

EFECTO DEL TRATAMIENTO HIGIENIZANTE, RECUBRIMIENTO COMESTIBLE Y ENVASADO EN ATMOSFERAS MODIFICADAS EN EL CONTROL DEL PARDEAMIENTO EN ALCACHOFA (*Cynara scolimus*) CORTADA EN FRESCO.

MASTER EN GESTION Y SEGURIDAD ALIMENTARIA

Alumna:

Teresa Romero Pintado

Directora:

Dra. María Bernardita Pérez-Gago

Tutora:

Dra. M^a Dolores Ortolá Ortolá

Centro:

Centro de Tecnología Poscosecha - IVIA

EFFECTO DEL TRATAMIENTO HIGIENIZANTE, RECUBRIMIENTO COMESTIBLE Y ENVASADO EN ATMÓSFERAS MODIFICADAS, EN EL CONTROL DEL PARDEAMIENTO ENZIMÁTICO EN ALCACHOFA (*Cynara scolymus*) CORTADA EN FRESCO.

Teresa Romero Pintado, María Bernardita Pérez-Gago^{1,2} M^a Dolores Ortola Ortola³.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo ha sido evaluar el efecto de un recubrimiento a base de proteína de soja y cisteína en combinación con el envasado en atmósferas modificadas (AM), para el control del pardeamiento enzimático de alcachofa cortada en fresco. En una primera experiencia, tras la eliminación de los tallos y brácteas externas, se cortó el producto en láminas y se sumergió en el recubrimiento, o en agua como control. Las muestras fueron envasadas 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: 80 kPa O₂). Las muestras se almacenaron a 5 °C durante tres días. En el periodo de almacenamiento se evaluó de manera periódica los cambios de la atmósfera en el interior del envase, color (coordenadas CIELAB, L*, a*, b*), pérdida de peso, análisis sensorial y capacidad antioxidante de alcachofa mínimamente troceada. La aplicación de AM (AM-A y AM-B) dañaron el tejido del producto dando lugar a un aumento del pardeamiento. Sin embargo el envasado en atmósferas normales (AN-SP) junto a la aplicación del recubrimiento resultó efectiva en el control del pardeamiento, con una menor pérdida de peso y manteniendo la calidad visual hasta el segundo día de almacenamiento. En una segunda experiencia, el producto se procesó sumergido en una solución antioxidante de ácido cítrico. Posteriormente, tras un proceso de higienización, se aplicó el recubrimiento, o la solución acuosa de cisteína. Como control las muestras se sumergieron en agua. El envasado se realizó con film de PP en atmósfera normal sin perforaciones (AN-SP), y las bandejas se almacenaron a 5 °C durante 3 días. Se evaluaron los mismos parámetros y se realizó un análisis microbiológico. La aplicación de cisteína en solución acuosa o incorporada al recubrimiento resultó efectiva en el control del pardeamiento enzimático. La aplicación de un agente higienizante mantuvo la carga bacteriana dentro del límite aconsejado.

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. Instituto Universitario de Ingeniería de Alimentos para el Desarrollo. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia

PALABRAS CLAVE: alcachofa mínimamente procesada, pardeamiento enzimático, recubrimiento comestible, antioxidantes, atmósfera modificada.

RESUM

L'objectiu d'aquest treball ha sigut avaluar l'efecte d'un recobriment a base de proteïna de soia i cisteïna en combinació amb l'envasat en atmòsferes modificades (AM) per al control del pardetjament enzimàtic de la carxofa tallada en fresc. En una primera experiència, després de l'eliminació de les tiges i bràctees externes, es va tallar el producte en làmines i es va submergir amb el recobriment, o amb aigua com a control. Les mostres es van envasar en safates de polipropilè (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 mesclures gasoses (AM-A: 15 kPa CO₂ + 5 kPa O₂; AM-B: 80 kPa O₂). Les mostres es van emmagatzemar a 5 °C durant un període de 3 dies, avaluant-se de manera periòdica la composició de l'atmòsfera en l'interior de l'envàs, el color (coordenades CIELAB L*, a*, b*), la pèrdua de pes, la capacitat antioxidant total i l'anàlisi sensorial de carxofa mínimament trossejada. L'aplicació d'AM (AM-A y AM-B) van danyar el teixit del producte donant lloc a un augment del pardetjament. No obstant l'envasat en atmòsferes normals (AN-SP) va resultar efectiu al control del pardetjament, amb una menor pèrdua de pes i mantenint la qualitat visual fins al segon dia d'emmagatzematge. En una segona experiència, el producte es va processar submergit a una solució antioxidant d'àcid cítric. Després d'una higienització es va aplicar el recobriment, o la solució aquosa de cisteïna. Com a control les mostres es submergiren en aigua. L'envasat es realitzà amb film de PP en atmòsfera normal sense perforar (AN-SP), i les mostres es van emmagatzemar a 5 °C durant 3 dies. Es van avaluar els mateixos paràmetres i es va realitzar un anàlisi microbiològic. L'aplicació de cisteïna en solució aquosa incorporada al recobriment va resultar efectiva al control del pardetjament enzimàtic. L'aplicació de l'agent higienitzant va mantindre la càrrega bacteriana dins del límit recomanat.

PARAULES CLAU: carxofa mínimament processada, pardetjament enzimàtic, recobriment comestible, antioxidant, atmòsfera modificada

ABSTRACT

The purpose of this work was to evaluate the effect of a coating based on soy protein and cysteine in combination with modified atmosphere packaging, on enzymatic browning of fresh cut artichoke. In a first experiment, after removing the stalks and outer bracts, the product was cut into slices and dipped in the coating, or water as a control. Samples were then packed in polypropylene (PP) trays with air and sealed with perforated PP film (AN-P) or non-perforated PP film (AN-SP), or in two gas mixtures (AM-A: 15 kPa CO₂ + 5 kPa O₂; AM-B: 80 kPa O₂). Samples were stored at 5 °C for 3 days. Changes in atmosphere composition in the trays, color (CIELAB color parameters L*, a*, b*), antioxidant capacity, and sensorial analysis of the artichoke were evaluated during storage. Storage in AM-A and AM-B damaged the tissue of the samples increasing browning. Whereas, coated samples packed in the AN-SP reduced weight loss and browning during 3 days of storage. In a second experiment, after a sanitizer treatment, samples were dipped in the coating, the antioxidant

aqueous solution, or in water (control), packed in the AN-SP and stored at 5°C for 3 days. Cysteine application, alone or incorporated into the coating, was effective controlling enzymatic browning of fresh-cut artichoke. Sanitation of the product maintained the microbial growth below the limit established by legislation.

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

INTRODUCCIÓN

La alcachofa es una planta originaria de la región mediterránea, de donde se obtiene el 95% de la producción mundial. Es un vegetal característico de la dieta mediterránea con elevado contenido en fibra, vitamina C y polifenoles. Estos últimos destacan por sus propiedades antiinflamatorias, diuréticas, hipocolesterólicas, hepatoprotectoras y antioxidantes (Lattanzio et al., 2005).

La alcachofa experimenta un proceso de pardeamiento enzimático tras las lesiones mecánicas y fisiológicas sufridas en el procesado y almacenamiento, y representa el principal problema para la comercialización de esta hortaliza en IV gama. Se plantea la necesidad de prevenir estos cambios, de manera que mantenga una palatabilidad y calidad aceptable para el consumidor, que demanda cada vez más alimentos naturales, frescos, saludables y fáciles de preparar.

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 y la cisteína, así como la aplicación de atmósferas modificadas (AM). Los inhibidores químicos se clasifican en función de su acción sobre la enzima PPO, el sustrato o los productos de la reacción PPO antes de que puedan dar lugar a la formación de productos del pardeamiento. La cisteína es un agente reductor que inhibe el pardeamiento enzimático previniendo la formación de compuestos coloreados, reaccionando con intermediarios de la quinona para formar componentes estables e incoloros (Lamikanra, 2002). También puede realizar una inhibición directa de la PPO formando componentes estables con el cobre (Nicolas et al., 1994)

En trabajos recientes, la aplicación de cisteína resultó más efectiva controlando el pardeamiento enzimático de berenjena, en comparación con otros compuestos antioxidantes como el ácido cítrico, ácido peracético o el 4-hexilresorcinol (Pérez-Gago et al., 2009). Ghidelli et al. (2008) comprobaron también la efectividad de la cisteína en alcachofa. Iyidogan y Bayindirli (2003) concluyeron que la cisteína era el agente anti-pardeante más importante en el zumo de manzana.

