

Aplicación de Tecnología de Barreras para la Conservación de Mezclas de Vegetales Mínimamente Procesados

Application of Barrier Technology for the Conservation of Minimally Processed Vegetables Mixtures

Alejandro Escobar Hernández¹; Carlos Julio Márquez Cardozo²;
Claudia Estela Restrepo Florez³ y Luis Jaime Pérez Cordoba⁴

Resumen. Los vegetales son componentes esenciales de la dieta humana y su procesamiento trae como consecuencia el rápido deterioro ocasionado por el aumento de las reacciones metabólicas, esto hace necesario que se utilicen tecnologías emergentes de conservación. En este trabajo se estudió el efecto de la tecnología de barreras (desinfección, tratamiento térmico, recubrimiento comestible, atmósfera modificada y refrigeración) sobre la vida útil de una mezcla de vegetales mínimamente procesados compuesta por brócoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), zucchini (*Cucurbita pepo* L.), chayote (*Sechium edule*), apio (*Apium graveolens*) y zanahoria (*Daucus carota*). Las barreras fueron aplicadas a las hortalizas para luego ser envasadas en dos tipos de bandejas (empaquete en atmósfera modificada y empaque en bandeja sello plus). Los vegetales se almacenaron durante 12 días en refrigeración (4 °C y 95% HR), se llevaron a cabo análisis microbiológicos, fisicoquímicos y sensoriales, y un estudio de vida útil. Los resultados mostraron que el proceso de desinfección con NaClO 100 ppm y el tratamiento térmico de 60 °C durante 2 min, tuvieron efecto en la reducción de la población microbiana para el día cero de evaluación. La calidad general se conservó para los 12 días de almacenamiento, en la zanahoria, chayote, coliflor y apio. La evaluación fisicoquímica presentó diferencias estadísticamente significativas de los parámetros evaluados con respecto al tiempo de almacenamiento. El estudio de vida útil arrojó tiempos de 7 y 5 días para la mezcla de vegetales empacada en bandeja sello plus en atmósfera modificada, respectivamente. La combinación de barreras se muestra como alternativa viable en la conservación de mezclas de vegetales mínimamente procesados.

Palabras clave: Tecnologías emergentes, hortalizas, desinfección, tratamiento térmico.

Abstract. Vegetables are essential components of the human diet. However, rapid deterioration of vegetables occurs after processing, caused by increased metabolic reactions. Thus, the use of emerging technologies is necessary for vegetable preservation. In this work, the effect of selected barrier technology, including disinfection, heat treatment, edible coating, modified atmosphere and cooling were used for the preservation of a minimally processed vegetable mixture constituted by broccoli (*Brassica oleracea* var. *italica*), cauliflower (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), zucchini (*Cucurbita pepo* L), vegetable pear (*Sechium edule*), celery (*Apium graveolens*) and carrot (*Daucus carota*). Selected barriers were applied to the minimally processed vegetable mixture. Then, the minimally processed vegetable mixture was placed in two types of trays (modified atmosphere packaging and "Sello plus" packaging). The vegetables were stored for 12 days under refrigeration (4 °C and 95% HR) and microbiological, physicochemical and sensory analysis as well as a shelf-life of the minimally processed vegetable mixture were carried out. The results showed that the disinfection process with NaClO at 100 ppm and heat treatment (60 °C for 2 min) had effect in reducing the microbial population on day zero. The overall quality of carrot, vegetable pear, cauliflower and celery was maintained during 12 days of storage. Physicochemical parameters presented statistical significance in function of storage time. Moreover, minimally processed vegetable mixture had a shelf-life of 7 days when "Sello plus" packaging was used and 5 days when placed in modified atmosphere packaging. Thus, the combination of barriers is shown as a viable alternative in the preservation of conservation minimally processed vegetables mixtures.

Key words: Emerging technologies, vegetables, disinfection, heat treatment.

Los vegetales mínimamente procesados poseen componentes esenciales que representan en la dieta humana beneficios para la salud, además de los nutricionales; algunas de estas sustancias son conocidas como antioxidantes y en general se denominan fitoquímicos. En países como Canadá, EE.UU, Nueva Zelanda y varios estados de la Unión Europea se ha

prestado un especial interés en el consumo de frutas y hortalizas, recomendando una ingesta diaria de al menos cinco porciones. Estos cambios en el consumo alimenticio han producido la demanda de una gama más amplia de vegetales mínimamente procesados, debido a que dichos productos ayudan a hacer la vida más fácil, permitiendo preparar comidas saludables y

¹ Estudiante de Maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Ciencias Agrarias – Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <aescobarhe@hotmail.com>

² Profesor Asociado. Universidad Nacional de Colombia – Sede Medellín – Facultad de Ciencias Agrarias - Departamento de Ingeniería Agrícola y Alimentos. A.A. 1779, Medellín, Colombia. <cjmarque@unal.edu.co>

³ Profesional en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Directora Técnica de Servicio. Fundación Intal. Carrera 50 G 12 Sur 91, Medellín, Colombia. <crestrepo@fundacionintal.org>

⁴ Ingeniero en Alimentos. Universidade de São Paulo – Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos - Departamento de Engenharia de Alimentos - Av. Prof. Almeida Prado, No. 1280 - Butantã, 05508-070, São Paulo, Brasil. <luchop283@usp.br>

Recibido: Mayo 17 de 2013; aceptado: Septiembre 27 de 2013.

doi: <http://dx.doi.org/10.15446/rfnam.v67n1.42652>



agradables, con ahorro de tiempo significativo y con una reducción en la producción de residuos, ya que el consumidor se lleva a casa sólo la parte comestible del producto. Estas tendencias han llevado a la aparición de nuevas presentaciones de los vegetales cuarta gama (mezclas de hortalizas cortadas o frutas mínimamente procesadas), en las cuales lo que se busca es complementar nutrientes como las vitaminas, minerales y antioxidantes aportados por los diferentes vegetales que conforman la mezcla (Anonymous, 2007; Santos *et al.*, 2012).

