistió en realizar una prueba triangular con el fin de determinar si los jueces eran capaces de detectar diferencias entre las muestras recubiertas y las muestras control. Para ello se presentaron a los

jueces tres muestras codificadas de manera aleatoria, dos de las cuales eran iguales y una diferente y se les preguntaba que indicaran la muestra diferente. Las muestras se prepararon un día antes del ensayo sensorial y se envasaron en atmósfera normal con un film de PP de alta permeabilidad para asegurarnos que no se modificaba la atmósfera en el interior de la barqueta y determinar así el efecto exclusivo del recubrimiento. Con el objetivo de corroborar los resultados, se realizaron dos pruebas triangulares en dos días diferentes. El número de los jueces fue de 20 y 17 para el primer y el segundo día, respectivamente. Los jueces realizaron la prueba en cabinas individuales en una sala de cata homologada. Para evitar posibles influencias por el color de las muestras, los jueces utilizaron unas gafas hechas de papel transparente rojo y azul y las cabinas se iluminaron con luz roja. Se utilizó agua mineral para enjuagar la boca entre las muestras.

La segunda prueba consistió en una evaluación de las muestras recubiertas y control envasadas en las distintas atmósferas mediante escalas numéricas. Los atributos evaluados por los jueces fueron: sabor característico, malos sabores, firmeza y sabor global. La Tabla 1 muestra la hoja presentada a los jueces con las escalas correspondientes. La evaluación se realizó en caqui recién cortado y en las muestras procesadas a los 3 y 6 días de almacenamiento a 5°C. Los análisis se realizaron en cabinas individuales y las muestras se iluminaron con una luz roja para enmascarar la posible presencia de pardeamiento en las muestras. Se utilizó agua mineral para enjuagar la boca entre muestra y muestra. Un total de 20 jueces participaron en cada prueba.

TABLA 1. Hoja de análisis sensorial presentada a los jueces para la evaluación de las muestra de caqui ‘Rojo brillante’ fresco cortado.

MALOS SABORES		SABOR CARACTERISTICO		FIRMEZA		SABOR GLOBAL Flavor (sabor+aroma)	
0	Ausencia	0	Ausencia	1	Muy blando	1	Mala calidad (no satisfactorio)
1	Ligeramente perceptibles	1	Ligeramente perceptibles	2	Blando	2	
2	Perceptibles	2	Perceptibles	3	Ni firme ni blando	3	
3	Presencia acusada	3	Presencia acusada	4	Firme	4	Calidad aceptable
				5	Muy firme	5	
						6	
						7	Calidad excelente
						8	
						9	

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante se evaluó mediante el método de captura de radicales libres del 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH[•]) descrito por Brand-Williams et al. (1995). El método mide la reducción de la absorbancia a 520 nm de soluciones de DPPH[•] al reaccionar con antioxidantes.

El proceso de extracción se realizó siguiendo el método de Chen et al. (2008) modificado. Se pesaron 2 gramos de muestra y se mezclaron en un tubo de centrifuga con 30 ml de metanol al 70%. La solución se homogeneizó a 20.000 rpm durante 2 minutos con un homogeneizador (Ultraturrax, IKA, Alemania), seguido por ebullición en agua caliente durante 20 minutos para inactivar la enzima polifenol oxidasa. Posteriormente las muestras se sonicaron en ultrasonidos durante 15 minutos y se centrifugaron a 10.000 rpm durante 15 minutos a 5 °C. Se midió el sobrenadante de las muestras y el precipitado se sometió otra vez a homogenización, sonificado y centrifugado en las mismas condiciones de procesamiento anteriormente descritas. Este segundo extracto se añadió al primero y se midió el volumen total. Para cada tratamiento se realizaron un total de 3 replicas procedentes de distintos trozos de caqui. A partir del sobrenadante obtenido se realizaron diluciones con metanol con el fin de poder relacionar la disminución en la absorbancia del DPPH[•] con la concentración de la muestra. Seguidamente se mezclaron en una microplaca multimedida 100 µl de cada una de las diluciones metanólicas de las muestras con 300 µL de una solución metanólica de DPPH[•] (24 ppm) y se dejó reaccionar durante 20 min en oscuridad. Finalmente se midió la absorbancia a 520 nm con un espectrofotómetro (Multiskan Spectrum, Thermo). La capacidad antioxidante se expresó como EC₅₀, que es la cantidad de muestra necesaria para reducir al 50% los radicales libre de 1 Kg de DPPH[•] (Sanchez-Moreno et al., 2003).

Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó mediante el análisis de la varianza (ANOVA) utilizando el programa estadístico STATGRAPHICS 4.1 (Manugistic, Inc., Rockville, Maryland, U.S.A.). Las diferencias significativas entre las medias se establecieron a través de intervalos LSD (diferencia mínima significativa) con un nivel de confianza del 95%. En el caso de la ordenación visual del pardeamiento, para determinar si había diferencias significativas se realizó el test de Friedman recomendado para ordenaciones (UNE 87 023, 1995). Para la prueba triangular las diferencias significativas existentes se confirmaron consultando las tablas de los niveles de significación (UNE 87 006, 1995). Se determinaron las diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Atmósfera en el envase

La Figura 1 muestra la evolución de la atmósfera (O_2 y CO_2) en las barquetas durante el almacenamiento del caqui fresco cortado. Debido a razones técnicas, la AM-B (50 kPa de O_2) no se consiguió alcanzar en el caso de las muestras recubiertas (AM-B-RC), por lo que las concentraciones iniciales de O_2 en las barquetas de las muestras recubiertas y no recubiertas fueron de 30 kPa y 50 kPa, respectivamente. Bajo estas atmósferas, a los 10 días de almacenamiento el nivel de CO_2 aumentó hasta alcanzar valores de 6 kPa y 8 kPa y el nivel de O_2 bajó hasta un valor de 20 kPa y 35 kPa para las muestras recubiertas y no recubiertas, respectivamente.

En las muestras que se envasaron en la AM-A (15 kPa CO_2 + 5 kPa O_2), las concentraciones de CO_2 y O_2 tras 1 día de almacenamiento fueron de 11-12 kPa y 5 kPa, respectivamente. Estos valores se modificaron ligeramente durante el almacenamiento, alcanzando valores aproximadamente de 13 kPa de CO_2 y 2 kPa de O_2 . Estos resultados muestran que se estableció un equilibrio entre la permeabilidad del film y el consumo y producción de O_2 y CO_2 de los caqui minimamente procesados.

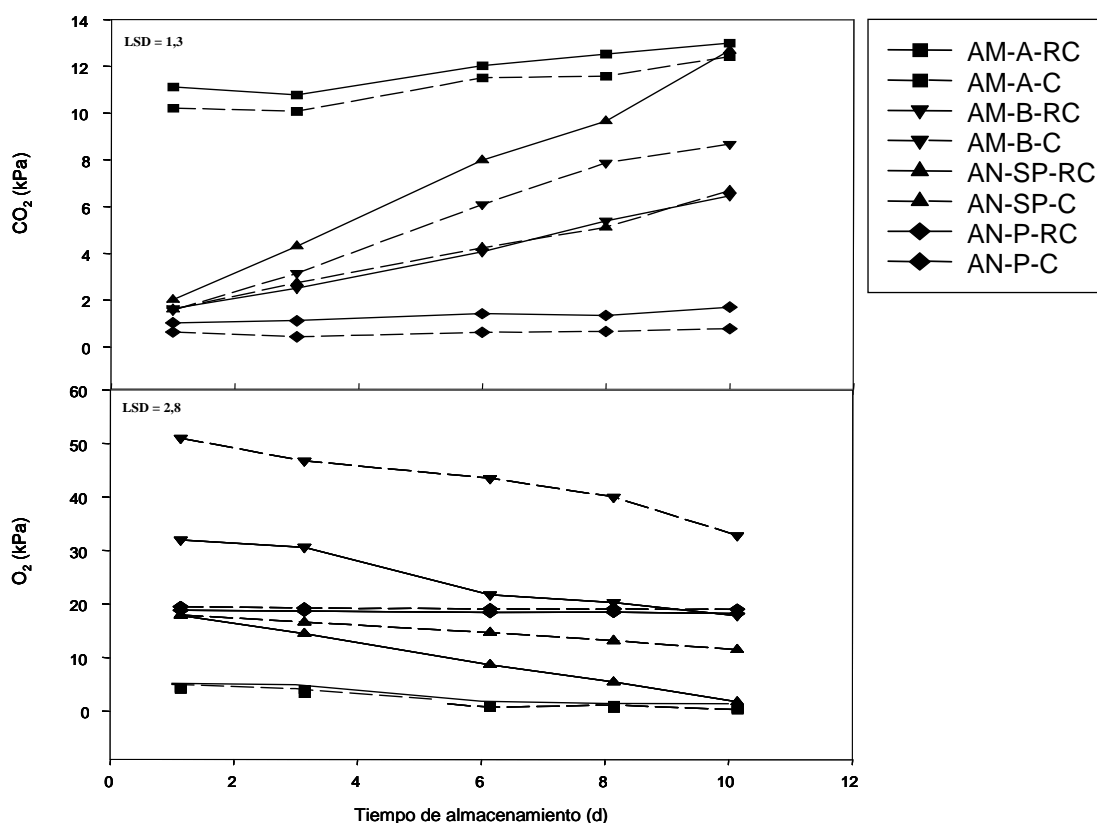


FIGURA 1. Concentraciones de dióxido de carbono y oxígeno en el envase de caqui 'Rojo brillante' fresco cortado durante el almacenamiento. Muestras recubiertas (RC, —) y muestras no recubiertas (C, ---).