Tras el envasado continúa el proceso de respiración celular, consumiendo el O₂ existente y generando CO₂. La presencia de O₂ es necesaria para que se produzca la reacción de pardeamiento. Uno de los tratamientos físicos existentes para prevenirla, consiste en la aplicación de AM. En trabajos recientes se ha observado que el envasado en AM con bajas concentraciones de O₂ y altas de CO₂ ha sido recomendado para varios productos mínimamente procesados por su acción reduciendo la tasa respiratoria y las reacciones enzimáticas que dan lugar al pardeamiento del tejido (Artés, et al., 1998). Sin

embargo, 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).

Es reconocido que la efectividad de las AM depende del producto, del cultivo y de su estado fisiológico, y en el caso de la alcachofa, existen escasos trabajos que estudien el efecto de AM en la calidad del producto cortado.

Otra alternativa para poder prolongar aún más la vida útil de las hortalizas mínimamente 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, pero su naturaleza hidrofílica requiere la adición de lípidos que mejore la barrera a la humedad. La cera de abeja, incluida en la lista de productos GRAS (Generally Recognized as Safe), ha mostrado compatibilidad con otros componentes de los recubrimientos (Greener y Fennema, 1992). 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 alcachofa mínimamente procesada.

Por lo tanto, el objetivo de este trabajo ha sido en una primera parte, 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 en alcachofa fresca troceada. En una segunda experiencia, se ha elegido el tratamiento que mejores resultados ha dado y se le ha incorporado un tratamiento higienizante.

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). La proteína se desnaturizó en un baño de agua a 90 °C durante 30 minutos. La cera de abeja se añadió en un 40% (base seca) a la solución de proteína caliente, y como plastificante se añadió glicerol (Panreac Química, S.A., España). El ratio proteína-plastificante fue de 2 partes de PS - 1 parte de glicerol y este ratio se mantuvo constante durante todo el estudio. Se incorporó a la solución cisteína (SAFE Supply Solutions, USA) al 0,5% (w/v). Finalmente, se añadió agua a la emulsión para alcanzar un contenido en sólidos total de 7,5%.

Selección, preparación y elaboración de la hortaliza

La alcachofa “Blanca de Tudela” fue suministrada por un productor local. Las alcachofas se limpiaron, se eliminaron las hojas externas y la parte de la copa y el tallo. Se trocearon en láminas y finalmente se sumergieron en el recubrimiento o en agua, como tratamiento control, durante 3 minutos. Previo al envasado, las alcachofas se dejaron secar del exceso de recubrimiento superficial. Para cada tratamiento se procesaron un máximo de 25 piezas 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 alcachofa 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 (AM-A: 15 kPa CO₂ + 5 kPa O₂ + 80kPa N₂; AM-B: 80 kPa O₂ + 20 kPa NO₂). Posteriormente las bandejas se almacenaron a 5 °C durante 3 días.

En la segunda experiencia se procedió a lavar y eliminar de igual manera las partes externas, copa y tallo de las alcachofas, para después realizar el troceado en láminas en inmersión en una solución antioxidante (1 % ácido cítrico a pH 2,32). Posteriormente, se realizó un tratamiento higienizante con hipoclorito sódico (150 ppm) durante 2 minutos. Las condiciones operativas de la higienización fueron de pH 6,5 añadiendo ácido cítrico a la solución higienizante, y con un potencial redox de 680 mV. A continuación parte de las muestras se sumergieron en el mismo recubrimiento utilizado en la primera experiencia, o en solución acuosa de cisteína (0,5%) durante 3 min. Como control las muestras se sumergieron en agua en las mismas condiciones operativas. Las muestras se dejaron secar en bandeja. El envasado se realizó con film de PP en una atmósfera normal sin perforaciones (AN-SP), y las bandejas se almacenaron a 5 °C durante 3 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, Italia) 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 3 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 alcachofas por tratamiento utilizando las coordenadas de color CIELAB (L*, a* y b*).

Análisis sensorial

Durante el almacenamiento se realizó una evaluación visual del las alcachofas frescas cortadas 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 menor a mayor 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 alcachofa con esta escala. Los tratamientos se presentaron a los jueces de manera aleatoria y cada tratamiento presentaba una media de 8 trozos de alcachofa para reducir la heterogeneidad entre piezas.

Medida del peso

La pérdida de peso se determinó al término del almacenamiento mediante el pesado de 12 piezas por tratamiento. Los resultados se expresaron en porcentaje de pérdida de peso respecto al peso inicial.

Análisis microbiológico

De cada tratamiento se tomaron 10 g de muestra homogénea de las tres bandejas y se introdujeron en bolsas estériles para Stomacher. En la bolsa se introdujeron 90 ml de solución tampón fosfato estéril a pH 7 y se homogeneizó en el Stomacher (Modelo 400 Circulator, Seward, Reino Unido) a 260 rpm durante 2 minutos obteniéndose la dilución cero, D0. Se hizo un banco de diluciones añadiendo 0,5 ml de D0 a un tubo de ensayo 4,5 ml de tampón estéril (D1), y de esta lo mismo a D2. De cada tratamiento se realizaron 3 réplicas.

Se tomaron 0,1 ml de cada dilución, se sembraron por duplicado en superficie de placas petri estériles de 90 mm con medio PCA (Plate Count Agar) (Sigma Aldrich, USA) y se incubaron durante 48 h a 35 °C. Tras realizar el conteo de colonias en placas petri, los resultados se expresaron en \log_{10} UFC/g.

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 80%. La solución se homogenizó 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 alcachofa. 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 Scientific, Finlandia). 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). Se determinaron las diferencias significativas a un nivel de confianza del 95%.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Experiencia 1

Atmósfera en el envase

La figura 1 muestra la evolución de la atmósfera interna (O₂ y CO₂) en los envases durante el almacenamiento de la alcachofa fresca cortada. En general, al disminuir la concentración de O₂ de la atmósfera de conservación se inhiben o reducen las reacciones enzimáticas de pardeamiento y al aumentar la concentración de CO₂ se inhibe la síntesis de metabolitos fenólicos, substratos de la PPO que han sido inducidos como consecuencia del daño producido por el corte (Ke y Saltveit, 1989; Mateos et al., 1993). Las muestras envasadas en la atmósfera B (80 kPa O₂ + 20 kPa N₂) presentan una elevada actividad respiratoria con un brusco incremento inicial en la producción de CO₂ y un descenso de los niveles de O₂ alcanzando al final del almacenamiento valores de 25 kPa. En las primeras 24 horas de almacenamiento las muestras envasadas en AM-A (15 kPa CO₂ + 5 kPa O₂ + 80 kPa N₂) consumen el O₂ disponible en el espacio de cabeza del envase, alcanzando niveles inferiores a 1 kPa, manteniéndolos durante el resto del almacenamiento. Las muestras

envasadas en AN-SP consumen casi todo el O₂ inicial ya el primer día, presentando también una intensa producción de CO₂. Para cada condición de envasado, no se observan diferencias entre las muestras recubiertas y no recubiertas.