La producción de hortalizas frescas cortadas por lo general requiere para su procesamiento de operaciones tales como limpieza, corte, lavado, secado y envasado (Yildiz, 1994). Dichas transformaciones traen como consecuencia un rápido deterioro de los vegetales, ocasionando el aumento de la tasa de respiración, la transpiración, la actividad enzimática y la proliferación microbiana (Nguyen-the y Carlin, 1994). Esta situación hace que las investigaciones se centren en la aplicación de métodos de conservación como lo son los tratamientos con antioxidantes, aplicación de agentes desinfectantes, envasado en atmósfera modificada, recubrimientos comestibles, tratamientos térmicos y almacenamiento bajo refrigeración, entre otros (Ahn *et al.*, 2005).

El uso exclusivo de tratamientos físicos o químicos generalmente no permite alargar en la forma deseada la vida de los productos mínimamente procesados, por ello la combinación de estos tratamientos con frecuencia suele ser imprescindible para mantener la calidad de frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Artés *et al.*, 1998). La tecnología de barreras implica la utilización de diferentes técnicas de conservación, dentro de las que sobresalen, el uso de desinfectantes, tratamientos térmicos, aditivos químicos, empaques en atmósferas modificadas, almacenamiento a bajas temperaturas, entre otros, esto con el fin de reducir el uso intensivo de una técnica de conservación y de esta forma producir un menor impacto en las características sensoriales y nutricionales del alimento. La reacción positiva a uno o varios tratamientos depende de la matriz vegetal que se esté empleando, siendo necesario realizar estudios que permitan identificar cual es la secuencia de tratamientos necesaria para obtener un efecto sinérgico y de esta forma producir un efecto de barrera que permita prolongar la vida útil de las frutas y hortalizas mínimamente procesadas (Leistner y Gould, 2002; Artés y Allende, 2005; Hun y Cennadios, 2005; Bico *et al.*, 2009; Denoya y Ardanaz, 2012).

La tecnología de barreras, combinando tratamientos térmicos, atmósferas modificadas y almacenamiento refrigerado, ha sido utilizada para la conservación de pimientos (*Capsicum annuum*), prolongando la vida del vegetal hasta 18 días a 8 ± 1 °C (Horvitz y Cantalejo, 2013). En frijol (*Phaseolus vulgaris*) se utilizó un tratamiento combinado consistente en un baño químico con ácido cítrico, radiación gama y empaque en atmósferas modificadas prolongando la vida útil del vegetal por una semana, las características sensoriales del producto fueron aceptables (Gupta *et al.*, 2012).

La importancia de los modelos para estimar la vida útil de los vegetales mínimamente procesados radica en el hecho de que proporcionan vías objetivas para medir la calidad y determinar los límites de empleo del alimento siempre y cuando se fundamente en el conocimiento de los mecanismos de deterioro; por ejemplo, mediante la estimación de parámetros característicos como la carga microbiana o algún atributo sensorial, y así establecer la vida útil a través de un modelo estadístico adecuado (Ocampo, 2003; Salinas *et al.*, 2007).

El objetivo de este estudio fue evaluar la aplicación de la tecnología de barreras, involucrando desinfección, tratamiento térmico, recubrimiento comestible, atmósferas modificadas y almacenamiento refrigerado sobre la conservación de una mezcla de vegetales mínimamente procesados compuesta por brócoli (*Brassica oleracea* var. *Itálica*), coliflor (*Brassica oleracea* var. *botrytis*), zucchini (*Cucurbita pepo* L), chayote (*Sechium edule*), apio (*Apium graveolens*) y zanahoria (*Daucus carota*).

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. El material vegetal fue adquirido en la central de abastos y abarrotes para mayoristas y minoristas del departamento de Antioquia. Se utilizaron seis tipos de hortalizas: brócoli, coliflor, zucchini, chayote, zanahoria y apio. Los vegetales considerados para el ensayo correspondieron a las hortalizas de mayor uso agroindustrial y aceptación por parte de los consumidores en la región, para la elaboración de ensaladas crudas comerciales denominadas "Wok". La investigación fue desarrollada en los laboratorios de Frutas y Hortalizas de la Universidad Nacional de Colombia - Sede Medellín y de la Fundación Intal.

Preparación de la solución para la aplicación del tratamiento térmico. Para la preparación de la solución

se utilizó agua destilada en la cual previamente se disolvió cloruro de calcio (0,025%), ácido cítrico (0,5%) y ácido ascórbico (0,25%). Luego, se llevó la solución a un baño maría termostático marca Memmert® modelo WNE 14 (USA), donde se calentó hasta 60 °C y se mantuvo así durante 30 min, para la posterior inmersión de los vegetales (adaptado de Ahn *et al.*, 2005).

