

Uso de recubrimientos comestibles para limitar los cambios nutricionales y fisiológicos en zanahorias mínimamente procesadas

Vasco M.F.⁽¹⁾⁽²⁾, Campañone L.A.⁽¹⁾, Agnelli M.E.⁽¹⁾⁽²⁾

(1) CIDCA (CONICET-CCT y UNLP) y FI-UNLP. 47 y 116, 1900, La Plata, Bs As.

(2) UNMdP FCA, Balcarce. Argentina.

E-mail: agnelli.miriam@gmail.com

RESUMEN

En este trabajo se evaluó la efectividad de distintos recubrimientos comestibles para retardar el deterioro de hortalizas mínimamente procesadas. Rodajas de zanahorias fueron sumergidas en soluciones formadoras de recubrimientos a base de: alginato de sodio (T1), carboximetilcelulosa (T2) y almidón de mandioca (T3). Las mismas contienen, además, glicerol como agente plastificante, aceite de girasol para reducir la permeabilidad al vapor de agua y Tween 20 como agente surfactante. Las rodajas recubiertas se envasaron y almacenaron a 4°C durante 15 días junto con muestras sin recubrir (control). Se evaluó la evolución en el tiempo de los siguientes parámetros: pérdida de peso (PP), aspecto visual, uniformidad del recubrimiento, actividad de la peroxidasa (POD) y contenidos de β -carotenos y fenoles totales. De los resultados se concluye que T1 y T2 no resultaron adecuados dado que las muestras perdieron aroma, nutrientes y presentaron alta actividad enzimática durante el almacenamiento. Por su parte, las muestras con T3 presentaron características similares al producto fresco, con buena apariencia visual, retención de nutrientes, buen control enzimático y baja PP. Se puede concluir que el uso de almidón de mandioca resultó ser eficiente, mejorando la calidad del producto final y prolongando la vida útil de zanahorias mínimamente procesadas.

Palabras claves: zanahoria, recubrimientos comestibles, almidón de mandioca, carboximetilcelulosa, alginato de sodio.

ABSTRACT

The effectiveness of several edible coatings was evaluated in order to reduce minimally processed vegetables deterioration. Sliced carrots were submerged in coating forming solutions based on sodium alginate (T1), carboxymethylcellulose (T2) and cassava starch (T3). Solutions also contain glycerol as plasticizer, sunflower oil to reduce water vapor permeability and Twen 20 as surfactant agent. Coated slices were packed and stored at 4°C for 15 days. Uncoated samples were also stored as control. Time evolution of weight loss (PP), visual appearance, coating uniformity, peroxidase activity (POD) and β -carotene and total phenol contents were assessed. T1 and T2 formulations resulted in poor coatings due flavor and nutrient losses together with a high enzymatic activity during storage. On the other hand, T3 coated samples showed similar characteristics to the fresh product with good visual appearance, nutrient retention, reduced enzymatic activity and low PP. It may be concluded that cassava starch formulation resulted in an efficient edible coating improving quality and shelf-life of the minimally processed carrots.

Keywords: Carrot, edible coatings, cassava starch, carboxymethylcellulose, sodium alginate

INTRODUCCIÓN

Los recubrimientos comestibles han demostrado ser de utilidad para la preservación de vegetales mínimamente procesados. Actúan como barrera para la pérdida de agua y el intercambio de gases provocando un efecto similar al del almacenamiento bajo atmósfera controlada o modificada, permitiendo mantener la firmeza, apariencia visual y sabor del producto. Los materiales empleados para su elaboración suelen ser una combinación de lípidos, polisacáridos, plastificantes, surfactantes y aditivos dispersados en diferentes tipos de solventes tales como agua o alcoholes (Vargas et al. 2008, Zahedi et al. 2010).

Los polisacáridos son capaces de formar una matriz polimérica continua biodegradable que presenta baja permeabilidad al O₂ y CO₂, reduciendo la velocidad de respiración de los productos mínimamente procesados. A su vez, refuerzan la acción de los agentes antipardeantes evitando que enzimas como las polifenoloxidasas entren en contacto con el O₂. Se logra así retardar el deterioro en frutas y vegetales



(Gonzalez-Aguilar et al. 2000). Diversos almidones e hidrocoloides han sido empleados con éxito originando recubrimientos que no imparten olor ni sabor al producto. Sin embargo, exhiben un fuerte carácter hidrofílico que los convierte en una barrera ineficiente para el vapor de agua. La adición de lípidos permite limitar la permeabilidad al vapor de agua pero pueden afectar la transparencia, las propiedades mecánicas y generar sabores desagradables (Rhim y Shellhammer 2005). Los lípidos más comúnmente usados son los ácidos esteáricos, palmítico y algunos aceites vegetales como soja o girasol. Estas mezclas de hidrocoloides y lípidos, necesitan la presencia de un agente surfactante para promover la formación de una emulsión. De la estabilidad de esta emulsión depende la microestructura del recubrimiento y sus características.