Cuando las muestras de caqui se almacenaron en aire y con film perforado (AN-P), la composición de los gases se mantuvo entorno a 21 kPa

de O₂ y 0,03 de CO₂, confirmando la no modificación de la atmósfera en las barquetas. Sin embargo, la atmósfera en las barquetas de caquis envasados en atmósfera normal y film no perforado (AN-SP) presentó un brusco aumento de la concentración de CO₂ y una disminución de la concentración de O₂ como consecuencia de la respiración del caqui y la baja permeabilidad del film. Bajo estas condiciones de almacenamiento, las muestras recubiertas consumieron más rápidamente el O₂ del espacio de cabeza que las muestras no recubiertas, alcanzando a los 10 días de almacenamiento elevados valores de CO₂ (12 kPa) y bajos de O₂ (1-2 kPa), lo que indica que estas muestras presentaron una mayor tasa respiratoria que las muestras control. Gil et al. (1998) observó que la aplicación de ácido cítrico a rodajas de manzana conservadas bajo atmósferas normal (aire) provocó un aumento de la tasa respiratoria. Un efecto parecido se ha podido comprobar en este trabajo ya que las muestras fueron recubiertas con recubrimientos de PS que contenían ácido cítrico como antioxidante.

Color

Las Figuras 2 y 3 muestran el efecto de la aplicación del recubrimiento de PS y las AM en las coordenadas de color L* y a* en caqui 'Rojo brillante' minimamente procesado. El aumento durante el almacenamiento del pardeamiento enzimático de los trozos de caqui fue acompañado por un aumento de a* y una disminución de L*. Todos los tratamientos presentaron una brusca disminución de L* y un aumento de a* tras el primer día de almacenamiento, manteniéndose estos valores bastante constantes al aumentar el almacenamiento, a excepción de los caquis no recubiertos y almacenados en la AM-B que mostraron un continuo descenso del valor de L* durante todo el periodo de almacenamiento. En general, las muestras recubiertas presentaron valores más bajos de a* y valores más altos de L* que las muestras no recubiertas, lo que indica que el recubrimiento a base de PS y ácido cítrico fue efectivo controlando el pardeamiento del caqui cortado. Pérez-Gago et al. (2006) mostraron que el uso de recubrimientos a base de proteína del suero lácteo con ácido ascórbico fueron más efectivos reduciendo el pardeamiento enzimático de caqui 'Rojo brillante' cortado que la aplicación del antioxidante en solución acuosa.

La AM-A fue la más efectiva controlando el pardeamiento enzimático de los caquis troceados. Bajo esta atmósfera, no se observaron diferencias significativas para el valor L* entre las muestras recubiertas y no recubiertas, aunque los valores de a* sí que fueron más bajos para las muestras recubiertas que para las no recubiertas.

La AM-B resultó la menos efectiva controlando el pardeamiento enzimático del caqui troceado. Bajo estas condiciones, se indujo el pardeamiento de las muestras no recubiertas, presentando los valores más bajos de L* y los más altos de a*. La aplicación del recubrimiento dio lugar a valores mayores de L* y menores de a* en el caqui troceado. Esto podría ser debido al efecto del recubrimiento en el control del pardeamiento enzimático y/o a las menores concentraciones de O₂ que se alcanzaron en las barquetas de las muestras recubiertas (Figura 1). Algunos trabajos reportan

la efectividad de la aplicación de elevadas concentraciones de O_2 en el control del pardeamiento enzimático en productos mínimamente procesados como el caso del melón (Oms-Oliu et al., 2008) y lechuga (Escalona et al., 2006). La combinación de altas concentraciones de O_2 y ácido cítrico también resultó efectivo en la reducción del pardeamiento enzimático de patatas mínimamente procesadas (Limbo y Piergiovanni, 2006). Sin embargo, en otros productos como pera o mango cortado, la aplicación de elevadas concentraciones de O_2 indujo un mayor pardeamiento del tejido (Gorny et al., 2002; Poubol y Izumi, 2005).