Elaboración del recubrimiento comestible. Se utilizó como matriz principal pectina de bajo metoxilo (2%), glicerol (1,5%) como plastificante, cera de carnauba (1%) como barrera al vapor de agua (Restrepo, 2009), ácido ascórbico (0,05%) como antioxidante y agua destilada. Los componentes se disolvieron en el agua destilada a una temperatura de 70 °C con agitación magnética a 700 rpm en una placa calefactora marca IKA® modelo RCT BS1 (China), la solución se sometió a esta operación durante 15 min hasta quedar completamente homogénea. El recubrimiento comestible fue almacenado en refrigeración a 8 °C hasta el momento de su aplicación (adaptado de Márquez *et al.*, 2009).

Procedimiento experimental. Se seleccionaron los vegetales con base a la similitud de forma, tamaño y ausencia de daños externos. Los vegetales se lavaron y desinfectaron mediante inmersión en una solución con hipoclorito de sodio (NaClO) de 100 ppm de concentración, durante 5 min. Después de ser desinfectadas las hortalizas, se procedió al corte; el cual fue realizado de forma manual. Posteriormente, se siguió con la aplicación del tratamiento térmico para brócoli, coliflor, zucchini, chayote y zanahoria y el empleo del recubrimiento comestible para el apio. Los vegetales a los cuales se les aplicó el tratamiento térmico se mantuvieron inmersos en agua durante 2 min a una temperatura de 60 °C con la ayuda de un baño maría. Luego, los vegetales fueron sometidos a un choque térmico con agua a 4 °C durante 2 min. El tratamiento térmico fue aplicado de forma independiente para cada grupo de vegetales. Las hortalizas se llevaron a un proceso de drenado y secado con la ayuda de circulación forzada de aire proporcionado con un ventilador marca Samurai® con un caudal de 140 m³ min⁻¹ y a 16 ± 2 °C, este proceso se realizó durante una hora logrando minimizar el agua que se depositaba en la superficie de los vegetales. Con respecto al apio mínimamente procesado, este se llevó a un proceso de inmersión en el recubrimiento comestible durante dos min, luego el recubrimiento se secó con la ayuda de circulación

forzada de aire proporcionado con un ventilador marca Samurai® con un caudal de 140 m³ min⁻¹ y a 16 ± 2 °C (adaptado de Brasil *et al.*, 2012). Posterior a la aplicación de los tratamientos, se realizó el proceso de llenado y pesado de las bandejas (bandeja PET tipo laminada con película de tapa de BOPP/LDPE 54 μ de 400 mL y bandeja de PET tipo cartera de 470 mL), en ambos recipientes se depositaron 200 g de la mezcla de vegetales, cortados en julianas de aproximadamente 6 cm de largo por 1 cm de ancho y 1 cm de espesor, excepto el apio que se cortó en trozos de 3 cm de longitud; la coliflor y el brócoli se dispusieron en flores de volúmenes similares a esferas de 2 a 3 cm de diámetro, la distribución para ambas bandejas fue de 20% brócoli, 20% chayote, 20% zucchini 20% zanahoria, 15% coliflor y 5% apio.

La bandeja de PET tipo laminada con película de tapa de BOPP/LDPE 54 μ de 400 mL, se llevó a la inyección de la mezcla de gases correspondiente a 5% de O₂, 5% de CO₂ y 90 % de N₂, utilizando un equipo sellador marca Band® modelo ET-95M (Taiwán), a este tratamiento se le denominó empaque en atmósfera modificada (EAM); la otra bandeja de PET tipo cartera de 470 mL no se inyectó con gas y se selló con aire ambiente normal de composición aproximada de; 21% de O₂, 0,04% de CO₂, 78% de N₂ y 0,96% de otros gases, este tratamiento fue denominado empaque en bandeja sello plus (EBSP). Para finalizar, las muestras fueron almacenadas a una temperatura de 4 ± 2 °C y de 95% ± 3 de humedad relativa durante 12 días, tiempo en cual se realizaron los análisis físico-químicos, sensoriales y microbiológicos.

Diseño experimental. Se utilizó un diseño parcialmente escalonado, compuesto por 3 lotes los cuales equivalían a las tres repeticiones, donde el número de unidades experimentales fue el mismo para cada lote. Para el análisis de las variables de respuesta se utilizó una unidad experimental tanto para el tratamiento en empaque en atmósfera modificada (EAM) como para el tratamiento de empaque en bandeja sello plus (EBSP).

Procedimiento para el muestreo. El total de unidades experimentales fue de 30 y 10 por cada uno de los lotes. Se establecieron 5 tiempos de muestreo para cada lote. La frecuencia de muestreo se realizó de la siguiente forma: se tomaron muestras aleatorias de los lotes almacenados en los 5 tiempos de muestreo y se analizaron cada 3 días durante 12 días comparando los dos tratamientos experimentales (EAM y EBSP).

Calidad microbiológica. Para el recuento microbiano (mohos y levaduras, aerobios mesófilos, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp) se utilizaron métodos adaptados de las Normas Técnicas Colombianas, NTC 4899 (2001); NTC 4574 (2007); NTC 5698-1 (2009).

Calidad sensorial. Para determinar la calidad sensorial, se seleccionó el descriptor calidad general, basado en el color, el aroma, la textura bucal y el sabor para los vegetales; se calificó en una escala lineal continua no estructurada de 10 cm de longitud y de intensidad creciente de un extremo a otro, donde 1 es la menor calidad general y 10 es la mayor calidad sensorial. Se utilizó un panel sensorial compuesto por 7 jueces entrenados, seleccionados por sus conocimientos en las características sensoriales de hortalizas mínimamente procesadas. En la evaluación sensorial también se determinó la aceptación o rechazo de la muestra (Anzaldúa, 1994; Restrepo, 1995).