La incorporación de agentes plastificantes (sorbitol, glicerol, etc.) reduce las fuerzas intermoleculares entre los polímeros aumentando su movilidad y mejorando así la flexibilidad del film (Sothornvit y Krochta 2000). Pero, dada su naturaleza hidrofílica, también afectan las propiedades de barrera al vapor del agua. Estos cambios dependen de la concentración del plastificante y de la humedad relativa ambiente.

La zanahoria mínimamente procesada tiene una importante demanda pero su comercialización presenta algunos inconvenientes. El desarrollo de un sabor amargo por la síntesis de productos fenólicos (Lafuente et al. 1989) y el descoloramiento superficial por oxidación de los carotenos o reacciones de lignificación, hacen que su vida de estante sea corta. En este trabajo nos hemos propuesto determinar la efectividad del uso de distintos recubrimientos comestibles formulados a base de polisacáridos y aceite de girasol aplicados sobre rodajas de zanahoria para retardar su deterioro durante el almacenamiento refrigerado. Los polisacáridos seleccionados fueron carboximetilcelulosa (CMC), alginato de sodio (ALG) y almidón de mandioca (AM). La eficiencia de los mismos fue evaluada a través de la evolución de la calidad organoléptica y nutricional del vegetal durante el almacenamiento y la uniformidad de la película obtenida.

MATERIALES Y MÉTODOS

Materiales

Se utilizaron polisacáridos y aceite de girasol de grado alimenticio comercial (AM, CMC y ALG, Química Bolívar SRL, Mar del Plata, Argentina). Se usó además cloruro de calcio anhidro (Anedra AG), glicerina (99,9% Biopack) y Tween 20 (99,9 % Biopack).

Las zanahorias (*Daucus carota*) variedad “Chantenay” fueron adquiridas en el mercado local. Previo al cortado, fueron cepilladas bajo agua corriente y sumergidas en baño de agua clorada (200 ppm) durante una hora a fin de disminuir la carga microbiana inicial. Posteriormente fueron peladas, se descartó de 5 cm de la corona y se cortaron 6 rodajas de 1 cm de espesor. Del total obtenido, se tomaron al azar 9 rodajas que conformaron una muestra para cada recubrimiento y día de almacenamiento. Una vez registrado el peso, las muestras fueron descontaminadas por inmersión en agua clorada (50 ppm) durante 1 minuto, secadas con papel absorbente y sumergidas en la formulación formadora del recubrimiento.

Preparación y obtención de suspensiones

A. Suspensión de ALG: se obtuvo una suspensión al 2%, mediante el calentamiento de la misma a 85°C en un baño termostático hasta lograr su completa disolución.

B. Suspensión de CMC: se obtuvo una suspensión al 0,4%, mediante el calentamiento de la misma a 85°C en un baño termostático hasta lograr su completa disolución.

C. Suspensión de AM: Se preparó una suspensión al 3% p/p. La dispersión obtenida fue gelatinizada calentando en un baño termostático a 90°C durante 20 minutos, con agitación constante.

Formación y estabilización de las emulsiones

A las suspensiones viscosas obtenidas en A, B y C se les adicionaron glicerol como plastificante, Tween 20 como agente surfactante y aceite de girasol como fase grasa en las proporciones indicadas en la **Tabla 1** dando origen a las formulaciones T1, T2 y T3, respectivamente. Las mezclas fueron emulsionadas en Ultraturrax T25, con velocidad de 24500 rpm durante 5 minutos y luego sumergidas en baño de ultrasonido durante 10 minutos a fin de eliminar las burbujas de aire formadas durante la homogeneización. Finalmente, se dejaron reposar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Las concentraciones empleadas en T1, T2 y T3 fueron seleccionadas a partir de ensayos previos.



Tabla 1. Contenido de glicerol, Tween 20 y aceite de girasol de las formulaciones expresadas como % p/p.

Formulación	Hidrocoloide	Glicerol [%]	Tween 20 [%]	Aceite de girasol [%]
T1	ALG (2%)	2	1,3	0,025
T2	CMC (0,4 %)	2	0,7	7
T3	AM (3%)	0,3	0,2	0,8

Aplicación del recubrimiento y almacenamiento de las muestras

La aplicación del recubrimiento se realizó por inmersión de las rodajas de zanahoria previamente pesadas en las formulaciones durante 2 minutos. Las rodajas introducidas en la formulación de alginato de sodio fueron posteriormente sumergidas en una solución de CaCl_2 (2%) durante 2 min para permitir el entrecruzamiento con Ca^{+2} . Una vez retiradas, se colocaron sobre una superficie enrejada y secadas en estufa con convección forzada a 25°C.