Los caquis troceados no recubiertos y envasados en AN-SP también presentaron valores más bajos de L^* y más altos de a^* que las muestras control envasadas en AN-P, indicando que el caqui cortado se ve afectado negativamente con las concentraciones alcanzadas en estas condiciones. La aplicación del recubrimiento a base de PS controló ligeramente el pardeamiento del tejido mostrando valores más altos de L^* y más bajos de a^* que las muestras no recubiertas durante el mismo periodo de almacenamiento.

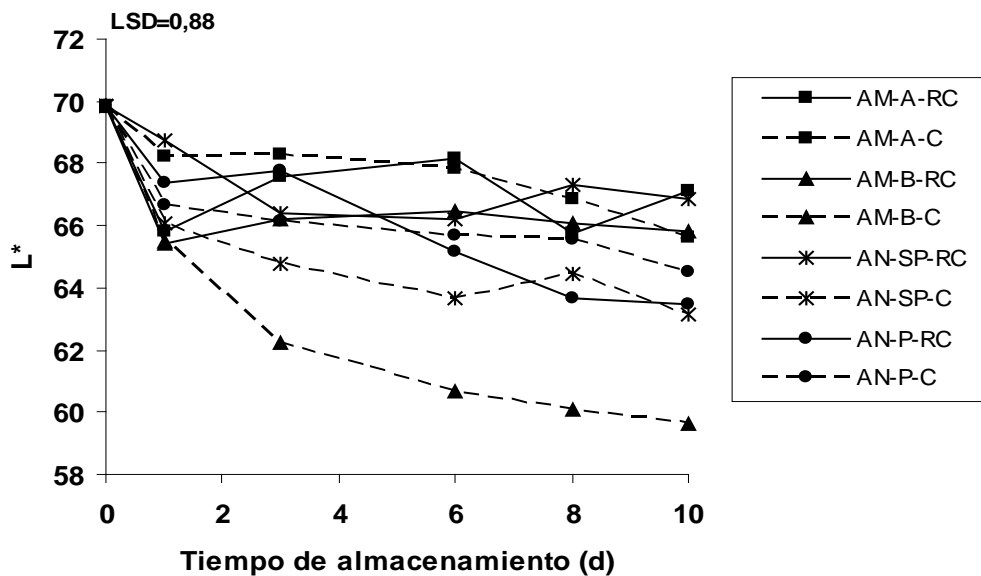


FIGURA 2. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de PS y el envasado en AM en la luminosidad (L^*) de caqui 'Rojo brillante' mínimamente procesado. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C).

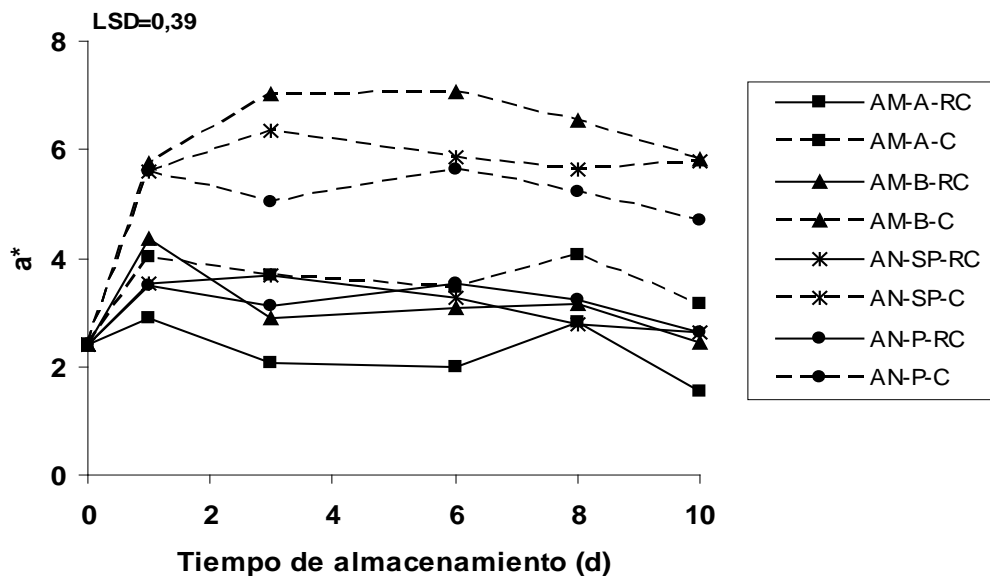


FIGURA 3. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de PS y el envasado en AM en los valores de a^* de caqui 'Rojo brillante' mínimamente procesado. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C).

Firmeza

Durante el almacenamiento, la firmeza del caqui troceado no se vio afectada ni por la aplicación del recubrimiento ni del envasado en las distintas AM (datos no presentados). Poubol y Izumi (2005) observaron que la aplicación de concentraciones altas de O_2 no fueron efectivas manteniendo la firmeza de mango fresco cortado.