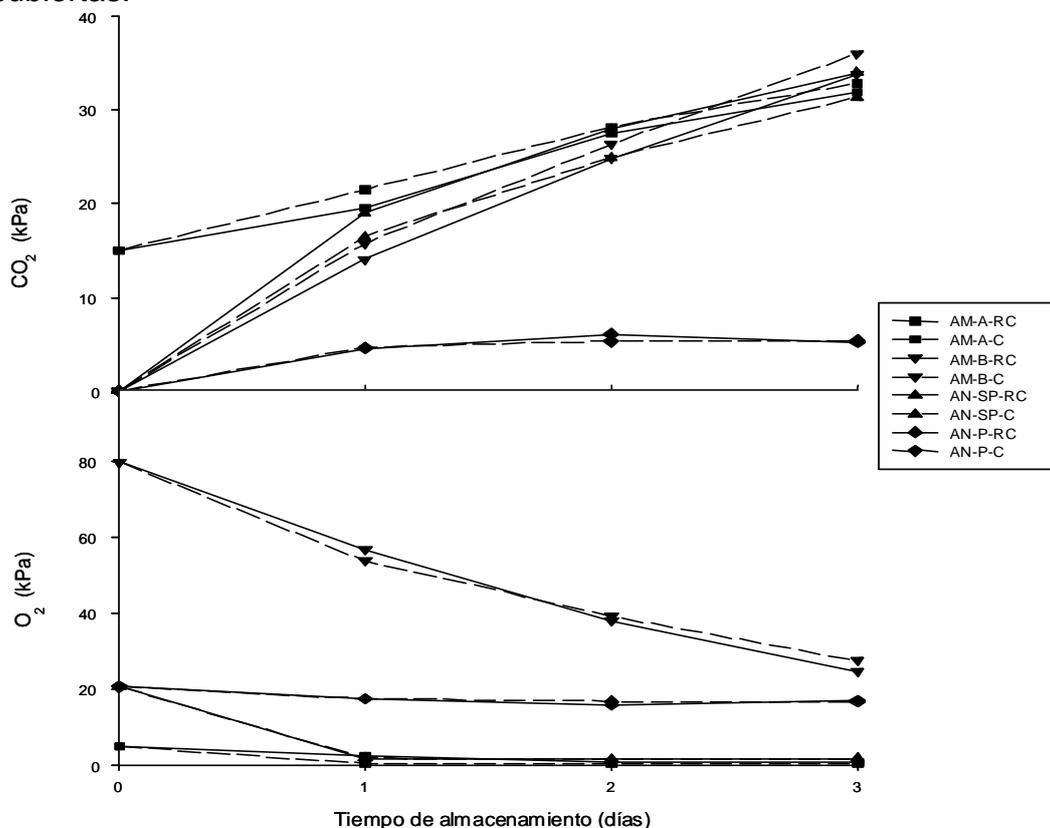


FIGURA 1. Concentraciones de dióxido de carbono y oxígeno en el envase de alcachofa mínimamente procesada durante el almacenamiento a 5°C. Muestras recubiertas (RC,—) y muestras no recubiertas (C, --).

Color

Las Figuras 2, 3, 4 muestran el efecto de los tratamientos en las coordenadas de color L*, a* y b* de alcachofa fresca cortada. El procesado de la alcachofa da lugar al pardeamiento enzimático del tejido que aumenta con el almacenamiento. Las muestras recubiertas presentan valores de L* significativamente más elevados y de a* más bajos que las muestras no recubiertas. Ghidelli et al. (2009 a) también muestran resultados similares en berenjena mínimamente procesada tratada con recubrimiento de SP y cisteína. Sin embargo en manzana troceada, la aplicación de recubrimientos a base de SP, solos o combinados con ácido málico o láctico, no presentaron la misma efectividad en el control del pardeamiento enzimático (Eswaranandam et al., 2006).

Comparando las muestras recubiertas, aquellas envasadas en AN-SP presenta valores más altos de L* y más bajos de a* durante todo el periodo de almacenamiento, resultando la condición de envasado más efectiva en el control del pardeamiento enzimático de alcachofa mínimamente procesada. Las muestras sin recubrir y en AN-P (AN-P-C) fueron las más pardeadas de todas, con valores más bajos de L* y más altos de a*. La aplicación de las AM

A y B, no contribuyeron significativamente en el control del pardeamiento de alcachofa cortada en fresco. No obstante, en algunos trabajos se observa el efecto reductor del pardeamiento que tienen las atmósferas con bajos niveles de O₂ en productos como mango (Poubol e Izumi, 2005). Ghidelli et al. (2009 b) comprobaron que el envasado con bajas concentraciones de O₂ (3-5 kPa O₂ + 11-12 kPa CO₂) en combinación con recubrimiento de PS, mostraron un efecto sinérgico controlando el pardeamiento de caqui mínimamente procesado. Por otra parte, el tratamiento con ácido cítrico y el envasado con altas concentraciones de O₂ resultaron efectivas en la reducción del pardeamiento enzimático de patatas mínimamente procesadas (Limbo y Piergiovanni, 2006).

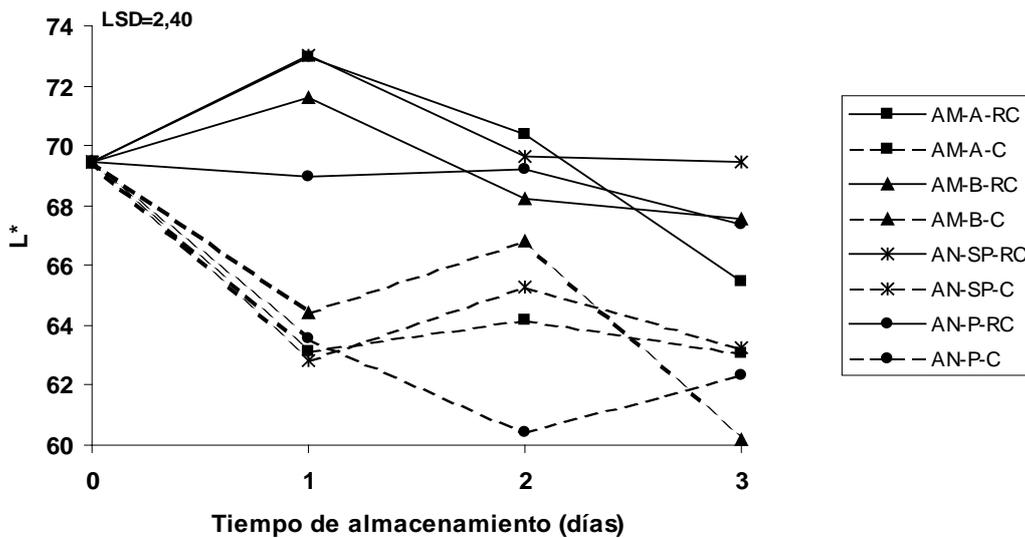


FIGURA 2. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de PS y el envasado en AM en la luminosidad (L*) de alcachofa mínimamente procesada. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C).

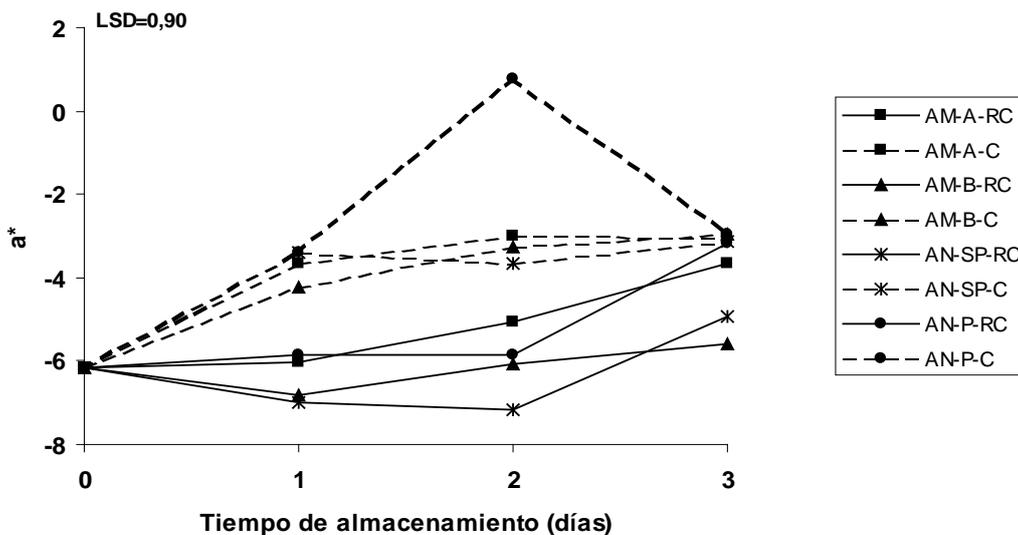


FIGURA 3. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de PS y el envasado en AM en los valores de a* de alcachofa mínimamente

procesada. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C).