Posteriormente, las muestras fueron pesadas y envasadas en bolsas de polietileno de baja densidad, de 70 micrones de espesor, con permeabilidad intermedia al oxígeno, evitando posible deterioro oxidativo por exceso de oxígeno o fermentación por ausencia total del mismo.

El almacenamiento se llevó a cabo en cámara de refrigeración a 4°C durante 15 días. Rodajas sin recubrir, se trataron en forma similar sumergiéndolas en agua destilada (Control). Todos los ensayos se realizaron por triplicado y cada determinación por duplicado. Se evaluó la calidad a diferentes tiempos de almacenamiento (0, 5, 10 y 15 días), a través de los siguientes parámetros.

Análisis de la Peroxidasa (POD): se realizó de acuerdo al método de Morales-Blancas et al. (2002), con modificaciones.

Extracción: Se pesaron en balanza analítica 2,5 gramos de las muestras trituradas y se agregaron 12,5 ml de buffer fosfato de potasio frío, (0,1 M pH: 6,5). La mezcla fue homogeneizada en Ultra Turrax-T-25 durante un minuto a 11000 RPM en baño de agua con hielo. Luego, fue filtrada a través de tela de liencillo. El filtrado se centrifugó a 5000 rpm durante 20 minutos. Los sobrenadantes se filtraron con papel de filtro Whatman N° 1 y se mantuvieron en hielo hasta su análisis.

Actividad: La solución sustrato POD se preparó mezclando 0,1 ml de guayacol, 0,1 ml de peróxido de hidrógeno (30%) y 99,8 ml de buffer fosfato potásico y posterior homogenización. Los ensayos de actividad POD se llevaron a cabo mezclando 0,120 ml de extracto enzimático con 3,48 ml de solución sustrato. La actividad POD se midió a partir del aumento de la absorbancia a 470 nm en función del tiempo con un espectrofotómetro (UVPC 2401, Shimadzu Co.). La reacción se controló durante 3 min.

La actividad enzimática se determinó a partir de la pendiente máxima de la curva de absorbancia en función del tiempo calculada mediante regresión lineal y se expresó en U/ml de extracto.

Cuantificación de los Fenoles Totales (FT) se utilizó el reactivo Folin-Ciocalteu(FC) de acuerdo al método de Singleton et al. (1999) con modificaciones.

Extracción: se pesaron 2 gramos de la muestra procesada en balanza analítica, se agregaron de 6,25 ml de metanol 98%, se procedió a la homogenización en un Ultra Turrax-T-25 a 16000 rpm en baño de agua con hielo durante 5 min. Transcurrido ese tiempo, las muestras se centrifugaron 15 minutos a 5000 rpm. A continuación se tomaron 6 ml del extracto que fueron filtrados mediante cartuchos de C18 previamente acondicionados.

Cuantificación: se colocaron 200 µl del extracto fenólico, 200 µl de metanol, 200 µl reactivo FC y 1,4 ml de Na_2CO_3 en tubos de microcentrífuga de 2 ml. Se agitó brevemente y se las mantuvo en la oscuridad durante una hora a temperatura ambiente para que la finalice la reacción. Luego, se procedió a centrifugar a 13000 rpm durante 3 minutos y determinar la absorbancia a 725 nm del sobrenadante. Los resultados se expresaron como mg de equivalente de ácido gálico por 100 g de peso seco de la muestra.

Cuantificación de β -carotenos: se utilizó el método de Biswas et al. (2011), con modificaciones.

Extracción: se pesó 1 gramo de la muestra procesada sobre un tubo de centrífuga recubierto por papel aluminio en balanza analítica. Luego se añadieron 5 ml de acetona fría, y la mezcla se homogeneizó en Ultra Turrax T-25 (2 minutos, 11000 rpm) en baño de agua con hielo. Se dejó en reposo durante 5 min y luego se centrifugó a 5000 rpm durante 10 min. El sobrenadante fue recogido y el sedimento sometido a segunda extracción con 5 ml de acetona, operando de la misma forma que en la primera extracción. La mezcla de ambos sobrenadantes fue filtrada con un filtro Whatman N°42.



Cuantificación: la absorbancia del extracto fue determinada a 449 nm en espectrofotómetro UV visible. Los resultados se expresaron como μg de β -caroteno por g de peso seco de la muestra.

Pérdida de Peso (PP): las rodajas fueron pesadas en balanza analítica, antes y después de hacer el recubrimiento y durante cada día de análisis, para determinar la pérdida de agua durante cada etapa.

Aspecto Visual: se hizo hincapié en el aspecto de las rodajas respecto de la muestra fresca, color, olor típico, exudado de líquido, firmeza ante el corte con cuchilla y uniformidad y adherencia del recubrimiento. Las observaciones fueron registraron empleando los siguientes parámetros descriptivos:

Aspecto general: similar al fresco, presencia de lignificación/resequedad superficial

Color: naranja intenso, típico o pálido

Aroma: típico, no típico, pérdida

Textura: más o menos firme que el fresco

Exudado: bajo, medio o alto

Uniformidad: Referido a la acumulación de recubrimiento en sectores de la rodaja. Uniforme, no uniforme (con protuberancias del recubrimiento, principalmente en los extremos).