Determinación de la tasa de respiración, pérdida fisiológica de peso y pH. La tasa de respiración fue medida a partir de la evaluación del porcentaje de CO₂ mediante la inserción del sensor directamente en el espacio de cabeza de las bandejas, el instrumento utilizado fue un medidor de gases marca PBI Dansensor[®], con sensibilidad de 0,1% para CO₂ (Rico *et al.*, 2007). Para la medición de la pérdida fisiológica de peso se utilizó el método gravimétrico, empleando una balanza analítica de precisión 0,0001 g marca Ohaus[®] (Flores, 2000). El pH se determinó usando un medidor de pH Hanna 21[®], sumergiendo los electrodos en la muestra después de la calibración con soluciones tampón de 4 y 7 a 25 °C (AOAC, 1981.12).

Análisis de datos. Los datos obtenidos en las diferentes evaluaciones, se analizaron por el método de estadística descriptiva correspondiente al análisis de varianza (ANAVA), tanto para las variables respuesta y la vida útil de las mezclas de hortalizas mínimamente procesadas; además, se utilizó el método LSD (mínimas diferencias significativas) para las comparaciones de las medias, con un nivel de significancia del 95% (Montgomery, 2005).

Vida útil. La estimación del tiempo de vida útil para la mezcla de vegetales mínimamente procesados, se realizó a través del análisis de Weibull. El criterio de fallo de las muestras se determinó según el número mínimo significativo de juicios de rechazo emitidos por los jueces siguiendo la distribución binomial con $P=0,1$ (García *et al.*, 2010).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Calidad microbiológica. El análisis de varianza no mostró efectos estadísticamente significativos, sobre el crecimiento de los microorganismos evaluados con respecto al tipo de bandejas utilizadas para la mezcla de vegetales mínimamente procesados, ni a la composición gaseosa del ambiente interno de las mezclas (EAM) y (EBSP), ya que todos los microorganismos presentaron un comportamiento similar en el crecimiento durante el tiempo de evaluación de 12 días.

En la Tabla 1 se muestran los parámetros microbiológicos que tuvieron diferencia estadísticamente significativa en su crecimiento durante el tiempo de almacenamiento a temperatura de 4 °C; las concentraciones de microorganismos encontradas, fueron menores a las de los vegetales sin procesar, que de acuerdo a estudios preliminares presentaron cargas microbianas de 5,7 log UFC g⁻¹ en aerobios mesófilos y de 4,0 log UFC g⁻¹ para levaduras; por lo tanto, se puede apreciar una reducción en alrededor de una unidad logarítmica de las UFC g⁻¹ de la población inicial de microorganismos alterantes (aerobios mesófilos y levaduras), esto probablemente debido al efecto simultáneo de barrera de los tratamientos previos utilizados (desinfección, recubrimiento comestible y tratamiento térmico). Resultados similares fueron encontrados por Luna-Guzmán y Barret (2000) quienes mediante la aplicación de un tratamiento térmico en muestras de melón mínimamente procesado lograron disminuir la población de aerobios mesófilos dos unidades logarítmicas y en levaduras una unidad logarítmica.

Para el día 12 de almacenamiento el recuento de aerobios mesófilos y levaduras presentó un crecimiento significativo con respecto al día cero, este incremento probablemente puede ser atribuido a que algunos microorganismos aerobios mesófilos y levaduras tienen la capacidad de crecer a temperaturas de refrigeración de ± 4 °C. Las razones que explican este comportamiento, se podrían atribuir a condiciones genotípicas de los microorganismos; por ejemplo, la mayoría de la flora de tipo mesófilo puede también ser psicótrofo, es decir que pueden desarrollarse a temperaturas de refrigeración, como así también un buen número de estos microorganismos podría comportarse como aerobios/anaerobios facultativos, motivo por el cual, el usar atmósferas modificadas no asegura un ambiente estrictamente restrictivo para el crecimiento y desarrollo de los microorganismos, lo anterior debido a que los vegetales fueron procesados inicialmente con

buenas prácticas de manufactura y debido a los cierres herméticos de ambos empaques no se considera probable contaminación de los vegetales posterior al procesamiento (Camacho *et al.*, 2001; Rodríguez *et al.*, 2006).

Los demás microorganismos (mohos, *Escherichia coli* y *Salmonella* spp) no se detectaron en ninguna de las muestras para ambos días de análisis (0 y 12) y por lo tanto no representaron cambios en la alteración de la calidad de la mezcla de vegetales mínimamente procesados (Tabla 1).

Tabla 1. Cambios en la población microbiana (log UFC g⁻¹) de la mezcla de vegetales mínimamente procesados, almacenada durante 12 días a 4 °C.

Tiempo (d)	Aerobios mesófilos		Mohos		Levaduras		<i>Escherichia coli</i> (NMP)		<i>Salmonella</i> spp	
	Tratamientos									
	EAM	EBSP	EAM	EBSP	EAM	EBSP	EAM	EBSP	EAM	EBSP
0	4,60 (0,09) a	4,0 (0,6) a	1	1	2,7 (0,3) a	2,9 (0,1) a	<3	<3	Ausente	Ausente
12	5,5 (0,1) b	5,71 (0,07) b	1	1	4,6 (0,5) b	4,9 (0,5) b	<3	<3	Ausente	Ausente

Media (Desviación estándar); letras diferentes indican diferencia significativa (P≤0,05).