Análisis sensorial

La Figura 4 muestra la calidad visual de los trozos de caqui, que engloba el color y aspecto general de los mismos. Las muestras no recubiertas fueron evaluadas por debajo del límite de comercialización tras el primer día de almacenamiento a 5 °C, mientras que recubiertas fueron mejor evaluadas durante todo el periodo de almacenamiento. El caqui 'Rojo brillante' mínimamente procesado y envasado en la AM-A fue evaluado como el mejor de todos los tratamientos aplicados, manteniéndose por encima del límite de comercialización hasta los 8-10 días de almacenamiento a 5 °C. Sin embargo, la aplicación de la AM-B redujo el periodo de comercialización del caqui troceado y recubierto a 3 días.

Las muestras recubiertas y envasadas en AM-A y AN-P fueron clasificadas como las menos pardeadas durante todo el almacenamiento (Figura 5), mientras que las muestras envasadas en la AM-B fueron clasificadas como las más pardeadas. Las muestras recubiertas fueron clasificadas siempre como menos pardeadas que las muestras no

recubiertas. Estos resultados corroboraron los valores obtenidos en la determinación del color (Figuras 2 y 3).

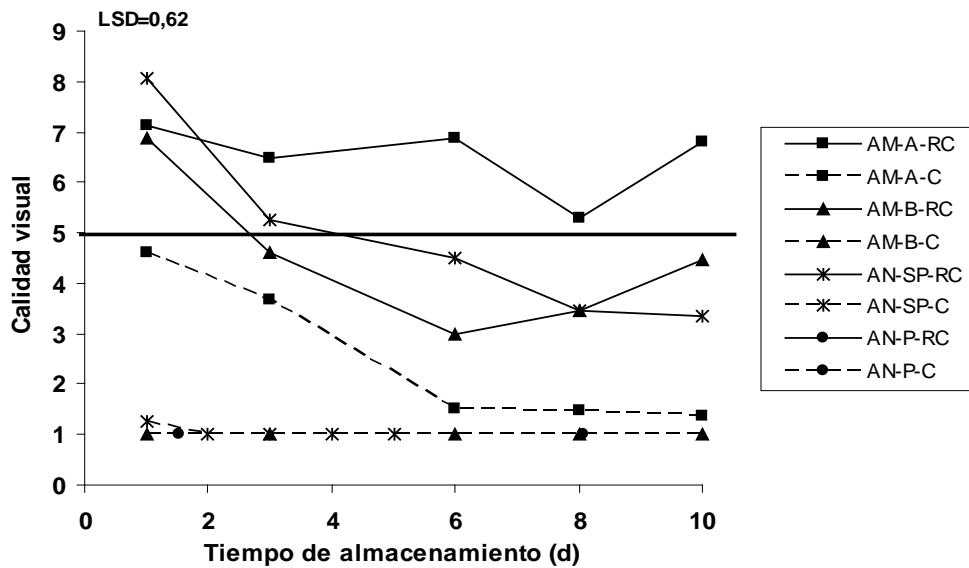


FIGURA 4. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible de PS y el envasado en AM en la calidad visual de caqui 'Rojo brillante' mínimamente procesado. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C).