La Figura 4 muestra los valores de b^* de los distintos tratamientos. Las muestras recubiertas presentan valores más elevados que las no recubiertas. Esto puede ser debido a que la presencia de cisteína en el recubrimiento indujo la aparición de una tonalidad amarilla en las alcachofas troceadas.

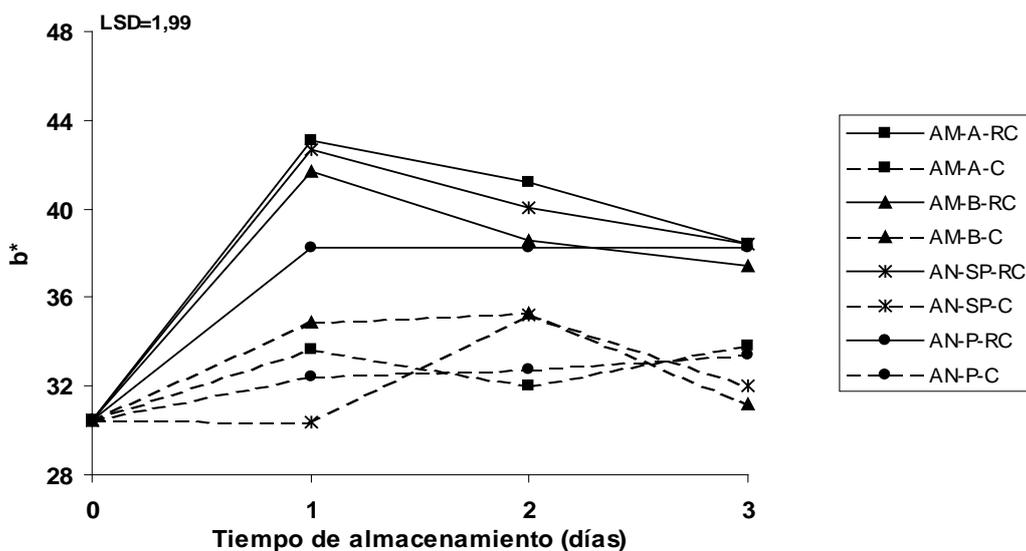


FIGURA 4. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible a base de PS y el envasado en AM en los valores de b^* de alcachofa mínimamente procesada. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C).

Análisis sensorial

En la Figura 5 se muestra la calidad visual de los trozos de alcachofa, que engloba el color y aspecto general de los mismos. Las muestras recubiertas fueron las mejor evaluadas durante todo el periodo de almacenamiento, mientras que las no recubiertas fueron evaluadas por debajo del límite de comercialización ya el primer día de almacenamiento a 5 °C. Las muestras de alcachofa con recubrimiento y envasadas en AN-SP fueron evaluadas como el mejor de todos los tratamientos aplicados, manteniéndose por encima del límite de comercialización hasta el día 2 de almacenamiento. Sin embargo, tras el segundo día de almacenamiento, ningún tratamiento alcanza el límite de comercialización. La aplicación de las AM A y B no contribuyeron a mejorar el aspecto de las muestras .

Las muestras recubiertas y envasadas en AN-SP y AM-B fueron clasificadas como las menos pardeadas durante todo el almacenamiento (Figura 6), mientras que las muestras control (AN-P) y las no recubiertas envasadas en atmósfera con alto contenido en CO₂ (AM-A) fueron clasificadas como las más pardeadas. Dentro de las muestras envasadas en las mismas condiciones atmosféricas, las muestras recubiertas fueron clasificadas siempre como menos pardeadas que las muestras no recubiertas.

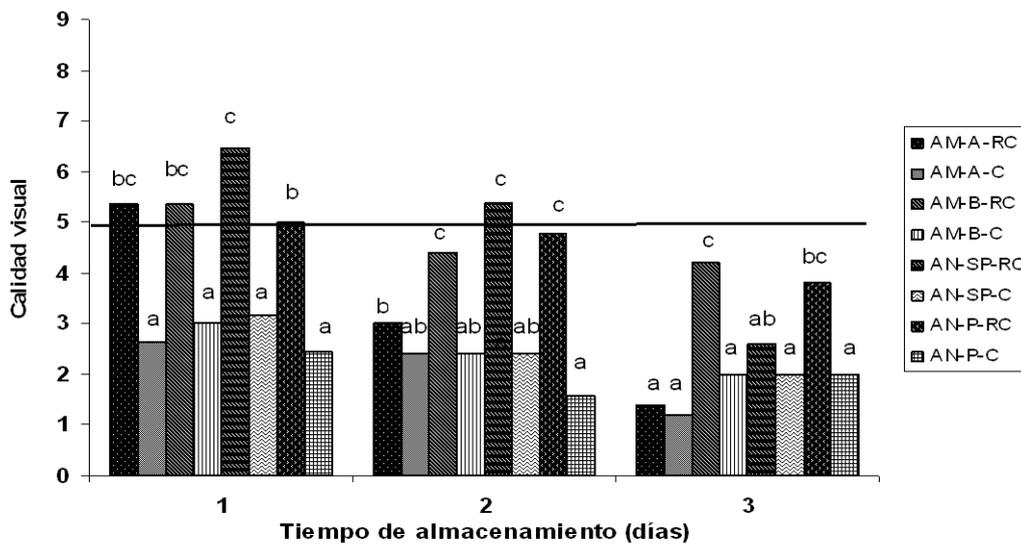


FIGURA 5. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible de PS y el envasado en AM en la calidad visual de la alcachofa mínimamente procesada. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C). Para cada tiempo de almacenamiento, letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$.

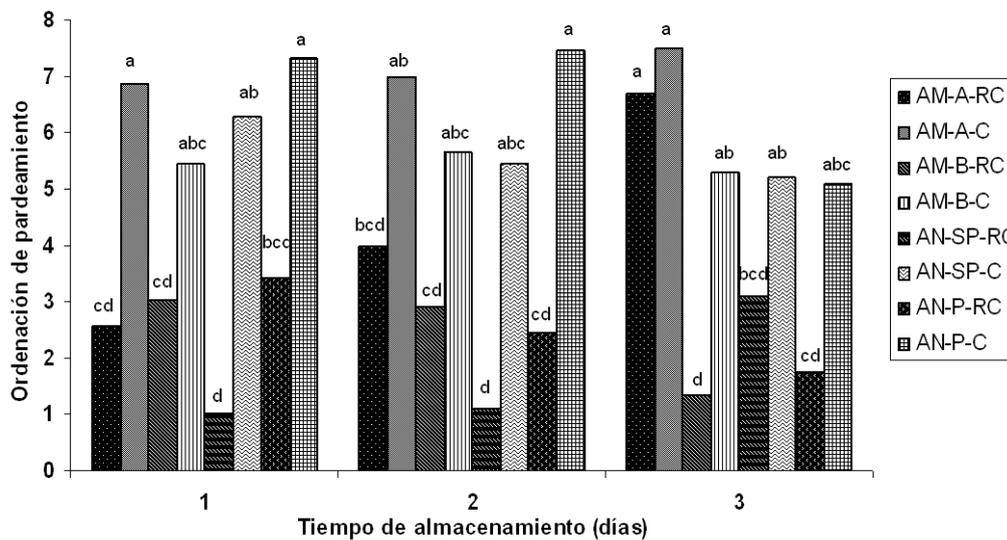


FIGURA 6. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible de PS y del envasado en AM en la ordenación del rango de pardeamiento de la alcachofa mínimamente procesada. Ordenación de menor nivel de pardeamiento (1) a mayor nivel de pardeamiento (8). Para cada tiempo de almacenamiento, letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$.