EAM= Bandeja termoformada con aplicación de atmósfera modificada y sellada con film BOPP/LDPE de 54 μ.

EBSP= Empaque en bandeja sello plus termoformada de PET tipo cartera.

La Figura 1 presenta los resultados de la bandeja PET laminada con película de tapa de BOPP/LDPE inyectada con gases (EAM) y de la bandeja PET tipo cartera

sello plus (EBSP), para las diferentes evaluaciones en la mezcla de vegetales mínimamente procesados y almacenados a 4 °C.

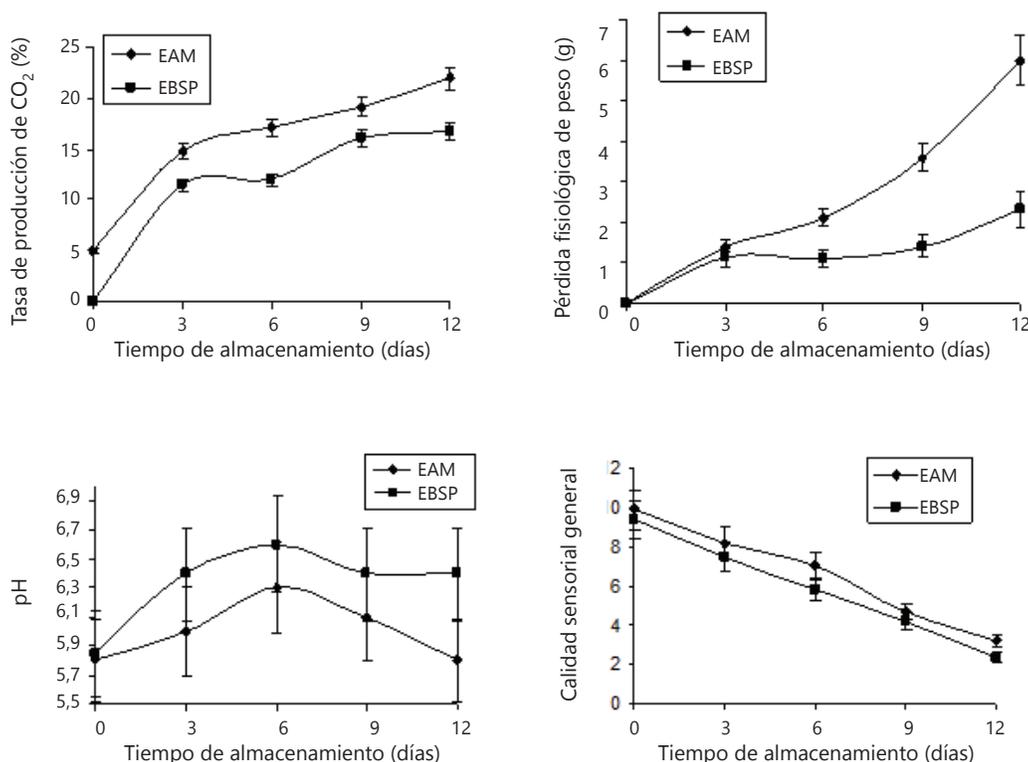


Figura 1. Resultados de la bandeja PET laminada con película de tapa de BOPP/LDPE inyectada con gases (EAM ▲), y de la bandeja PET tipo cartera sello plus (EBSP ■) para las distintas evaluaciones en la mezcla de vegetales mínimamente procesados almacenados a 4 °C durante 12 días: Determinación de la producción de CO₂ (A); pérdida fisiológica de peso (B); pH (C) y calidad sensorial general (D). Los símbolos representan la media y las barras verticales el porcentaje de error de ± 5%, para n=6.

Determinación de la tasa de respiración, pérdida fisiológica de peso y pH.

En la Figura 1A y 1B se puede apreciar que la tasa de producción de CO₂ y la pérdida fisiológica de peso, presentaron diferencias significativas, especialmente para los días 6, 9 y 12; lo anterior probablemente atribuido a la acumulación de gases debido principalmente a la poca permeabilidad del material película de BOPP/LDPE 54 μ del (EAM), evitando el intercambio gaseoso e inhibiendo que se genere un equilibrio entre la mezcla de vegetales mínimamente procesados y la atmósfera exterior. Similarmente, la mayor permeabilidad del empaque termoformado sello plus (EBSP), probablemente hace que se presente el mismo fenómeno pero en menor escala mostrando un equilibrio más balanceado entre los vegetales y el ambiente exterior haciendo que las tasas de producción de CO₂ sean inferiores, al igual que la pérdida fisiológica de peso con respecto al (EAM) (Kader, 1992; Welti-Chanes *et al.*, 2005; Vargas *et al.*, 2010).

