

EFFECTO DE LA LUZ UV-C Y ÁCIDO MÁLICO SOBRE POBLACIONES DE *Rhodotorula glutinis* Y VIDA ÚTIL DE REBANADAS DE PAPAYA ‘MARADOL’

María Calderón-Gabaldón¹, Rosa Raybaudi-Massilia¹, Jonathan Mosqueda-Melgar¹ y María Tapia¹

RESUMEN

Se estudió el efecto de diferentes dosis de luz UV-C y ácido málico sobre *Rhodotorula glutinis* (flora deteriorativa predominante) en trozos de papaya variedad “Maradol” inoculadas. Papayas frescas cortadas fueron sumergidas en soluciones que contenían ácido málico (0, 0,5; 1,0 y 1,5 %), lactato de calcio (1 %) y ácido ascórbico (0,5 %) durante 1 min, luego inoculadas sobre su superficie con un cultivo puro de *R. glutinis* (10^7 UFC·g⁻¹) y después tratadas con luz UV-C (0; 0,96; 2,88; 5,76 y 8,64 kJ·m⁻²). Se observaron diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre los recuentos de *R. glutinis* en las rebanadas frescas tratadas, encontrándose que 1,5 % de ácido málico y una dosis de luz UV-C de 8,64 kJ·m⁻² ejercieron la mayor inactivación de la población (6,3 log UFC·g⁻¹). Esta combinación de tratamiento fue empleada para evaluar el efecto sobre la extensión de la vida útil microbiológica y fisicoquímica, así como en los atributos sensoriales de los trozos de papaya. Se observó una inhibición significativa del crecimiento de las poblaciones de aerobios mesófilos, psicrófilos, mohos y levaduras; así como un mantenimiento durante 16 días de las propiedades fisicoquímicas tales como color y firmeza a lo largo del almacenamiento a 5 °C. Asimismo, la evaluación sensorial de rebanadas de papaya fresca tratadas, no mostró diferencias ($P > 0,05$) en comparación con muestras control. Estos resultados demuestran que el uso de luz UV-C en combinación con sustancias estabilizantes como ácido málico, lactato de calcio y ácido ascórbico puede ser una buena alternativa en la conservación de frutas frescas cortadas.

Palabras claves adicionales: Atributos sensoriales, parámetros microbiológicos, sustancias estabilizantes

ABSTRACT

Effect of UV-C light and malic acid on *Rhodotorula glutinis* and shelf-life of fresh-cut ‘Maradol’ papaya

The effect of different doses of UV-C light and malic acid on *Rhodotorula glutinis* (predominant spoilage flora) inoculated on pieces of ‘Maradol’ papaya was studied. Fresh-cut papayas were dipped into solutions containing malic acid (0, 0.5, 1.0, and 1.5%), calcium lactate (1%) and ascorbic acid (0.5%) by 1 min. Afterward, the samples were inoculated on their surfaces with a pure culture of *R. glutinis* (10^7 UFC·g⁻¹), and then treated with UV-C light (0, 0.96, 2.88, 5.76 y 8.64 kJ·m⁻²). Significant differences ($P \leq 0.05$) among counts of *R. glutinis* on treated fresh-cut papaya were observed. A higher inactivation (6.3 log UFC·g⁻¹) was found when 1.5% malic acid and a dose of UV-C light of 8.64 kJ·m⁻² were used. This combination was used to assess the effect on the microbiological and physicochemical shelf-life extension, as well as on sensory attributes of pieces of papaya. A significant inhibition of the growth of populations of aerobic mesophilic, psychrophilic, molds, and yeasts; as well as maintenance of physico-chemical properties such as color and firmness during storage for 16 days at 5 °C was observed. Likewise, the sensory evaluation of fresh-cut papaya treated, showed no significant differences ($P > 0.05$) in comparison with control samples. These results showed that UV-C light in combination with stabilizer substances such as malic acid, calcium lactate and ascorbic acid can be a good alternative in the preservation of fresh-cut fruits.