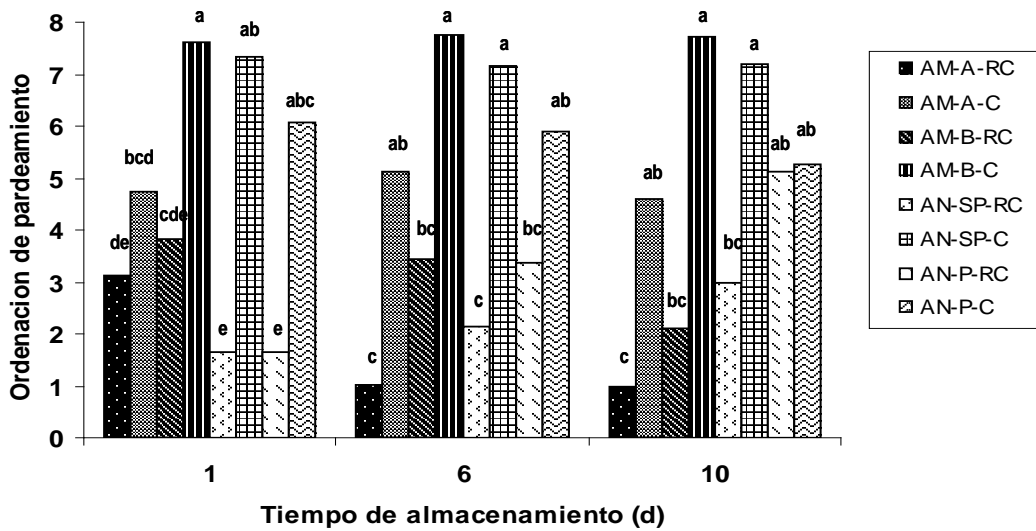


FIGURA 5. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible de PS y del envasado en AM en la ordenación del rango de pardeamiento de caqui 'Rojo brillante' mínimamente procesado. Ordenación de menor nivel de pardeamiento (1) a mayor nivel de pardeamiento (8). Para cada tiempo de almacenamiento, letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$.

Con el fin de determinar si el la aplicación del recubrimiento de PS es detectado en el consumo de caqui troceado, se planteó una prueba triangular que se repitió durante dos días diferentes, donde se presentaron a los jueces muestras recubiertas y no recubiertas. La Tabla 2 muestra el número de jueces que distinguieron la muestra diferente dentro de la triada. Los resultados indican que los jueces fueron capaces de distinguir entre las muestras de caqui recubiertas y no recubiertas a un nivel de significación del 99%. El elevado número de catadores que detectaron diferencias entre ambas muestras podría ser debido a que los ensayos se realizaron en muestras recién procesadas en las que el secado del recubrimiento requiere de más tiempo que las muestras control tan solo sumergidas en agua. Por tanto, sería necesario realizar este estudio con muestras tras distintos tiempos de almacenamiento para así poder concluir si la aplicación del recubrimiento es detectado por los jueces.

TABLA 2. Numero de respuestas correctas en la identificación de la muestra diferente en la prueba triangular.

Comparación	Sesión 1	Sesión 2
RC vs C	14/20**	13/17**

**diferencias significativas con un nivel de confianza del 1%. Muestras recubiertas (RC) frente a muestras no recubiertas (C).

Durante el almacenamiento, también se realizó una evaluación sensorial de las muestras de caqui troceadas donde los jueces evaluaron diferentes atributos. El caqui utilizado para el procesado fue evaluado como firme, sin malos sabores, con un sabor característico perceptible y un sabor global dentro del rango considerado como excelente (Tabla 3). A los 3 y 6 días de almacenamiento a 5 °C, las muestras procesadas y almacenadas en distintas AM no mostraron la aparición de malos sabores, mientras que con el aumento del tiempo de almacenamiento las muestras en general perdieron en textura y en el sabor global (Tabla 4). A los 3 días de almacenamiento se observaron diferencias significativas en el sabor característico, firmeza y sabor global entre los distintos tratamientos. En general, las muestras sin recubrimiento fueron ligeramente mejor evaluadas en cuanto al sabor característico que las muestras con recubrimiento. Este resultado se refleja también en la evaluación del 'sabor global' del caqui troceado. A los jueces se les pidió reflejar en la hoja de cata, si lo consideraban necesario, algún comentario sobre las muestras y en general se observó que la mayoría detectaban la presencia de ácido cítrico en las muestras recubiertas que enmascaraba bastante el sabor característico del caqui. Sin embargo, en ningún momento se consideró como la presencia de malos sabores en las muestras. A los 6 días de almacenamiento las diferencias significativas entre tratamientos para los distintos atributos desaparecieron, lo que indica que al aumentar el tiempo de almacenamiento

la presencia o no del recubrimiento no afecta a las características sensoriales del caqui 'Rojo brillante' mínimamente procesado.

TABLA 3. Evaluación sensorial del caqui 'Rojo brillante' en las muestras utilizadas para el procesado (muestra inicial).

Atributos	Valoración
Sabor característico	2,27
Malos sabores	0,00
Firmeza	3,87
Sabor global	7,27

Valores medios de n=20 jueces

TABLA 4. Evaluación sensorial del caqui 'Rojo brillante' mínimamente procesado a los 3 y 6 días de almacenamiento a 5 °C.

Tratamientos	Sabor característico		Malos sabores		Firmeza		Sabor global	
	día 3	día 6	día 3	día 6	día 3	día 6	día 3	día 6
AM-A-RC	1,35c	1,47a	0,30a	0,35a	3,10abc	2,59a	5,60c	5,24a
AM-A-C	1,80abc	1,53a	0,05a	0,12a	3,50a	3,06a	6,25abc	5,71a
AM-B-RC	1,65bc	1,41a	0,30a	0,24a	3,00bc	2,47a	6,00bc	5,18a
AM-B-C	2,10ab	1,59a	0,10a	0,18a	3,50a	2,71a	6,55ab	5,53a
AN-SP-RC	1,70c	1,82a	0,15a	0,18a	2,80c	3,00a	5,50c	5,65a
AN-SP-C	2,10a	1,82a	0,20a	0,12a	3,45ab	3,18a	6,60ab	6,12a
AN-P-RC	1,55abc	1,65a	0,35a	0,35a	2,70c	2,82a	5,60c	5,53a
AN-P-C	2,20ab	2,06a	0,05a	0,18a	3,35ab	2,88a	7,00a	6,06a

Para cada atributo y tiempo de almacenamiento, tratamientos con la misma letra no difieren significativamente ($p \leq 0,05$).