Los resultados en los tratamientos aplicados concuerdan con los reportados por García (2008), quien con el uso de bajas temperaturas y de una alta humedad relativa logró controlar el déficit de vapor de agua y la alta tasa metabólica de los vegetales mínimamente procesados, también indicó, que si ambas condiciones no se lograban mantener estables en el tiempo se podía presentar una pérdida fisiológica de peso constante del materia vegetal durante su periodo de almacenamiento. Este efecto de la pérdida de peso y volátiles está relacionado directamente con la transpiración de agua, debido a la degradación de membranas celulares que provocan una descompartmentación de las moléculas, facilitando el contacto de enzimas y sustratos, lo cual desencadena este tipo de eventos, a la vez de la acumulación de metabolitos secundarios (Portela y Cantwell, 2001); lo anterior se manifiesta en el vegetal mediante el cambio en su apariencia y especialmente en la textura provocando una menor firmeza del mismo (Artés *et al.*, 2007). Resultados similares han reportado otros investigadores quienes encontraron el efecto de la temperatura y el tiempo de almacenamiento en la pérdida fisiológica de peso para una mezcla de vegetales mínimamente procesados (Rotondo *et al.*, 2007).

La Figura 1C muestra el cambio del pH en el tiempo de almacenamiento para los vegetales mínimamente procesados, variable que no presentó diferencia estadísticamente significativa; no obstante, para el día seis se puede apreciar que en ambos tipos de

empaques (EAM y EBSP) hubo un leve incremento del pH, para posteriormente decrecer hasta alcanzar valores similares a los del día cero. Resultados semejantes fueron observados por otros investigadores quienes realizaron un tratamiento térmico a 100 °C durante 45 s a zanahorias mínimamente procesadas, encontrando que el aumento en el pH se debía al incremento de la población microbiana de algunas especies de microorganismos que contribuían a ese fenómeno durante el almacenamiento de los vegetales mínimamente procesados (Alegria *et al.*, 2010).

La Figura 1D muestra los resultados de la calidad sensorial general de la mezcla de vegetales mínimamente procesados envasada en bandeja de PET laminada con película de tapa de BOPP/LDPE (EAM) y en bandeja de PET tipo cartera sello plus (EBSP) y almacenadas a 4 °C durante 12 días; el ANAVA del descriptor sensorial calidad general para la mezcla de vegetales mínimamente procesados no presentó diferencias significativas con respecto al factor tipo de empaque, excepto para el día 12 de almacenamiento, siendo menor el deterioro el de los vegetales empacados en (EBSP); sin embargo, se presentaron diferencias significativas (P<0,05) de la pérdida de la calidad general durante el tiempo de almacenamiento, mostrando tener una tendencia hacia el deterioro de las características sensoriales, apariencia, color, aroma y sabor que fueron analizadas individualmente, para poder emitir el juicio sobre la calidad general del producto; en particular; los panelistas encontraron que la disminución de la calidad general en el tiempo de almacenamiento estaba relacionada con parámetros como la pérdida de la firmeza encontrada como textura bucal de vegetales como brócoli y zucchini, además de la presencia de olores desagradables atribuidos en algún caso al brócoli y a la probable presencia de etanol, acetaldehído u otros compuestos orgánicos objetables en el producto. La pérdida de la textura en los vegetales es probable que esté relacionada con la pérdida fisiológica de peso (Figura 1B), mientras que la aparición de olores desagradables se debe posiblemente a la presencia de compuestos característicos del deterioro de los vegetales como glucosinolatos del brócoli cuando este es procesado (Eylen *et al.*, 2008). Las características sensoriales color y sabor presentaron menor afectación sensorial durante los 12 días de almacenamiento. De igual forma, los vegetales mínimamente procesados como zanahoria, chayote, coliflor y apio fueron menos afectados en su calidad general durante el tiempo de almacenamiento.

Para la estimación de la vida útil se utilizó el análisis Weibull a partir de la determinación de los tiempos de fallo para cada muestra de la mezcla de vegetales mínimamente procesados, establecidos por la evaluación de la calidad general sensorial expresada como aceptación/rechazo. Los parámetros estimados de la distribución y la prueba de bondad de ajuste, indicaron que para ambas bandejas los datos se ajustaron adecuadamente a dicha distribución, aceptando la idea de que el tiempo de vida proviene de una distribución

Weibull con 95% de confianza. La Tabla 2, muestra que admitiendo un 5% de unidades deterioradas, para la mezcla de vegetales mínimamente procesados envasada en la bandeja de PET laminada con película de tapa de BOPP/LDPE (EAM) y almacenados a 4 °C, la vida útil puede establecerse en 5 días; mientras que para la mezcla de vegetales mínimamente procesados envasada en bandeja PET tipo cartera (EBSP) y almacenados a 4 °C, puede establecerse para 7 días (Tabla 2).

Tabla 2. Valores críticos para tiempo de almacenamiento de la mezcla de vegetales mínimamente procesados envasada en bandeja de PET laminada con película de tapa de BOPP/LDPE (EAM) y en bandeja PET tipo cartera sello plus (EBSP) a 4 °C.

EAM		EBSP	
Unidades deterioradas (%)	Tiempo de vida útil (días)	Unidades deterioradas (%)	Tiempo de vida útil (días)
1	4,00326	1	5,92394
5	5,70522	5	7,39949
10	6,67145	10	8,16317
50	10,0472	50	10,5559
90	13,0428	90	12,4349

La unificación de los resultados de las variables de mayor impacto sobre la vida útil de los vegetales mínimamente procesados, envasados en PET laminada con película de tapa de BOPP/LDPE (EAM) y bandejas de PET tipo cartera sello plus (EBSP) almacenadas a 4 °C, se aprecia en la Figura 1D; donde la calidad sensorial general muestra una tendencia a disminuir durante el tiempo de almacenamiento, lo que se refleja en la aceptación/rechazo de la muestra durante el seguimiento de evaluación.