Additional key words: Sensory attributes, microbiological parameters, stabilizer substances

INTRODUCCIÓN

El cambio en los hábitos alimenticios de los consumidores unido al deseo de adquirir productos más frescos, con la menor cantidad posible de aditivos, y saludables que prevengan

enfermedades, ha hecho que la producción y consumo de frutas frescas o con mínimo proceso hayan incrementado en los últimos años (Rico et al., 2007). Por lo tanto, la calidad en este tipo de productos altamente perecederos y susceptibles al ataque microbiano y al oscurecimiento enzimático

Recibido: Noviembre 9, 2011

Aceptado: Mayo 7, 2012

¹ Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Central de Venezuela. Apdo. 47097 Caracas. Venezuela. e-mail: rosa.raybaudi@ciens.ucv.ve

debería ser garantizada. Para ello, los centros de investigación de universidades e institutos han venido aplicando una serie de alternativas tecnológicas (individuales o combinadas) que tratan de garantizar la calidad e inocuidad microbiológica sin afectar significativamente los atributos sensoriales. Una de ellas es la irradiación con luz ultravioleta (UV-C; 254 nm) la cual ha demostrado reducir el número de microorganismos en la superficie de las frutas y hortalizas frescas cortadas, sin un impacto significativo sobre las propiedades físico-químicas y sensoriales (Rivera-Pastrana et al., 2007; Gómez et al., 2010). El efecto germicida de la luz UV-C ha sido reconocido por más de un siglo. Adicionalmente, la aplicación de luz UV-C puede inducir mecanismos de defensa en tejidos vegetales metabólicamente activos y provocar la producción de fitoalexinas (sustancias con propiedades antifúngicas) y de otros mecanismos de defensa tales como modificaciones de la pared celular, enzimas de defensa y aumento en la actividad antioxidante (González-Aguilar et al., 2006).

Por otro lado, durante el procesamiento de las frutas frescas, la integridad del tejido vegetal es fácilmente alterable debido a las operaciones mecánicas (lavado, pelado, cortado) ya que las lesiones pueden causar deslocalización celular de las enzimas y sustratos que conducen a deterioraciones bioquímicas tales como oscurecimiento enzimático, cambios indeseables de sabor y olor, y ablandamiento de la textura (Gómez et al., 2010). Aunque, el escaldado en agua o vapor caliente ha sido ampliamente utilizado en la industria de frutas para inactivar térmicamente las enzimas como la PPO (polifenol oxidasa) y evitar cambios indeseables en la textura del tejido, otros métodos más económicos han sido probados para inhibir también la actividad de la PPO y evitar cambios de color en las frutas. Uno de ellos, es el empleo de ácidos orgánicos (ácido ascórbico, cítrico, málico) como agentes reductores o antioxidantes en combinación con sales de calcio (lactato de calcio, cloruro de calcio) como agentes retenedores de la textura, los cuales han demostrado, respectivamente, inhibir el oscurecimiento enzimático y mantener la firmeza de los tejidos vegetales (Rojas-Graü et al., 2008; Alandes et al., 2009), además de servir

como sustancias conservantes para controlar o inhibir el crecimiento de microorganismos patogénicos y deteriorativos (Raybaudi-Massilia et al., 2007; 2009b; 2009c).

Venezuela se caracteriza por producir diferentes tipos de frutas tropicales con atractivos colores, y agradables sabores y olores, que ofrecen importantes beneficios para la salud. Entre ellas, la papaya (*Carica papaya* L.) la cual tiene una gran aceptación por parte del consumidor debido a su alto rendimiento y valor nutritivo, representando una buena alternativa para ser comercializada como producto fresco cortado. Sin embargo, la papaya al ser procesada en forma de producto fresco cortado, por su alto pH (5,5-5,9) se hace más susceptible a la contaminación por parte de microorganismos patógenos y deteriorativos, particularmente la levadura *Rhodotorula glutinis*. En tal sentido, la irradiación de papaya fresca cortada con bajas dosis de luz UV-C en combinación con ácido málico, ácido ascórbico y lactato de calcio podrían mitigar estos problemas y conservar las características organolépticas y nutricionales del producto.