Adherencia: presencia de burbujas de aire o líquido entre la fruta y el recubrimiento, arrugas u otros síntomas que reflejen una separación entre la película y la superficie del vegetal. Se procedió a aplicar una leve fuerza tangencial para determinar la facilidad con que se lograba separar el recubrimiento de la rodaja. La clasificación se realizó en base a la siguiente escala: *Alta* (se desprende parcialmente al aplicar una fuerza tangencial media sobre la superficie del trozo), *Media* (se desprende parcialmente al aplicar una pequeña fuerza tangencial sobre la superficie del trozo), *Baja* (se desprende fácilmente con solo tocar el trozo).

Además, las muestras fueron fotografiadas para registrar algunas de las características mencionadas.

Uniformidad del Recubrimiento: se realizó en las muestras con recubrimientos a base de almidón, mediante la técnica de tinción con solución de yodo. Se preparó una solución con 12 gr de yodo metálico y 24 gr de yoduro de potasio llevando a 1 litro con agua destilada. Se la dejó reposar 24 horas para lograr una correcta disolución del yodo metálico. La solución reacciona con almidón produciendo un color púrpura profundo. Para visualizar la uniformidad y espesor del recubrimiento, la solución de yodo fue colocada en una bandeja. Las muestras de zanahorias recubiertas fueron sumergidas en la solución durante 1 minuto. Luego se las dejó reposar entre 5 y 10 minutos hasta completar la reacción y se observó la tinción azul oscura.

Materia Seca

Se determinó por pesaje de la muestra hasta peso constante (48 horas) en estufa a 60 °C, expresado en porcentaje.

Análisis Estadístico

Los resultados se analizaron mediante un análisis de la varianza (ANOVA) con un Diseño Completamente Aleatorizado (DCA) y el test de comparaciones de Duncan con una significancia de $P < 0.05$ utilizando el InfoStat 2015.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La **Figura 1** muestra la actividad de la POD en función del tiempo de almacenamiento para los casos evaluados. Se observa que ningún recubrimiento inhibe significativamente la actividad de la POD. T2 y T3 presentaron una tendencia similar a las muestras sin recubrimiento verificándose un aumento de la actividad en el quinto día de almacenamiento que se mantuvo sin cambios hasta el final. Además de las POD, otras enzimas presentes en los tejidos vegetales crudos son también responsables de su deterioro. Entre ellas encontramos las catalasas: polifenoloxidasas (PPO), lipoxigenasas (LOX), entre otras. Las LOX tienen una doble función en las verduras y frutas. Son responsables de la síntesis de diversos alcoholes y aldehídos característicos del aroma agradable de los productos frescos pero luego del procesamiento y durante el almacenamiento, causan cambios indeseables por oxidación o peroxidación de compuestos insaturados, generando compuestos de olores desagradables. Su acción provoca la destrucción de ácidos grasos indispensables y la formación de peróxidos que podrían actuar como sustratos de la POD (Charanjit 1999, Badui 2006). Este mecanismo podría explicar la alta actividad de POD observada en las muestras con T2 dado su alto contenido lipídico (7%). Sin embargo, las LOX no parecen actuar en la degradación del caroteno (**Figura 3**).

La muestra recubierta con almidón (T3), arrojó los niveles más bajos de actividad POD. Estos resultados concuerdan con Liu (2005) quien demostró que una de las características del almidón es permitir la obtención de films con baja permeabilidad al oxígeno. Por su parte, T1 exhibió un gran aumento de la



actividad POD en el décimo día de almacenamiento, superiores a la de las muestras control. Este hecho podría correlacionarse con la presencia del calcio en el recubrimiento y su interacción con la enzima presente en el tejido vegetal. Se sabe que, como parte de su estructura, las POD poseen dos iones Ca^{+2} que influyen en la actividad proteica y en su configuración estructural. En los tejidos vegetales, el calcio se encuentra como cofactor de varias enzimas. Hu et al. (1987) indicaron que un aumento de Ca^{+2} en el medio celular aumenta la actividad enzimática. También, Medda et al. (2003) observaron un efecto similar en la actividad de la POD de una planta herbácea, en respuesta tanto a la eliminación como a la adición de Ca^{+2} . Efectivamente, si éste se eliminaba, la actividad enzimática se reducía notablemente pero si se añadía al medio, la actividad se triplicaba. El efecto activador se debe a que en ocasiones estos cationes forman parte del sitio activo, se requieren para la interacción de la enzima con el sustrato o ayudan a mantener la conformación tridimensional, interactuando con alguna región de la enzima (Badui 2006).