Pérdida de peso

La figura 7 muestra la pérdida de peso en alcachofa mínimamente procesada a lo largo del almacenamiento. Las muestras envasadas en AM A y B, con o sin recubrimiento, mostraron una mayor pérdida de peso, de aproximadamente un 2%. En comparación, las muestras envasadas en una atmósfera normal presentaron una pérdida de peso inferior al 1%, en particular el tratamiento AN-SP-RC tuvo una pérdida de peso significativamente menor al resto.

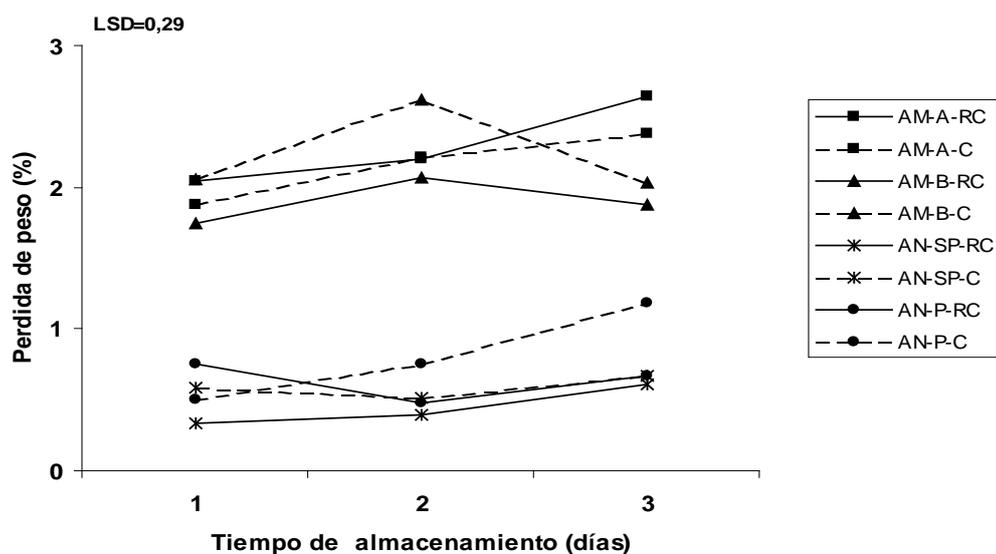


FIGURA 7. Efecto de la aplicación de un recubrimiento comestible de PS y del envasado en AM en la pérdida de peso alcachofa mínimamente procesada. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C).

Capacidad antioxidante

La Tabla 1 muestra los valores de capacidad antioxidante de alcachofa antes de procesar y de la alcachofa fresca cortada sometida a los distintos tratamientos (aplicación / no aplicación del recubrimiento y condiciones de envasado) tras 1 y 3 días de almacenamiento. Tras 1 día de almacenamiento, las muestras que presentaron menor capacidad antioxidante fueron las alcachofas sin recubrir envasadas en atmósfera rica en oxígeno (AM-B-C) y en AN-P, con una pérdida de alrededor de un 40% respecto al valor inicial. Sin embargo, la aplicación del recubrimiento en estas condiciones de envasado (AM-B y AN-P) mantuvo los valores de capacidad antioxidante cercanos al inicial. A los 3 días de almacenamiento, los valores de EC50 se mantienen respecto al primer día, excepto en el caso de la alcachofa envasada en atmósfera normal perforada, que presentaron menor capacidad antioxidante (mayores valores de EC50). En ambos periodos de almacenamiento, las muestras envasadas en AM-A-C presentaron mayor capacidad antioxidante. En la bibliografía no existen trabajos que aporten información sobre valores de capacidad antioxidante en alcachofa mínimamente procesada. En otros productos de IV gama se encuentra escasa información al respecto; sin embargo, Oms-Oliu et al. (2008) observaron que la aplicación de bajas

concentraciones de O₂ en pera mínimamente procesadas mantuvo una elevada capacidad antioxidante respecto a los tratamientos con altos porcentajes de O₂ o atmósferas pasivas. Estos resultados corroboran los obtenidos en esta primera experiencia.

TABLA 1. Capacidad antioxidante de alcachofa “Blanca Tudela” cortada en fresco tras 1 y 3 días de almacenamiento a 5 ° C (valores expresados como EC50).

Tratamiento	EC 50 (mg/g DPPH*)	
	1 día - 5 °C	3 días - 5 °C
AM-A-RC	15,6b	14,53bc
AM-A-C	9,18a	11,52a
AM-B-RC	16,53b	15,09bc
AM-B-C	21,85c	13,74ab
AN-SP-RC	15,94b	16,53cd
AN-SP-C	15,90b	13,39ab
AN-P-RC	13,50b	20,89e
AN-P-C	20,83b	18,90de

Valor inicial de la alcachofa EC50:15 mg / g DPPH*

Tratamientos con la misma letra no difieren significativamente (p≤0,05)

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en esta experiencia podemos concluir que la aplicación del recubrimiento redujo el pardeamiento enzimático de la alcachofa cortada. En particular el tratamiento AN-SP-RC obtuvo los mejores resultados, siendo la mejor evaluada por los jueces en el análisis visual. Además, experimentó a lo largo del envasado una menor pérdida de peso, alcanzando en el interior del envase una atmósfera similar a las recomendadas en bibliografía para otros productos cortados (Cantwell, 1992 y 1996; Ahvenainen, 1996; Varoquax et al., 1996; Gorny et al., 1998). Por tanto, se define una segunda experiencia aplicando el recubrimiento de PS y envasado en atmósfera pasiva (AN-SP). Teniendo en cuenta la alta susceptibilidad al pardeamiento enzimático de la alcachofa que se inicia en el proceso de corte, se intentó optimizar el proceso realizando el corte de la alcachofa en una solución de ácido cítrico (corte bajo inmersión en cítrico) y se incluyó un proceso de higienización de la alcachofa. Durante el almacenamiento se analizaron los mismos parámetros que se estudiaron en la experiencia anterior, incluyendo el análisis microbiológico de las muestras.

Experiencia 2

Atmósfera en el envase

La Figura 8 muestra la evolución de la atmósfera (O₂ y CO₂) en los envases de alcachofa mínimamente procesada durante el almacenamiento. Todos los tratamientos mostraron un aumento del nivel de CO₂ durante el almacenamiento, alcanzando niveles aproximados a 30 kPa. Las muestras con recubrimiento y las tratadas con cisteína, presentaron los valores más bajos. Al igual que en la primera experiencia, se observó un descenso brusco del nivel

de O_2 alcanzando valores entre los 2-3 kPa, manteniéndose constante en los restantes días de almacenamiento.