Por lo tanto, el objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la irradiación con luz UV-C en combinación con bajas concentraciones de ácido málico como sustancia antimicrobiana, y de ácido ascórbico y lactato de calcio como sustancias estabilizadoras del color y textura, respectivamente, sobre la vida útil de papaya fresca cortada.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se utilizaron papayas (cv. Maradol roja) en estado de madurez intermedia o de madurez comercial. Las frutas fueron donadas por la empresa Tafayet, principal firma que distribuye en las cadenas de supermercados y abastos de la zona metropolitana de la ciudad de Caracas. La fruta fue caracterizada midiendo sólidos solubles (refractómetro portátil), acidez titulable (expresada como g de ácido málico por 100 g de fruta), pH, firmeza (analizador de textura TA.XT2i, Stable Micro Systems) y color de la pulpa (espectrofotómetro ColorFlex mod. 45°/0°, Hunterlab).

A partir de la papaya fresca cortada sin

tratamiento, empacada bajo condiciones normales de atmósfera y almacenada a 5 °C por una semana, se aisló e identificó la levadura predominante mediante galerías API 20C AUX (bioMérieux). Este microorganismo deteriorativo fue luego utilizado para experimentos de inoculación. Además, una curva de crecimiento de este microorganismo fue realizada a 25 °C por 72 h sin agitación. Para los experimentos de inoculación, un cultivo puro de *R. glutinis*, la levadura predominante, fue cultivada en caldo extracto de malta hasta alcanzar la fase estacionaria temprana, la cual fue obtenida luego de 24 h de crecimiento en la condiciones antes mencionada.

Se aplicaron agentes estabilizantes de la calidad fisicoquímica y microbiológica a los trozos de papaya mediante tratamiento de inmersión por 1 minuto. Se emplearon lactato de calcio, como agente estabilizante de la textura, y ácido ascórbico, como agente antioxidante (estabilizante del color), en concentraciones de 1% p/v y 0,5% p/v, respectivamente, en combinación con diferentes concentraciones (0, 0,5; 1 y 1,5 p/v) de ácido málico, como agente antimicrobiano, en tratamientos de inmersión. También se prepararon muestras tratadas con agua destilada únicamente y tratadas con los agentes estabilizantes de textura y color, como controles.

Se utilizó un equipo de luz UV (Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, UCV) con una fuente de irradiación de lámparas germicidas (UV-C) (Sylvania 15 watts G15T8). Las papayas frescas cortadas con o sin tratamiento con agentes estabilizantes e inoculadas o no, fueron colocadas en bolsas de poliestireno (PS) a una distancia de 15 cm de las lámparas y se irradiaron por ambas caras con diferentes dosis de UV-C calculadas mediante la ecuación $DUV=(I) \times (t_E)$, donde DUV es la dosis de irradiación ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$), I es la intensidad de irradiación ($\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$) y t_E es el tiempo de exposición (s). La irradiación se calculó en base a un promedio de 10 lecturas empleando un radiómetro/fotómetro (International Light, mod. IL400A) y los tiempos de exposición fueron 0, 1, 3, 6 y 9 min. Esto dio origen a cinco dosis de irradiación (0; 0,96; 2,88; 5,76 y $8,64 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$).

Las papayas enteras fueron seleccionadas de acuerdo al peso, tamaño y madurez uniforme, libres de daños y de defectos físicos. Se lavaron con una solución desinfectante de hipoclorito de

sodio (200 ppm) por 3 min, se enjuagaron con agua potable y finalmente se secaron con papel absorbente. Luego se pelaron y cortaron en rodajas de 0,7 x 3,5 x 2,5 cm con una rebanadora (Waring Pro, mod. FS150) e inmediatamente fueron sumergidas por 1 min en una solución con lactato de calcio (1 %), ácido ascórbico (0,5 %) y ácido málico a diferentes concentraciones, según el diseño experimental. El exceso de líquido fue eliminado por escurrido natural. Luego, 25 g de los trozos de papaya ‘Maradol’ tratadas fueron inoculadas por una de sus caras uniformemente con 250 μL del cultivo puro de *R. glutinis* para obtener un nivel final en el producto de $10^5 \text{ UFC}\cdot\text{g}^{-1}$. Luego de 10 min las muestras fueron colocadas en bolsas PS (dos bolsas por condición de tratamiento) y posteriormente fueron sometidas a las diferentes dosis de irradiación UV-C.