La **Figura 2** presenta los resultados del contenido de fenoles totales. Inicialmente no se encontraron diferencias significativas en el contenido de fenoles de las muestras recubiertas y las frescas ($\alpha \leq 0,05$). Birt et al. (2001) han reportado que la concentración en polifenoles de cualquier alimento es muy variable porque depende de muchos factores tales como la variedad o el grado de maduración de los vegetales. En el caso de las muestras control se observó un aumento del contenido de fenoles durante el almacenamiento. Estos resultados concuerdan con lo esperado de acuerdo a lo reportado anteriormente por otros autores que indican que el contenido de compuestos fenólicos aumenta con el daño producido (Aubert et al. 1993, Reyes et al. 2007). Las muestras recubiertas también presentan un aumento del contenido de fenoles y su evolución es prácticamente la misma que la de las muestras control. Sólo la muestra con T1 presentó valores de fenoles mayores al final del almacenamiento, superando ampliamente a los contenidos hallados en las muestras control y con recubrimientos T2 y T3 (aproximadamente 100 y 70 mg/100 g PS, respectivamente). Estos resultados concuerdan con lo expuesto por Ayala et al. (2012) en su trabajo sobre la calidad de mora con un recubrimiento comestible a base de alginato de sodio entrecruzado con Ca^{+2} . La acumulación de fenoles en las muestras con y sin recubrimiento pudo haber sido promovida por la mayor actividad enzimática encontrada (**Figura 1**). De hecho, las diferencias observadas en el contenido de fenoles al final del almacenamiento son compatibles con la mayor actividad de POD en las muestras recubiertas con T1.

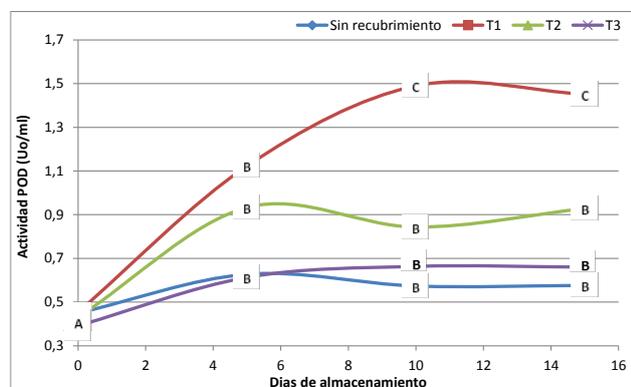


Figura 1. Actividad de la POD durante el almacenamiento en muestras control y recubiertas.

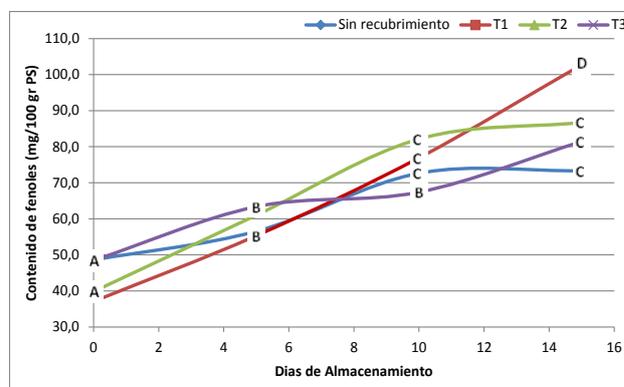


Figura 2. Contenido de fenoles totales durante el almacenamiento en muestras control y recubiertas.

La **Figura 3** presenta los resultados del contenido de β -carotenos. El contenido inicial de las muestras sin recubrimiento se mantuvo sin cambios a lo largo del almacenamiento. El mismo comportamiento se observa en las muestras recubiertas con T2 y T3. Por su parte, el contenido inicial de carotenos en las muestras recubiertas con T1 no varió hasta el día 5 pero pudo observarse una disminución significativa a partir del día 10 para luego mantenerse sin cambios hasta el final ($p \leq 0,01$). Según Gross (1991), la actividad de POD tiene un impacto en las pérdidas de carotenos por oxidación y lo hacen más rápido en los productos deshidratados. En base a esto, la disminución registrada con T1 puede asociarse a la alta actividad enzimática hallada para ese tiempo de almacenamiento que produce la destrucción de estos pigmentos (**Figura 1**).

La **Figura 4** revela que todas las muestras presentaron una PP progresiva con el tiempo de almacenamiento, sin embargo, la más marcada se registró en las rodajas sin recubrimiento. Estas últimas presentaron una disminución significativa de su peso como resultado del tratamiento de secado previo al envasado y continuó durante el almacenamiento, hecho observado además por el exudado presente sobre las rodajas (**Tabla 1**).