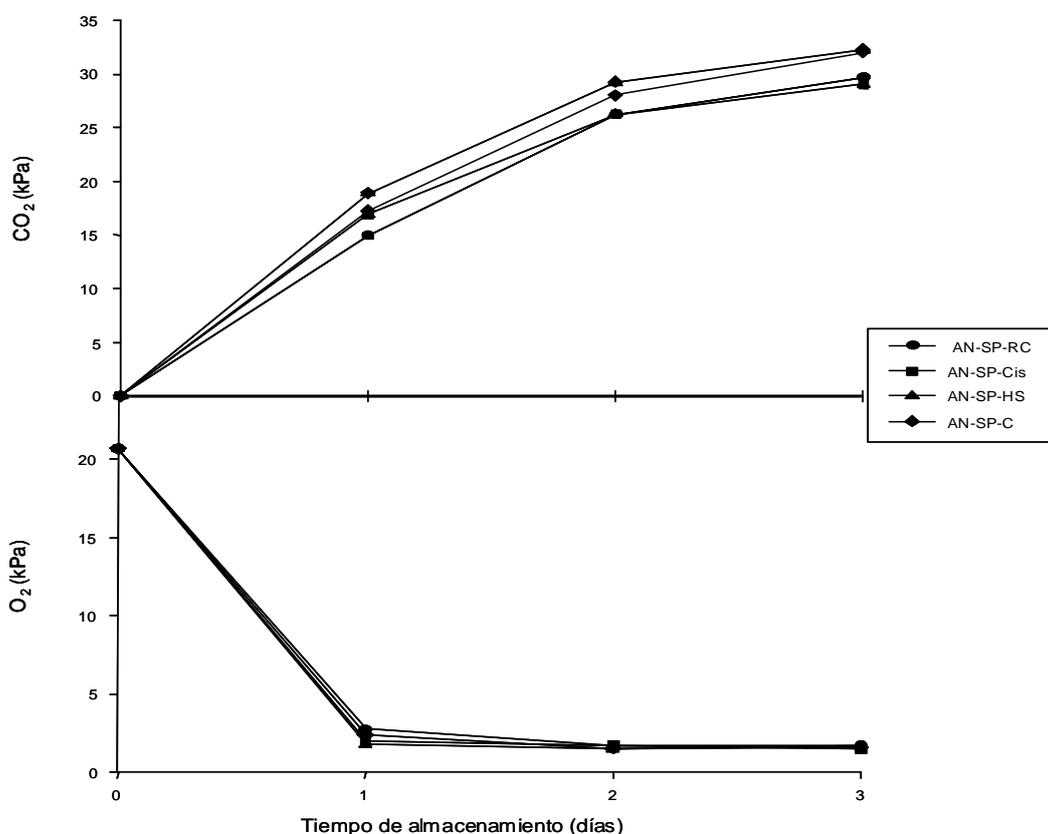


FIGURA 8. Concentraciones de dióxido de carbono y oxígeno en el envase de alcachofa mínimamente procesada, durante el almacenamiento a 5°C. Muestras recubiertas (RC), no recubiertas (C), con cisteína (Cis) y con hipoclorito sódico (HS).

Color

La Figura 9, 10, 11 muestran el efecto de los tratamientos aplicados sobre las coordenadas de color L^* , a^* y b^* . El aumento durante el almacenamiento del pardeamiento enzimático de los trozos de alcachofa fue acompañado por un aumento de a^* y una disminución de L^* . En los resultados se diferencian dos grupos: (1) las alcachofas tratadas con el recubrimiento y con cisteína, que presentaron valores de L^* y a^* constantes durante todo el almacenamiento y (2) el control y la muestra tratada con hipoclorito sódico, que presentaron un descenso acusado ya el primer día, manteniendo valores aproximadamente constantes en el resto del almacenamiento. Las muestras recubiertas y las tratadas con la solución acuosa de cisteína presentaron los valores de a^* más bajos entre todos los tratamientos. El control presentó en las primeras horas un aumento brusco de a^* , manteniéndose como el valor más elevado durante el almacenamiento. El uso de cisteína solo o añadido al recubrimiento, aportó una coloración amarilla a las muestras, lo que se reflejó en un aumento de los valores de b^* respecto a las muestras control y las tratadas sólo con hipoclorito

de sodio. La presencia de lípido en el recubrimiento produce una disminución de la tonalidad amarillenta que aporta la cisteína.

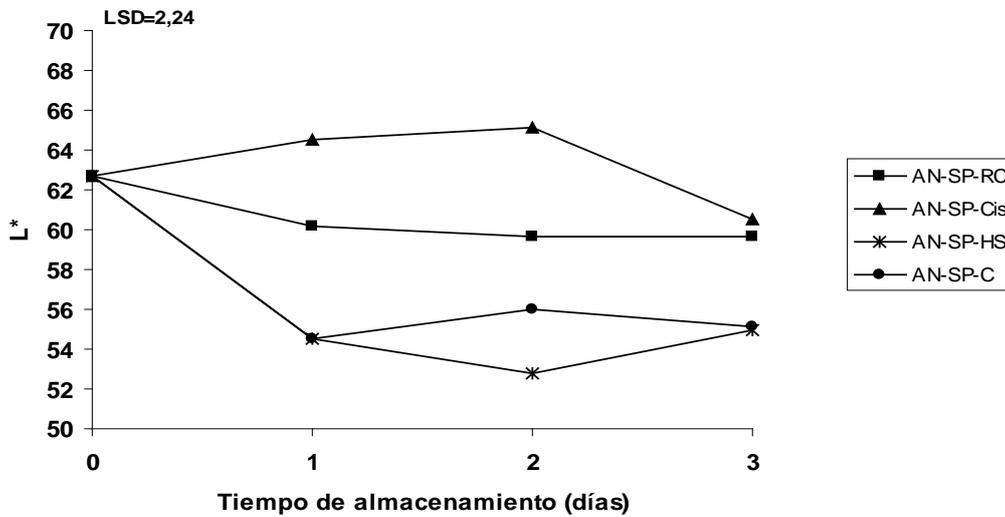


FIGURA 9. Efecto de la aplicación de diversos tratamientos en la luminosidad (L^*) de alcachofa mínimamente procesada. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC), no recubiertas (C), con cisteína (Cis) y con hipoclorito sódico (HS).

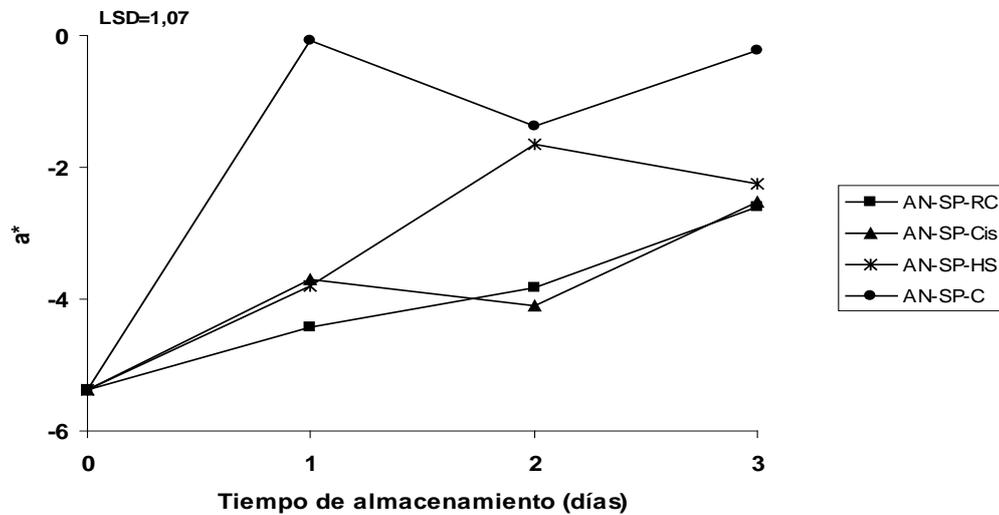


FIGURA 10. Efecto de la aplicación de los diversos tratamientos en los valores de a^* de alcachofa mínimamente procesada. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C), con cisteína (Cis) y con hipoclorito sódico (HS).

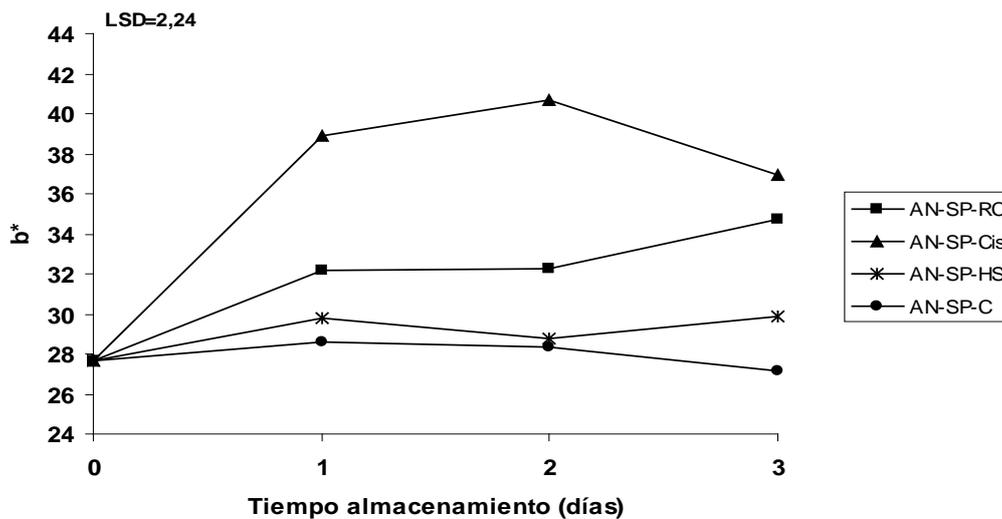


FIGURA 11 Efecto de la aplicación de los diversos tratamientos en los valores de b^* de alcachofa mínimamente procesada. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C), con cisteína (Cis) y con hipoclorito sódico (HS).