Se empleó un diseño factorial de múltiples niveles que consistió de 25 combinaciones, realizadas con dos repeticiones, para un total de 50 corridas. Los niveles para los factores fueron de cinco para las dosis de irradiación ya señaladas, y cinco para las condiciones de inmersión (uno con sólo agua y cuatro con la solución de lactato de calcio y ácido ascórbico, más ácido málico en las concentraciones antes indicadas). El orden de los tratamientos fue realizado de manera aleatoria para evitar las variables de confusión que pudieran distorsionar las medidas entre variables. Se evaluaron controles con papaya tratada con sólo agua destilada o tratada con lactato de calcio más ácido ascórbico con el objeto de conocer el efecto de los tratamientos de luz UV-C y ácido málico solos.

El tratamiento combinado de ácido málico y dosis de UV-C que resultó ideal para inactivar *R. glutinis* se empleó posteriormente para evaluar la extensión de la vida útil de la papaya sin inocular. Para ello, las muestras fueron tratadas o no con una solución de lactato de calcio (1 %), ácido ascórbico (0,5 %) y ácido málico (1,5 %), irradiadas con luz UV-C en dosis de $8,64 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$, envasadas en bandejas de polipropileno (PP), selladas bajo atmósfera normal (aire 21 kPa O_2 y 0,03 kPa CO_2) con una selladora (Rotopack SRL mod. SVM, Vacuum systems) y almacenadas a 5 °C por 16 días.

Para el análisis microbiológico, se realizó el

recuento de la población de *R. glutinis* inoculada en trozos de papaya fresca tratada o no, efectuado en agar cloranfenicol glucosa (CGA, Himedia) por el método de profundidad, y las placas fueron incubadas durante 3-5 días a 25 °C. El recuento de aerobios mesófilos, psicrófilos, mohos y levaduras en trozos de papaya fresca tratada o no se realizó a los 0, 2, 4, 8, 13 y 16 días de almacenamiento a 5 °C para evaluar la influencia de las alternativas tecnológicas empleadas sobre la flora nativa. El recuento de microorganismos mesófilos y psicrófilos fue realizado de acuerdo a la norma ISO 4833:1991 empleando el agar "plate count" (PCA, Himedia) y por el método de profundidad. Las placas de microorganismos mesófilos fueron incubadas a 35 °C durante 24-48 horas, mientras que para los microorganismos psicrófilos fueron incubadas a 5 °C durante 10-14 días. Para el recuento de mohos y levaduras se utilizó la norma ISO 7954:1987 empleando el agar dicloran Rosa de Bengala cloranfenicol (DRBC, Himedia) y siembra por superficie. Las placas de mohos y levaduras fueron incubadas a temperatura ambiente (aproximadamente 25 °C) por 3-5 días. Todos los recuentos microbiológicos fueron expresados como $\text{Log}_{10} \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$ de muestra y reportados como el valor promedio de dos determinaciones hechas en duplicado ($n=4$).

La determinación de la firmeza se realizó en las rodajas de papaya tratadas o no a los 0, 2, 4, 8, 13 y 16 días de almacenamiento a 5 °C usando un texturómetro TA.XT2i (Stable Micro Systems) con los siguientes parámetros de operación: plato de compresión P/75, diámetro externo del plato 75 mm, velocidad pre-ensayo $2 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, velocidad de ensayo $1 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, velocidad post-ensayo $10 \text{ mm} \cdot \text{s}^{-1}$, distancia de compresión 90 %. Se realizaron 10 determinaciones por cada tratamiento.