Por su parte, las rodajas recubiertas presentaron PP durante la etapa del secado previo al envasado, aunque menores que las muestras sin recubrir (aproximadamente 3 %), y hasta el quinto día de almacenamiento para luego mantenerse sin cambios hasta el final. La PP fue más acentuada con T2 (aproximadamente 5%), en comparación con T1 y T3 (aproximadamente 2%). Este resultado es, en principio, en apariencia contradictorio si se tiene en cuenta que T2 es el recubrimiento con mayor contenido de aceite. La menor PP hallada con T1 concuerdan con los resultados de Rojas-Graü et al. (2007) que registraron un aumento en la resistencia al vapor de agua al agregar 0,125% de aceite de girasol en recubrimientos de alginato de sodio (con 1,75% de glicerol) aplicados sobre manzana trozada. Por su parte, Hernandez et al. (2011), encontraron que los recubrimientos de mandioca sobre tomate resultaron ser más eficientes para disminuir la PP al agregar 2% de aceite de canela.

La **Tabla 1** exhibe los resultados de la observación visual realizada en las rodajas de zanahoria antes, después de aplicar el recubrimiento y durante el almacenamiento en cámara a 4°C. Se puede destacar que, con respecto al producto fresco, las muestras sin recubrir mostraron un aspecto reseco, lignificado, con exudado y ausencia de aroma y color característico que se fue acentuando con los días de almacenamiento (**Figura 5**). Por su parte, las muestras T1 y T2 mostraron un color naranja intenso, con aroma típico que se mantuvo por pocos días. Esto puede deberse a su baja efectividad para controlar la actividad enzimática. Además, se observó una rápida disminución en la firmeza con exudado de líquido en la superficie que fue más marcada con T2 y se correlaciona con su pérdida de peso (Figura 4). El recubrimiento T2 también es muy heterogéneo y presenta baja adherencia a la rodaja. Esto explica la PP registrada a pesar de la alta concentración de aceite de esta formulación. La decoloración observada tanto en el producto sin recubrir como con T2 durante el almacenamiento no puede adjudicarse a cambios en el contenido de carotenoides, aunque no se descarta su oxidación a nivel superficial. El cambio en la intensidad del color naranja corresponde fundamentalmente a cambios asociados a la formación de lignina. En el caso de T1, la uniformidad y adherencia del recubrimiento fueron óptimas, motivo por el cual el aspecto y color característico se mantuvieron sin cambios por más tiempo durante el almacenamiento (**Tabla 1**). Las muestras con T3, por su parte, presentaron una apariencia óptima, similar al producto fresco en cuanto a color, firmeza, aspecto general y aroma (**Tabla 1** y **Figura 5**).

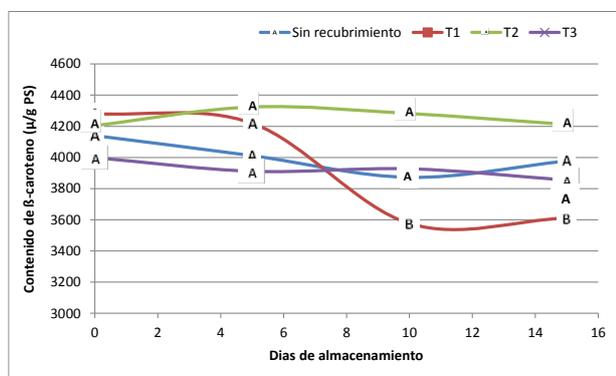


Figura 3. Efecto de la retención de β carotenos con el almacenamiento de muestras con y sin recubrimiento.

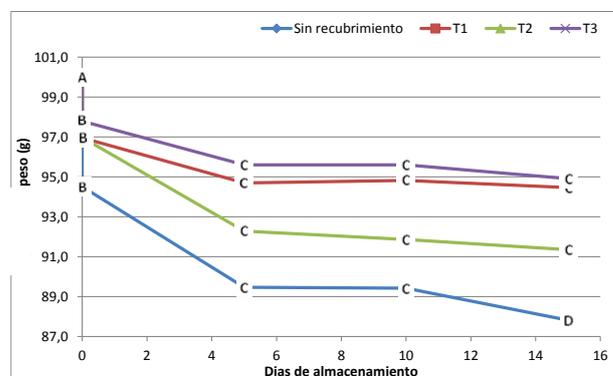


Figura 4. Evolución del peso en función del tiempo para muestras con y sin recubrimiento.



La **Figura 6** presenta las muestras de zanahorias después de ser sometidas a tinción por yodo. Esta técnica, permite ver el espesor y uniformidad de los recubrimientos de almidón (T3). El test del I₂ evidenció un recubrimiento no uniforme, con zonas de tinción más pálidas que otras. Esto se condice con la observación visual de la uniformidad del recubrimiento realizada durante el almacenamiento de las muestras (**Tabla 1**). Erbil y Muftugil (1986), establecieron que la permeabilidad de un film hidrofílico puede estar afectada, entre otros factores, por la morfología de la matriz polimérica, es decir, el espesor y la homogeneidad. Esto explicaría los resultados negativos encontrados para este recubrimiento, como la PP o aumento de la actividad POD.