Análisis sensorial

Los resultados del análisis sensorial corroboran los obtenidos en el análisis del color. En el análisis visual de las alcachofas troceadas se observa que la muestra tratada con cisteína fue la mejor valorada durante el almacenamiento (Fig. 12), alcanzando una valoración por encima del límite de comercialización a los 2 días de almacenamiento, mientras que las muestras control y tratadas con hipoclorito sódico alcanzaron el límite de comercialización el primer día de almacenamiento. El proceso de corte de la alcachofa en la solución acuosa de ácido cítrico para evitar el pardeamiento inicial de la muestra, parece que no resulta efectivo extendiendo la vida útil de la alcachofa cortada, no consiguiéndose aumentar el periodo de comercialización.

En la ordenación de las muestras en orden creciente de pardeamiento, (Fig.13) se observa que la muestra tratada con cisteína y la muestra con recubrimiento fueron evaluadas como las menos pardeadas, manteniendo unas diferencias significativas durante todo el almacenamiento respecto a los restantes tratamientos. Ni en la calidad visual, ni en la ordenación de las muestras en función del grado de pardeamiento se observaron diferencias significativas entre las muestras recubiertas y las muestras tratadas con la solución acuosa de cisteína.

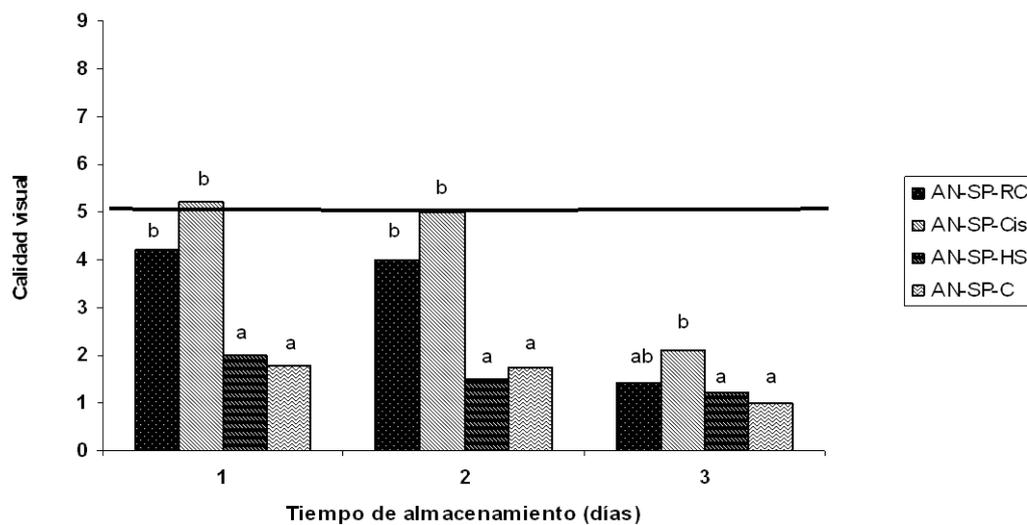


FIGURA 12 Efecto de la aplicación de diversos tratamientos en la calidad visual de la alcachofa mínimamente procesada. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C), con cisteína (Cis) y con hipoclorito sódico (HS).

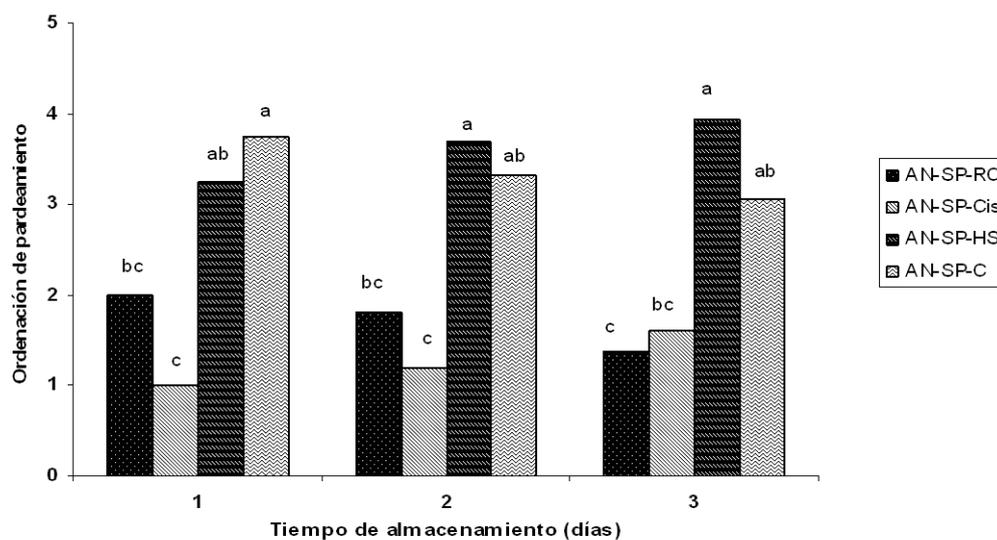


FIGURA 13. Efecto de la aplicación de diversos tratamientos en la ordenación del grado de pardeamiento de alcachofa mínimamente procesada. Ordenación de menor nivel de pardeamiento (1) a mayor nivel de pardeamiento (4). Para cada tiempo de almacenamiento, letras distintas indican diferencias significativas a $p \leq 0,05$.

Pérdida de peso

La figura 14 muestra la evolución de la pérdida de peso de la alcachofas cortadas. Las muestras recubiertas y las tratadas con hipoclorito sódico presentaron pérdidas inferiores al 1% durante el almacenamiento. Mientras que las muestras control y las tratadas con cisteína alcanzaron valores en torno al

2%. Sorprendentemente, a los 3 días de almacenamiento las alcachofas tratadas con cisteína presentaban los mayores valores de pérdida de peso.

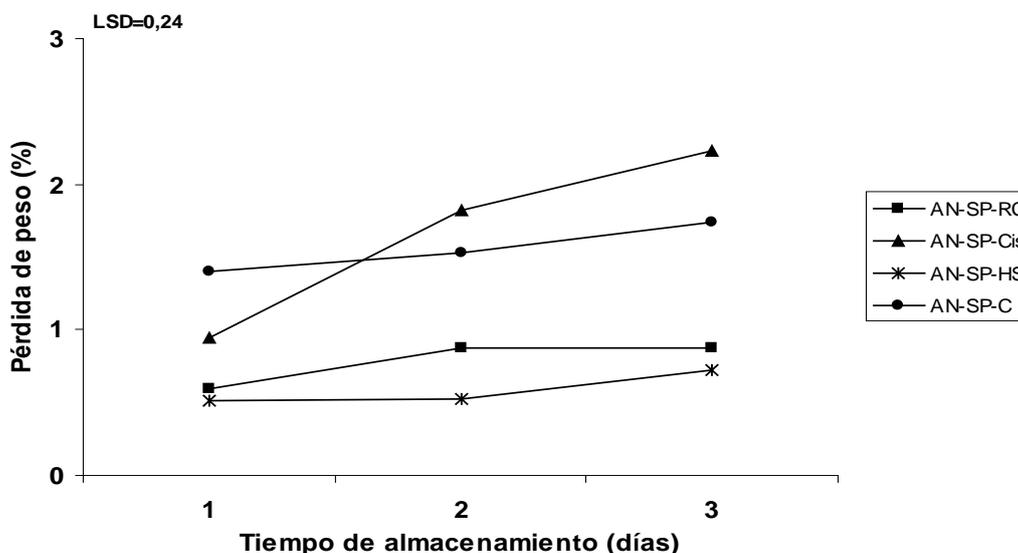


FIGURA 14. Efecto de la aplicación de los diversos tratamientos en la pérdida de peso de alcachofa mínimamente procesada. LSD con un nivel de confianza del 95%. Muestras recubiertas (RC) y muestras no recubiertas (C), con cisteína (Cis) y con hipoclorito sódico (HS).