La determinación del color superficial de las rodajas de papaya tratadas o no, se midió a los 0, 2, 4, 8, 13 y 16 días de almacenamiento a 5 °C por medio del colorímetro antes descrito y se determinaron los parámetros L^* (luminosidad), a^* (cromaticidad verde) y b^* (cromaticidad amarilla) previa calibración con láminas blanca y negra. Se realizaron 3 lecturas por cada tratamiento.

La evaluación sensorial se realizó en rodajas de papaya tratadas con la combinación de ácido málico y dosis de UV-C que resultó ideal,

preparadas el mismo día y después de almacenadas durante 7 días a 5 °C (tiempo seleccionado basado en la duración promedio de este tipo de producto sin tratamiento) fueron utilizadas para realizar una prueba de evaluación sensorial afectiva de aceptación, empleando una escala hedónica del 1 (me disgusta mucho) al 7 (me gusta mucho) con un panel piloto de consumidores de 30 personas no entrenadas, en una edad comprendida entre 20 y 60 años, de diferentes estratos socio-económicos como sugerida por Watts et al. (1992). Las muestras control fueron también evaluadas.

El crecimiento microbiano (aerobios mesófilos, psicrófilos, mohos y levaduras) durante la vida útil fue modelado por la ecuación de Gompertz, modificada por Zwietering et al. (1990):

$$Y = k + A \cdot \exp \{- \exp [(\mu_{\max} \cdot 2,7182/A)(\lambda - t) + 1]\},$$

donde Y es el recuento de microorganismos para un determinado tiempo ($\text{log}_{10} \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$), k es la carga bacteriana inicial estimada por el modelo ($\text{log}_{10} \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$), A es el crecimiento máximo del microorganismo alcanzado en la fase estacionaria ($\text{log}_{10} \text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}$), μ_{\max} : es el crecimiento máximo por día [$\text{log}_{10} (\text{UFC} \cdot \text{g}^{-1}) \cdot \text{día}^{-1}$], λ es la fase de latencia (días) y t es el tiempo de almacenamiento (días).

La ecuación de Gompertz modificada fue re-arreglada para calcular la vida útil de las papayas frescas cortadas tratadas o no desde el punto de vista microbiológico, tomando en cuenta la regulación española para el procesamiento, distribución y comercio de comidas preparadas (B.O.E., 2001), la cual indica que el límite máximo permitido de microorganismos aerobios mesófilos para la fecha de caducidad del producto es de $10^7 \text{ UFC} \cdot \text{g}^{-1}$. De igual modo, la vida útil fue calculada para las poblaciones de microorganismos psicrófilos, mohos y levaduras dada la importancia que puedan tener para la fruta fresca cortada almacenada a temperaturas de refrigeración.

Los resultados obtenidos para parámetros fisicoquímicos, microbiológicos y sensoriales fueron analizados aplicando un análisis de varianza para determinar diferencias estadísticas entre muestras tratadas y control, y a lo largo del tiempo de almacenamiento.

Los análisis estadísticos fueron realizados utilizando el programa Statgraphics centurion XV

(StatPoint Technologies. Warrenton, VA).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización de la papaya: En el Cuadro 1 se muestran los valores de pH, sólidos solubles, acidez titulable, textura y color que fueron encontrados en la papaya fresca cortada de madurez comercial para su caracterización. Estos parámetros fueron medidos para garantizar que las papayas utilizadas en los diferentes estudios o replicas presentaran el mismo estado de madurez, ya que ésta es una condición que puede influir notablemente sobre los resultados. Éstos fueron similares a los reportados en papayas variedad Maradol por Santamaría-Basulto et al. (2009), quienes mostraron que papayas después de 10 días de maduración (intermedia o comercial) tuvieron valores de textura (aproximadamente 27 N), sólidos solubles (aproximadamente 10 %) y color (aproximadamente L*: 50; a*: 23; b*: 36), y por Belandria et al. (2010), quienes indicaron que los parámetros físico-químicos pH, sólidos solubles y acidez titulable fueron 5,47 unidades, 9,48 % y 0,05%, respectivamente.