Capacidad antioxidante

La Tabla 5 muestra la capacidad antioxidante del caqui 'Rojo brillante' utilizado para el procesado (valor inicial) y del caqui fresco cortado sometido a los distintos tratamientos (aplicación / no aplicación del recubrimiento y condiciones de envasado en AM) a los 6 días de almacenamiento. Las muestras que presentaron menor capacidad antioxidante fueron las almacenadas en las AM-A, que corresponden a una atmósfera baja en oxígeno, con una pérdida alrededor de un 50% respecto al valor inicial.

En la bibliografía existen escasa información relativa a la capacidad antioxidante de caqui fresco y caqui troceado. Chen et al. (2008) determinó la capacidad antioxidante de caqui cv. 'Mopan', obteniendo valores mayores que los obtenidos en este trabajo para caqui 'Rojo brillante', por lo que las diferencias pueden ser debidas al cultivar. De Ancos et al. (2000) determinaron la capacidad antioxidante en puré de caqui 'Rojo brillante' sin eliminar la astringencia, obteniendo valores mayores de los obtenidos en este trabajo. La aplicación de elevadas concentraciones de CO₂, como tecnología para eliminar la astringencia del caqui 'Rojo brillante', hace que los taninos solubles pasen a insolubles, lo que puede dar lugar a un descenso de la capacidad antioxidante del producto. Distintos trabajos

muestran que la aplicación de concentraciones elevadas de CO₂ (Testoni, 2002; Wright y Kader, 1997), así como los procesos de pelado y corte de los productos hortofrutícolas (Lee y Kader, 2000) afectan enormemente a la degradación de compuestos antioxidantes como pueden ser polifenoles y vitamina C en las primeras horas de conservación del fruto.

De los resultados en este trabajo, se puede concluir que el almacenamiento del caqui 'Rojo brillante' en condiciones atmosféricas resulta el tratamiento más efectivo manteniendo la capacidad antioxidante del producto troceado. Sin embargo, se considera necesario seguir investigando sobre el efecto de los recubrimientos y atmósferas modificadas en la capacidad antioxidante del caqui 'Rojo brillante' mínimamente procesado.

TABLA 5. Capacidad antioxidante de caqui 'Rojo brillante' cortado en fresco a los 6 días de almacenamiento a 5 °C.

	EC50
Inicial	182,46a
AM-A-RC	414,40d
AM-A-C	362,27c
AM-B-RC	294,18b
AM-B-C	240,56ab
AN-SP-RC	227,95a
AN-SP-C	219,10a
AN-P-RC	181,92a
AN-P-C	220,11a

Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente ($p \leq 0,05$).

CONCLUSIONES

El envasado en la AM-A (11-12 kPa CO₂ + 3-5 kPa O₂) combinado con la aplicación del recubrimiento de PS, mostró un efecto sinérgico en el control del pardeamiento enzimático y mantuvo la calidad visual del caqui mínimamente procesado por encima del límite de comercialización durante 8-10 días de almacenamiento a 5 °C. La aplicación de elevadas concentraciones de O₂ (>30-50 kPa) no es recomendable para el almacenamiento de caqui cortado en fresco ya que provoca un pardeamiento del tejido. La aplicación del recubrimiento mejora el aspecto del caqui troceado durante el almacenamiento sin afectar negativamente la calidad sensorial del mismo.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido financiado por el Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias (INIA) mediante el proyecto RTA2006-001114-00-00. Los autores agradecen al Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias por financiar la beca predoctoral del doctorando Christian Ghidelli.