CONCLUSIONES

El recubrimiento de alginato de sodio (T1) es uniforme y homogéneo y con buenas propiedades de barrera al vapor de agua, sin embargo, las muestras presentaron pérdida de aroma, nutrientes y alta actividad enzimática durante el almacenamiento. El recubrimiento de CMC (T2), a pesar de permitir la retención de nutrientes, tampoco resultó efectivo por presentar una deficiente barrera al vapor de agua, con alto exudado de líquido, color y aroma, acompañado de una alta actividad de la POD. Por su parte, las muestras recubiertas a base de almidón de mandioca (T3), presentaron características similares al producto fresco, con buena apariencia visual y retención de nutrientes, probablemente debido a un control enzimático eficiente. De esta forma, puede concluirse que el uso de almidón de mandioca bajo las condiciones de aplicación empleadas, mejora la calidad del producto final y prolonga la vida de estantería de los vegetales mínimamente procesados.

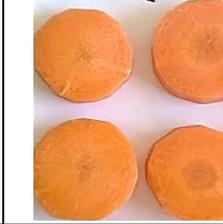
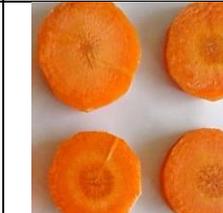
DIA 0			
CONTROL	T1 T2		T3
			
ALMACENAMIENTO DIA 5			
CONTROL	T1	T2	T3
			
ALMACENAMIENTO DIA 15 (FINAL)			
CONTROL	T1	T2	T3
			

Figura 5. Apariencia visual de las rodajas de zanahoria. Muestras control y recubiertas a los días 0, 5 y 15 días





Figura 6. Uniformidad del recubrimiento de almidón (T3) en rodajas de zanahoria sometidas a tinción por iodo al final del almacenamiento (día 15).

Tabla 1. Evaluación subjetiva de la calidad en las zanahorias con y sin recubrimiento durante el almacenamiento a 4°C.

	Aspecto evaluados	Sin tratar (control)	T1	T2	T3
0	Aspecto general	Típico, fresco	Superficie Brillosa	Similar al fresco.	Muy similar al fresco.
	Color	típico	muy intenso	Intenso	Típico
	Aroma	Típico	Típico	Típico	Típico
	Textura	Firme	Firme	Firme	Firme
	Exudado	-	-	-	-
	Uniformidad (RC)		Uniforme	Uniforme	No uniforme
	Adherencia (RC)		Alta	Media	Media
5	Aspecto general	Lignificado y reseco	Superficie Brillosa	Recubrimiento en exterior de rodajas y envase	Algo reseco, comparado con T1 y T2
	Color	pálido	Intenso	Intenso	Típico
	Aroma	Típico	Típico	Típico	Típico
	Textura	Firme	Firme	Menos firme que T1.	Firme
	Exudado	Medio	Bajo	Medio	Bajo
	Uniformidad (RC)		Uniforme	Uniforme	No uniforme
	Adherencia (RC)		Alta	Baja	Media
10	Aspecto general	Lignificado, reseco, agrietado	Superficie Brillosa, algo reseca	Ídem día 5	Ídem día 5
	Color	pálido blanquecino	Ídem día 0	Pálido	Ídem día 5
	Aroma	pérdida	Pérdida	Pérdida	Ídem día 5
	Textura	Firme, tejido, algo contraído	Firme. Disminución en superficie	Ídem día 5.	Ídem día 5
	Exudado	Medio	Bajo	Medio	Bajo
	Uniformidad (RC)		Uniforme	No uniforme	No uniforme
	Adherencia (RC)		Alta	Baja	Media
15	Aspecto general	Muy lignificado y reseco, agrietado	Zonas resacas y lignificadas	Zonas resacas y lignificadas	Ídem día 5
	Color	blanquecino, muy pálido	menos intenso que días previos	Pálido	Intenso
	Aroma	pérdida	Ídem día 10	Ídem día 10	Pérdida
	Textura	Firme. Tejido contraído	Ídem día 10. Tejido no contraído	Ídem día 5. Tejido no contraído	Ídem día 5. Tejido no contraído
	Exudado	Alto	Bajo	Medio	Bajo
	Uniformidad (RC)		Uniforme	No uniforme	No uniforme
	Adherencia (RC)		Alta	Baja	Media