Cuadro 1. Propiedades fisicoquímicas de la papaya 'Maradol' fresca cortada, de madurez intermedia

Parámetro	Papaya de madurez intermedia ($\bar{X} \pm SD$)
pH	5,60 ± 0,01
Sólidos solubles (%)	9,36 ± 0,10
Acidez total (ác. málico-g por 100 mL)	0,09 ± 0,20
Color	
L*	43,47 ± 0,40
a*	29,34 ± 0,09
b*	42,70 ± 0,03
Firmeza (N)	31,70 ± 3,20

n = 3 para pH, sólidos solubles y acidez total; n = 10 para color y firmeza

Efecto de la luz UV-C y ácido málico sobre *R. glutinis* inoculadas en papaya fresca cortada:

La reducción de las poblaciones de *R. glutinis* no fue afectada ($P > 0,05$) cuando las sustancias estabilizadoras de la calidad (lactato de calcio y ácido ascórbico) fueron aplicadas sobre las papayas frescas cortadas en comparación con las

muestras tratadas sólo con agua (Figura 1). Sin embargo, cuando el ácido málico fue incorporado en los tratamientos de inmersión se observaron diferencias ($P \leq 0,05$) en comparación con las muestras control. Reducciones de alrededor de 5 log de la población de la levadura inoculada fueron obtenidas independientemente de la concentración utilizada de ácido málico (0,5 a 1,5 %). El efecto antimicrobiano del ácido málico podría atribuirse a una disminución del pH del citoplasma celular causada por la internalización de las moléculas no disociadas del ácido orgánico, las cuales podrían afectar las funciones celulares. Estas moléculas pueden entrar libremente a través de canales de agua formados por proteínas transmembranas (porinas) las cuales están incrustadas en la bicapa lipídica, y acidificar el medio interno de la célula microbiana afectando el material genético y la señalización celular (Raybaudi-Massilia et al., 2009a; 2009d).

No obstante, cuando diferentes dosis de luz UV-C fueron aplicadas sobre las papayas frescas cortadas, tratadas o no, con las sustancias estabilizantes de la calidad y/o ácido málico, se lograron mayores reducciones microbianas observándose una mayor actividad antimicrobiana a medida que aumentaba la dosis de luz UV-C. Reducciones microbianas alrededor de 5 log con una dosis de luz UV-C de 0,96 kJ·m⁻² fueron logradas con sólo el efecto de la irradiación (Figura 1). Estos resultados demuestran la alta sensibilidad de la levadura a la irradiación ultravioleta. Sin embargo, las máximas reducciones de *R. glutinis* fueron logradas (> 6,3 log) cuando una combinación de una dosis de luz UV-C de 8,64 kJ·m⁻² con ácido málico al 1,5 % fue aplicada. El análisis del diseño multifactorial demostró que ésta fue la mejor combinación para reducir la mayor cantidad de ciclos logarítmicos del microorganismo deteriorativo predominante (*R. glutinis*) en la papaya fresca cortada.

Estudios similares que demuestren los efectos de la aplicación de luz UV-C sola o en combinación con ácidos orgánicos para reducir o controlar *R. glutinis* en papaya fresca cortada no fueron encontrados en la literatura. Sin embargo, existen estudios que han reportado que el uso de bajas dosis de UV-C ha sido efectivo para prolongar la vida útil de frutas y vegetales frescos cortados (González-Aguilar et al., 2006; Allende

et al., 2006; Fonseca y Rushing, 2006).

Estabilidad microbiana en papaya fresca cortada sin tratar y tratada con la mejor combinación de luz UV-C y ácido málico: En el Cuadro 2 se muestran las diferencias encontradas entre los recuentos de microorganismos para muestras tratadas y sin tratar, y en el Cuadro 3 aparecen los parámetros de la ecuación de Gompertz modificada, los cuales describen el crecimiento de mesófilos, psicrófilos, mohos y levadura, y predicen la vida útil microbiológica de papayas fresca cortadas.