REFERENCIAS

- Arnal, L. and del Río M.A. 2003. Removing astringency by carbon dioxide and nitrogen-enriched atmospheres in persimmon fruit cv. Rojo brillante. *J. Food Sci.* 68:1516-1518.
- Baldwin, E.A.; Nisperos-Carriedo, M.O. and Baker, R.A. 1995. Use of edible coatings to preserve quality of lightly (and slightly) processed products. *Critical Rev. Food Sci. Nutr.* 35:509-524.
- Brand-Williams, W.; Cuvelier, M.E.; Berset, C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *L.W.T.* 28:25-30
- Chen, X.N.; Fan, J.F.; Yue X.; Wu, X.R.; Li, L.T. 2008. Radical scavenging activity and phenolic compound in persimmon (*Diospyros kaki* L. cv. Mopan). *Journal of food science.* 73(1):24-28.
- Escalona, V.H., Verlinden, B.E., Geysen, S. and Nicolai, B.M. 2006. Changes in respiration of fresh-cut butterhead lettuce under controlled atmospheres using low and superatmospheric oxygen conditions with different carbon dioxide levels. *Postharv. Biol. Technol.* 39:48-55.
- De Ancos, B.; Gonzalez, E.; Cano, P. 2000. Effect of high-pressure treatment on the carotenoid composition and the radical scavenging activity of persimmon fruit purees. *J. Agric Food Chem.* 48:3542-3548.
- Garcia, E. and Barrett, D.M. 2002. Preservative treatments for fresh-cut fruits and vegetables. p.267-303. In: Laminkara O. (ed), *Fresh-cut fruits and vegetable. Science, technology and market.* CRC Press. Boca Raton, Florida.
- Gil, M.I.; Gorny, J.R.; Kader, A.A. 1998a. Postharvest physiology and quality of 'Fuji' apple slices in response to ascorbic acid treatments and low-oxygen atmospheres. *HortScience.* 33:305-309.
- Gorny, J.; Hess-Pierce, B.; Cifuentes, R.; Kader, A.A. 2002. Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by controlled atmospheres and chemical preservatives. *Postharv. Biol. Technol.* 24:271-278.
- Kader, A.A and Ben-Yehoshua, S. 2000. Effects of superatmospheric oxygen levels on postharvest physiology and quality of fresh fruits and vegetables. *Postharv. Biol. Technol.* 20:1-13.
- Kinzel, B. 1992. Protein-rich edible coatings for food. *Agric. Res.* 40:20-21.
- Lee, S.K. and Kader, A.A. 2000. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. *Postharv. Biol. Technol.* 20:207-220.
- Limbo, S. and Piergiovanni, L. 2006. Shelf life of minimally processed potatoes. Part 1. Effects of high oxygen partial pressures in combination with ascorbic and citric acids on enzymatic browning. *Postharv. Biol. Technol.* 39:254-264.
- Oms-Oliu, G.; Martinez, R.; Soliva-Fortuny, R.; Martin-Belloso, O. 2008. Effect of superatmospheric and low oxygen modified atmospheres on shelf-life extension of fresh-cut melon. *Food Control.* 9:191-199.
- Oms-Oliu, G.; Odriozola-Serrano, I., R.; Soliva-Fortuny, R.; Martin-Belloso, O. 2008. Antioxidant content of fresh-cut pears stored in high-O₂ active packages compared with conventional low O₂ active and passive modified atmosphere packaging. *J. Agric. Food Chem.* 56:932-940.
- Pérez-Gago, M.B.; Argudo, C.; Mateos, M.; del Río, M.A. 2009. Reducing enzymatic browning of fresh-cut persimmon cv Rojo brillante by antioxidant application. *Acta Hort.* (In press).

- Pérez-Gago, M.B.; Serra, M.; del Río M.A. 2006. Color change of fresh-cut apples coated with whey protein concentrate-based edible coatings. *Postharv. Biol. Technol.* 39:84-92.
- Poubol, J. and Izumi, H. 2005. Physiology and microbiological quality of fresh-cut mango cubes as affected by high-O₂ controlled atmospheres. *J. Food Sci.* 70(6):286-291.
- Sanchez-Moreno, C.; Larrauri, J.A.; Saura-Calixto, F. 1998 A procedure to measure the antiradical efficiency of polyphenols. *J. Food Sci. Agric.* 76:270-276.
- Testoni, A. 2002. Postharvest and processing of persimmon fruit. In: Bellini, E.; Giordani, E. (eds). *First Mediterranean Symposium on Persimmon*. Chiem-Options Mediterraneenes. Montpellier, France, 51:53-70.
- UNE 87 006, 1995. Metodología Prueba triangular. In: AENOR (Ed.), *Análisis sensorial*. Tomo 1, Alimentación, 82-91.
- UNE 87 023, 1995. Ensayo de clasificación por ordenación. In: AENOR (Ed.), *Análisis Sensorial*. Tomo 1, Alimentación, 151-166.
- Wright, K.M. and Kader, A.A. 1997. Effect of slicing and controlled-atmosphere storage on the ascorbate content and quality of strawberries and persimmons. *Postharv. Biol. Technol.* 10:39-48.