BIBLIOGRAFÍA

- Aubert, S.; Babic, I.; Amiot, M.; Nguyen-The, C. 1993. Les composés phénoliques marqueurs de la qualité de carottes conservées au froid. *Acta Horticulturae*, Leuven. 354(1):201-214.
- Ayala S., Leidy C.; Valenzuela R., Claudia P.; Bohorquez P., Yanneth. 2012. Efecto de un recubrimiento comestible a base de alginato de sodio y iones de calcio sobre la calidad de mora de castilla (*rubusglaucusbenth*). Universidad de Antioquia. Medellín, Colombia. 19: S129-S131.
- Badui, S. D. 2006. Química de los alimentos. Área: Química. Cuarta edición. Pearson Educación, México. ISBN: 970-26-0670-5.
- Birt, D., Hendrich, S. Y Wang, W. 2001. Dietary agents in cancer prevention. *Flavonoids and isoflavonoids. Pharmacology and Therapeutics*. 90: 157-177.
- Biswas A. K.; Sahoo J.; M. K. Chatli M. K. 2011. A simple UV-Vis spectrophotometric method for determination of β -carotene content in raw carrot, sweet potato and supplemented chicken meat nuggets. *Food Science and Technology* 44: 1809-1813.
- Charianjit, K.; Sushil, K.; Harrish, C.K. 1999. Heat Stability of Lipoxygenase and Peroxidase During Blanching of vegetables. *Journal of Scientific and Industrial Research*. 58: 1005-1009.
- Erbil, H.Y. and N. Muftugil. 1986. Lengthening the postharvest life of peaches by coating with hydrophobic emulsions. *J. Food Proc. Preserv.* 10:269-279
- González-Aguilar G A, Wang C, Buta, J G. 2000. Maintaining quality of fresh-cut mangoes using antibrowning agents and modified atmosphere packaging. *J. Agric. Food Chem.* 48:4204-4208.
- Gross, J. 1991. *Pigments in Vegetables: Chlorophylls and carotenoids* AVI Books, Van Nostrand Reinhold, New York.
- Hernández Barco, P. L., Burbano Delgado, A. C., Mosquera Sánchez, S. A., Villada Castillo, H. S., Porras, D. P. 2011. Efecto del recubrimiento a base de almidón de yuca modificado sobre la maduración del tomate. *Revista lasallista de investigación*. 8(2) 96- 103.
- Hu, C., Lee, D., Chibbar, R.N., van Huystee, R.B. 1987. Ca^{2+} and peroxidase derived from cultured peanut cells. *Physiol. Plant* 70: 99-102.
- Lafuente, MT, Cantwell, M, Yang, F, Rubatzky, V. 1989. Isocoumarin content of carrots as influenced by ethylene concentration, storage temperature and stress conditions. *Acta Horticulturae (ISHS)*, 258, 523-534
- Liu, Z. 2005. Edible films and coatings from starch. In J. H. Han (Ed.), *Innovations in food packaging*. London (England): Elsevier Academic Press. 318-332.
- Medda, R., Padiglia, A., Longu, S., Bellelli, A., Arcovito, A., Cavallo, S., Pedersen, J.Z., Floris, G. 2003. Critical role of Ca^{2+} ions in the reaction mechanism of *Euphorbia characias* peroxidase. *Biochemistry* 42(29), 8909-8918.
- Mei, Y. Zhao, Y. Yang, J., Furr, H. 2002. Using edible coating to enhance nutritional and sensory qualities of baby carrots. *Sensory and Nutritive Qualities of Food*, 67(5), 1964-1968.
- Morales-Blancas, E. F.; Chandia, V. E.; Cisneros-Zeballos, L. 2002. Thermal inactivation kinetics of peroxidase and lipoxygenase from Broccoli, Green Asparagus and Carrots. *Journal of Food Science*, 67(1), 146-154.
- Reyes, L. F.; Villarreal, J. E.; Cisneros-Zeballos, L. 2007. The increase in antioxidant capacity after wounding depends on the type of fruit or vegetable tissue. *Food Chemistry*, London, 101(3), 1254-1262.
- Rhim J. W., Shellhammer T. H. 2005. Lipid-based edible films and coatings. *Innovations in Food Packaging*. 21:362-383.
- Rojas-Graü M, Tapia M, Rodríguez F, Carmona A, Martín-Belloso O. 2007. Alginate and gellan based edible coatings as carriers of antibrowning agents applied on fresh-cut Fuji apples. *Food Hydrocolloids* 21: 118-127.
- Singleton, V. L.; Orthofer, R. & Lamuela-Raventos, R. M. 1999. Analysis of total phenols and other oxidation substrates and antioxidants by means of Folin-Ciocalteu reagent. *Oxidants and Antioxidants, Pt A Methods in Enzymology*, 299:152-178.
- Sothornvit, R., & Krochta, J. M. 2000. Plasticizer effect on oxygen permeability of B-lactoglobulin films. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48, 6298-6302.
- Vargas, M., Pastor, C., Chiralt, A., McClements, D. J., González-Martínez, C. (2008). Recent advances in edible coatings for fresh and minimally processed fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48, 496-511.