Los resultados observados en Cuadro 2 demostraron que un crecimiento significativo ($P \leq 0,05$) de las diferentes poblaciones nativas ocurrió en papayas frescas cortadas durante el tiempo de almacenamiento, independientemente de la condición utilizada (tratadas o no). También se observó que la combinación de UV-C (8,64

$\text{kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) y ácido málico (1,5 %), más lactato de calcio (1%) y ácido ascórbico (0,5 %) ejerció un efecto significativo ($P \leq 0,05$) sobre los recuentos de esas poblaciones, mostrando las papayas frescas cortadas tratadas, menores recuentos de microorganismos mesófilos y psicrófilos que las tratadas sólo con agua destilada.

Por el otro lado, se observó que el crecimiento de microorganismos psicrófilos, mohos y levaduras fue retardado por la acción antimicrobiana ejercida por el ácido málico añadido y la luz ultravioleta aplicada (Cuadro 3), ya que se encontró un menor crecimiento en la fase estacionaria (A). Además, se aprecia que las poblaciones de aerobios mesófilos, psicrófilos, mohos y levaduras en las muestras tratadas presentaron mayores valores de λ y menores valores de tasa de crecimiento (μ_{max}) que en las muestras sin tratar, lo que demuestra que su crecimiento fue inhibido.

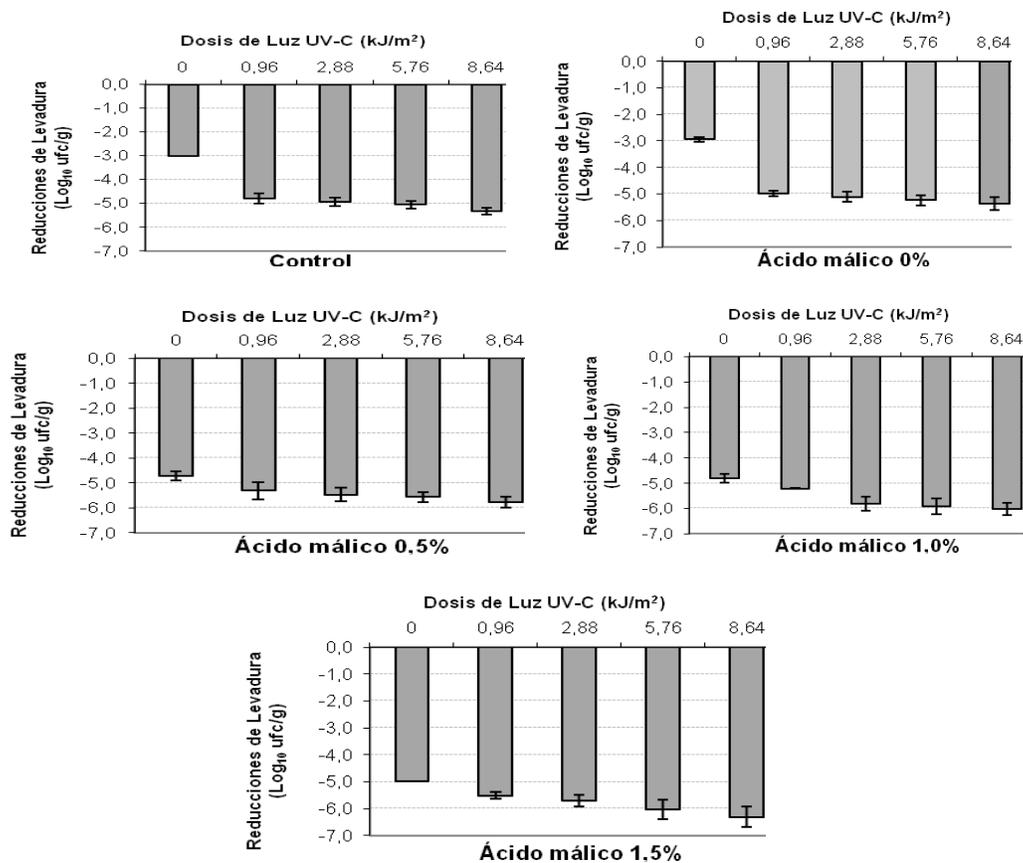


Figura 1. Reducciones de *Rhodotorula glutinis* en función de la aplicación de diferentes dosis de luz UV-C sobre papaya ‘Maradol’ fresca cortada tratada sólo con agua (control) y en combinación con distintas concentraciones de ácido málico en solución con estabilizantes de color y firmeza