Por otra parte, se encontró relación, en ambos tipos de empaque, del parámetro fisiológico, la tasa de producción de CO₂ y la calidad sensorial general con el análisis de Weibull; donde, los gráficos de interacciones de Fisher LSD para la producción de CO₂ y para el descriptor calidad sensorial general, mostraron ambos una tendencia a sobrepasar el límite próximo a la aparición de reacciones de deterioro (porcentaje de CO₂ en el espacio de cabeza dentro de las bandejas superior a 10% y evaluación del descriptor calidad general inferior a 5 cm), valor en el cual las muestras fueron rechazadas por el panel sensorial entre los días 5 y 7, indicando una correlación con los resultados de vida útil reportado por el análisis probabilístico de Weibull que fue de 5 días para la bandeja de PET laminada con película de tapa de BOPP/LDPE

(EAM) y de 7 días para la bandeja de PET tipo cartera sello plus (EBSP), por lo tanto, el tipo de empaque y el tratamiento de atmósferas modificadas y el empaque con aire, influyen significativamente en la vida útil de los vegetales mínimamente procesados.

CONCLUSIONES

La tecnología de barreras es una alternativa viable e innovadora en la conservación de mezclas de vegetales mínimamente procesados envasados en bandejas de PET laminada con películas de tapa de BOPP/LDPE (EAM) y en bandejas de PET tipo cartera sello plus (EBSP), gracias a que los tratamientos utilizados permiten conservar sus características fisiológicas, fisicoquímica y la calidad sensorial general para un tiempo de almacenamiento o de vida útil de 5 y 7 días, respectivamente.

BIBLIOGRAFÍA

Ahn, H.J., J.H. Kim, J.K. Kim, D.H Kim, H.S. Yook and M.W. Byun. 2005. Combined effects of irradiation and modified atmosphere packaging on minimally processed Chinese cabbage (*Brassica rapa L.*). Food Chemistry 89(4): 589-597.

- Alegría, C., J. Pinheiro, E.M. Gonçalves, I. Fernandes, M. Moldão and M. Abreu. 2010. Evaluation of a pre-cut heat treatment as an alternative to chlorine in minimally processed shredded carrot. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 11(1): 155–161.
- Anonymous. 2007. Fresh-cut. The sector takes off in a big way but there is still a long road ahead. En: <http://www.fruittoday.com/articulos.php?id=1184161180215227&idioma=E>; consulta: abril 2013.
- Anzaldúa, M.A. 1994. La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica. Acribia, Zaragoza, España. 198 p.
- A.O.A.C. 1990. International Official Methods of Analysis of Association of Official Agricultural Chemists (AOAC) International. 15th edition. Helrich, K., Virginia, USA.
- Artés, F., M. Castañer and M.I. Gil. 1998. Enzymatic browning in minimally processed fruit and vegetables. *Food Science and Technology International* 4(6): 377–389.
- Artés, F. and A. Allende. 2005. Chapter 26: Minimal fresh processing of vegetables, fruits and juices. pp. 677–716. In: Da, W.S. (ed.). *Emerging technologies for food processing*. First edition. Elsevier, United States. 792 p.
- Artés, F., P. Gómez, E. Aguayo, V. Escalona. y F. Artés. 2007. Problemática de los alimentos vegetales mínimamente procesados en fresco. *Phytoma* 189: 124–130.
- Bico, S.L., M.F. Raposo, R.M.S. Morais and M.M. Morais. 2009. Combined effects of chemical dip and/or carrageenan coating and/or controlled atmosphere on quality of fresh-cut banana. *Food Control* 20(5): 508–514.
- Brasil, I.M., C. Gomes, A. Puerta, M.E. Castell and R.G. Moreira. 2012. Polysaccharide-based multilayered antimicrobial edible coating enhances quality of fresh-cut papaya. *Food Science and Technology* 47(1): 39–45.
- Camacho, C., B. Alfonzo, L. Ortiz, D. Bertorelli y F.D. Venanzi. 2001. Estudio de la estabilidad de las características químicas, microbiológicas y sensoriales de mazorcas refrigeradas de híbridos de maíz súper dulce. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 51: 180–186.
- Denoya, G. y M. Ardanaz. 2012. Aplicación de tratamientos combinados de aditivos sobre la inhibición del pardeamiento enzimático en manzanas cv. Granny Smith mínimamente procesadas. *Revista de Investigaciones Agropecuarias* 38(3): 263–267.
- Eylen, D.V., I.O. Hendrickx and A.V. Loey. 2008. Effects of pressure/temperature treatments on stability and activity of endogenous broccoli (*Brassica oleracea* L. cv. *Italica*) myrosinase and on cell permeability. *Journal of Food Engineering* 89(2): 178–186.
- Flores, A. 2000. Manejo postcosecha de frutas y hortalizas en Venezuela. Experiencias y Recomendaciones. Editorial Unellez, San Carlos, Cojedes. 320 p.
- García, A.D. 2008. Aplicación de la técnica IV Gama para la elaboración de ensaladas. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín* 61(2): 4658–4666.
- García, C., K. Cury y S. Dussan. 2010. Evaluación poscosecha y estimación de vida útil de guayaba fresca utilizando el modelo de Weibull. *Acta agronómica* 59(3): 347–355.
- Gupta, S., S. Chatterjee, J. Vaishnav, V. Kumar, P. Variyar and A. Sharma. 2012. Hurdle technology for shelf stable minimally processed French beans (*Phaseolus vulgaris*): A response surface methodology approach. *Food Science and Technology* 48(2): 182–189.
- Horvitz, S. and M. Cantalejo. 2013. Development of a new fresh-like product from 'Lamuyo' red bell peppers using hurdle technology. *Food Science and Technology* 50(1): 357–360.
- Hun, J.H. and A. Cennadios. 2005. Edible films and coatings: a review. *Innovations in Food Packaging*: 240–262.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (ICONTEC). 2009. NTC 5698. Microbiología de alimentos y alimentos para animales. método horizontal para la enumeración de mohos y levaduras. parte 1: técnica de recuento de colonias en productos con actividad acuosa aw superior a 0,95. Icontec, Bogotá. 11 p.
- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (ICONTEC). 2007. NTC 4574. Microbiología de alimentos y de alimentos para animales. Método horizontal para la detección de salmonella SPP. Icontec, Bogotá. 33 p.

- Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación. (ICONTEC). 2001. NTC 4899. Microbiología de alimentos para consumo humano y animal. Métodos para la detección de *Escherichia coli* O157. Icontec, Bogotá. 21 p.
- Kader, A. 1992. Atmósferas modificadas durante el transporte y almacenamiento de frutas y hortalizas frescas. *Alimentación, Equipos y Tecnología* 11(5): 94-102.
- Leistner, L. and G.W. Gould. 2002. Hurdle technologies: Combination treatments for food stability, safety and quality. Springer, New York. 194 p.
- Luna-Guzmán, I. and D.M. Barrett. 2000. Comparison of calcium chloride and calcium lactate effectiveness in maintaining shelf stability and quality of fresh-cut cantaloupes. *Postharvest Biology and Technology* 19(1): 61-72.
- Márquez, C., J.R. Cartagena y B. Pérez-Gago. 2009. Efecto de recubrimientos comestibles sobre la calidad en poscosecha del níspero japonés (*Eriobotrya japonica* T.). *VITAE* 16(3): 304-310.
- Montgomery, D.C. 2005. Introduction to statistical quality control. 5th edition. New York, Wiley. 729 p.
- Nguyen-the, C. and F. Carlin. 1994. The microbiology of minimally processed fresh fruits and vegetables. *CRC Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 34(4): 371-401.
- Ocampo, J. 2003. Determinación de la vida de anaquel del café soluble elaborado por la empresa decafé S.A. y evaluación del tipo de empaque en la conservación del producto. Trabajo de Grado, Facultad de Ingeniería y Arquitectura. Universidad Nacional de Colombia, Manizales. 104 p.
- Portela, S. and M. Cantwell. 2001. Cutting blade sharpness affects appearance and other quality attributes of fresh-cut cantaloupe melon. *Journal of Food Science* 66(9): 1265-1270.
- Restrepo, M.F. 1995. Evaluación sensorial de los alimentos. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 152 p.
- Restrepo, J.I. 2009. Conservación de fresa (*Fragaria x ananassa* Duch cv. *Camarosa*) mediante la aplicación de revestimientos comestibles de gel mucilaginoso de penca de sábila (*Aloe barbadensis* Miller). Tesis magister en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Facultad de Ciencias Agropecuarias. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 83 p.
- Rico, D., A. Martín, C. Barry, J. Frías. G. Henehan and J. Barat. 2007. Optimisation of steamer jet-injection to extend the shelf life of fresh-cut lettuce. *Postharvest Biology and Technology* 48(3): 431-442.
- Rodríguez, C., Q. Guzmán, C. Casóliba y M. Coronel. 2006. Calidad microbiológica de vegetales mínimamente procesados. Experiencias en el noroeste Argentino. *Revista del Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (UNSE)* 22: 99-106.
- Rotondo, R., I. Firpo, F. Drincovich, J. Ferratto y G. Polenta. 2007. Efecto de la temperatura y distintos envases sobre la calidad de pimiento (*Capsicum annum* L.) solo o mezclado con cebolla de verdeo (*Allium schoenoprasum* L.) mínimamente procesados. *Información Técnica Económica Agraria* 103(2): 95-103.
- Santos, M.I., A. Cavaco, J. Gouveia, M.R. Novais, P. J. Nogueira, L. Pedroso and M.A. Ferreira. 2012. Evaluation of minimally processed salads commercialized in Portugal. *Food Control* 23(1): 275-281.
- Salinas, R., G. González, M. Pirovani, y F. Uñin. 2007. Modelación del deterioro de productos frescos cortados. *Universidad y Ciencia* 23(2): 183-196.
- Vargas, L., J. Tamayo, A. Centurión, E. Tamayo, S. Crescenciano and S. Enrique. 2010. Vida útil de de pitahaya (*Hylocereus undatus*) mínimamente procesada. *Revista Iberoamericana de Tecnología postcosecha* 11(2): 154-161.
- Walti-Chanes, F., J. Vergara, R. Guerrero, T. García y R. Villa. 2005. Métodos, criterios y modelación para la selección de películas plásticas en atmósferas modificadas. pp. 1-48. En: *Memorias II Simposio Internacional de Innovación y Desarrollo de Alimentos*.
- Yildiz, F. 1994. Capítulo 2: Initial preparation, handling and distribution of minimally processed refrigerated fruits and vegetable. pp. 15-65. In: Robert C. Wiley (ed.). *Minimally processed refrigerated fruits and vegetable*. Chapman and Hall, New York. 368 p.