Análisis microbiológico

La Tabla 2 muestra el recuento de mesófilos totales en el día 0 y 3 de almacenamiento. Los recuentos de mesófilos totales aumentan a lo largo del almacenamiento, a excepción de la muestra recubierta que es la que menor crecimiento presenta al final del almacenamiento, siendo la más efectiva en el control de bacterias. En todos los casos el recuento de mesófilos se mantiene por debajo del límite establecido por la legislación de 10^7 Ufc/g (RD 3484/2000).

Tabla 2. Recuento de mesófilos totales en alcachofa cortada a los 0 y 3 días de almacenamiento.

Tratamiento	\log_{10} (Ufc/g)	
	día 0	día 3
AN-SP-RC	4,81b	4,07a
AN-SP-Cis	3,45a	5,11b
AN-SP-HS	4,34ab	4,75ab
AN-SP-C	4,31b	4,88ab

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

Capacidad antioxidante

La tabla 3 muestra la capacidad antioxidante de la alcachofa previo al procesado (valor inicial) y de la alcachofa cortada sometida a los distintos tratamientos tras 1 y 3 días de almacenamiento. En los dos días de almacenamiento todos los tratamientos presentaron un aumento en la capacidad antioxidante respecto al valor inicial de entrada, sin diferencias significativas entre ellos. Estos resultados contrastan con los resultados obtenidos en la primera experiencia, en la que la capacidad de las alcachofas cortadas se mantiene o aumenta ligeramente tras el envasado en la AN-SP.

Tabla 3. Capacidad antioxidante de alcachofa mínimamente procesada tras 1 y 3 días de almacenamiento a 5 ° C (valores expresados como EC50 mg / g DPPH*).

Tratamiento	EC 50 (mg/g DPPH*)	
	1 día - 5 °C	1 día - 5 °C
AN-SP-RC	12,01a	10,53a
AN-SP-Cis	10,56a	12,19a
AN-SP-HS	12,03a	11,51a
AN-SP-C	10,37a	13,35a

Valor inicial de la muestra de entrada: 16,21 mg / g DPPH*.

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

CONCLUSIONES

De los resultados en este trabajo, se puede concluir que la aplicación del recubrimiento de PS y envasado en atmósfera normal sin perforar representa el tratamiento más adecuado de los estudiados para reducir el pardeamiento enzimático y la pérdida de peso de alcachofa mínimamente procesada, aunque por la alta susceptibilidad de la alcachofa al pardeamiento no se alcanzan periodos de comercialización adecuados y resulta necesario seguir estudiando para alcanzar una solución para este tipo de tejido. El proceso de corte de la alcachofa en la solución acuosa de ácido cítrico para evitar el pardeamiento inicial de la muestra, parece que no resulta efectivo extendiendo la vida útil de la alcachofa cortada, no consiguiéndose aumentar el periodo de comercialización. Durante los 3 días de almacenamiento estudiados el recuento de mesófilos se mantiene por debajo del límite establecido por la legislación con independencia de la aplicación de un tratamiento de higienización, aunque sería necesario estudiar su efectividad cuando se alcancen periodos de comercialización superiores.

AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo ha sido realizado en el Instituto Valenciano de Investigaciones Agrarias (IVIA). La autora agradece la oportunidad de desarrollar el trabajo en el IVIA, así como la colaboración de la Dra. M^a Bernardita Pérez Gago y de Christian Ghidelli.

REFERENCIAS

- Ahvenainen R. 1996. New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. *Trends Food Sci. Techn.* 7: 179-187.
- Artés, F., Castañer, M., Gil, M.I., 1998. El pardeamiento enzimático en frutas y hortalizas mínimamente procesadas: revisión. *Food Sci Tech Int.* 4(6):377-389.
- 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. *Crit. 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.
- Cantwell M. 1992. Postharvest handling systems: Minimally processed fruits and vegetables. En Kader, A.A. (ed), *Postharvest Technology of Horticultural Crops.* 2ª ed. Publ. 3311.Oakland: University of California. pp. 277-281.
- 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.
- Eswaranandam, S., Hettiarachchy, N., Meullenet, J.F. 2006. Effect of malic and lactic acid incorporated soy protein coatings on the sensory attributes of whole apple and fresh-cut cataloupe. *J. Food Sci.* 71 (3) S307- S313
- Ghidelli, C., Mateos, M., del Río, M.A., Pastor, C., Pérez-Gago, M.B. 2008. Reducción del pardeamiento enzimático en alcachofa cortada mediante el uso de antioxidantes. En: Oria Almudi, R., Val Falcón, J., Ferrer Mairal, A.(ed), *Avances en maduración y post-recolección de fritas y hortalizas.* Editorial Acirbia, España.
- Ghidelli, C., Sanchís, E., Rojas-Argudo, C., Mateos, M., del Río, M.A., Pérez-Gago, M.B. 2009a. Application of Soy Protein-beeswax Edible Coating with Antioxidants: Effect Reducing Enzymatic Browning of Fresh-Cut Eggplants. *Acta Hort.* (In press).
- Ghidelli, C., Pérez Gago, M.B., del Río, M.A. 2009b. Efecto de recubrimientos comestibles y envasado en atmósferas modificadas en el control del pardeamiento en caqui 'Rojos Brillantes'. *Acta Hort.* (In press).
- Gil, M.I.; Gorny, J.R.; Kader, A.A. 1998. 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.
- Greener, I.K. and Fennema, O. 1992. Lipid-based edible films and coating. *Lipid Technol.* 4:34-38.
- Iyidogan, N.F., Bayindirli, A. 2003. Effect of L-cysteine, Kojic acid and 4-hexylresorcinols combination on inhibition of enzymatic browning in Amasya apple juice. *Journal of Food Engineering* 62: 299-304.
- 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.
- Ke, D. y Saltveit, M.E. 1989. Wound-induced ethylene production, phenolic metabolism and susceptibility to russet spotting in iceberg-lettuce. *Physiologie Plantarum.* 76: 412-418.
- Kinzel, B. 1992. Protein-rich edible coatings for food. *Agric. Res.* 40:20-21.
- Lamikanra, O. 2002. Enzymatic effects on flavour and texture of fresh-cut fruits and vegetables. p.125-185. In: Lamikanra O. (ed), *Fresh-cut fruits and vegetable. Science, technology and market.* CRC Press. Boca Raton, Florida. USA.
- Lattanzio, V, Cicco N and Linsalata V. 2005. Antioxidant activities of artichoke phenolics. *Acta Hort.* 681:421-427.
- Limbo, S. y 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.
- Mateos, M., Ke, D., Cantwell, M., Kader, A.A. 1993. Phenolic metabolism and ethanolic fermentation of intact and cut lettuce exposed to CO₂-enriched atmosphere. *Postharv. Biol. Technol.*, 3, 225-233.

- Nicolas, J.J., Richard-Forget, F.C., Goupy, P. M., Amiot, M. J., Aubert, S. Y. 1994. Enzymatic browning reactions in apple and apple products. *Crit. Rev. Food Sci. and Nutr.*, 34 (2):104-157.
- Oms-Oliu, G., Odriozola-Serrano, I., Soliva-Fortuny, R., Martín-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., Rojas-Argudo, C., del Río, M.A. 2009. Reducing enzymatic browning of fresh-cut eggplants by antioxidant application. *Acta Hort.* (In press).
- Poubol, J. y 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.
- Varoquaux, P., Mazollier, J., Albagnac, G. 1996. The influence of raw material characteristics on the storage life of fresh-cut butter head lettuce. *Postharv. Biol. and Techn.* 9: 127-139.
- UNE 87 023, 1995. Ensayo de clasificación por ordenación. In: AENOR (Ed.), *Análisis Sensorial*. Tomo 1, Alimentación, 151-166.