Cuadro 2. Comportamiento de la flora nativa en papaya ‘Maradol’ fresca cortada tratada y no tratadas, almacenadas durante 16 días a 5 °C

Días	Mesófilos		Psicrófilos		Mohos y levaduras	
	Control	Tratada	Control	Tratada	Control	Tratada
0	2,27 Aa	1,46 Ba	2,66 Aa	2,41 Ba	2,56 Aa	2,15 Aa
2	2,47 Aa	2,47 Bb	3,30 Ab	2,90 Bab	3,16 Ab	2,73 Aa
4	3,89 Ab	3,46 Bc	3,83 Ac	3,38 Bb	4,73 Ac	3,88 Ab
8	4,47 Ac	3,92 Bcd	5,06 Ad	4,25 Bc	5,59 Ad	4,84 Ac
13	6,08 Ad	4,08 Bde	6,81 Ae	5,20 Bd	6,24 Ae	5,35 Acd
16	6,04 Ad	4,46 Be	7,12 Af	5,90 Be	6,78 Af	5,91 Ad

Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre muestras (control vs. tratada). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre los recuentos microbianos en el tiempo. Control: muestras sumergidas sólo en agua. Tratada: muestras tratadas con luz UV-C ($8,64 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) y ácido málico (1,5 %)

Cuadro 3. Parámetros de la ecuación de Gompertz modificada que describen el crecimiento de mesófilos, psicrófilos, mohos y levaduras, para predecir la vida útil microbiológica de papaya ‘Maradol’ fresca cortada tratada y no tratada, almacenadas durante 16 días a 5 °C ($\bar{X} \pm \text{SD}$)

Microorganismos	Parámetros				
	K	A	λ	μ_{max}	R^2
Aerobios control	$1,436 \pm 1,179$	$5,268 \pm 1,673$	$0,737 \pm 0,945$	$0,351 \pm 0,041$	96,02
Psicrófilos control	$2,136 \pm 0,355$	$6,357 \pm 0,777$	$4,902 \pm 0,485$	$0,348 \pm 0,017$	99,49
Mohos y levaduras control	$0,881 \pm 1,983$	$5,927 \pm 2,170$	$0,175 \pm 2,489$	$0,499 \pm 0,066$	97,45
Aerobios tratada	$1,416 \pm 0,181$	$2,777 \pm 0,211$	$1,287 \pm 0,297$	$0,346 \pm 0,118$	94,74
Psicrófilos tratada	$2,141 \pm 0,247$	$4,883 \pm 0,676$	$5,806 \pm 0,531$	$0,266 \pm 0,015$	99,29
Mohos y levaduras tratada	$1,846 \pm 0,351$	$4,033 \pm 0,468$	$2,635 \pm 0,628$	$0,420 \pm 0,046$	97,15

K: carga bacteriana inicial estimada por el modelo ($\log_{10} \text{ UFC}\cdot\text{g}^{-1}$); A: crecimiento máximo del microorganismo alcanzado en la fase estacionaria ($\log_{10} \text{ UFC}\cdot\text{g}^{-1}$); μ_{max} : crecimiento máximo por día ($\log_{10} \text{ UFC}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{día}^{-1}$); λ : fase de latencia (días); R^2 : coeficiente de determinación

La vida útil de las papayas frescas cortadas tratadas o no desde el punto de vista microbiológico para las poblaciones de microorganismos aerobios mesófilos, psicrófilos, mohos y levaduras se muestra en el Cuadro 4.

La papaya tratada tuvo una vida útil mayor de 16 días, lo que permite deducir que el tratamiento ofreció protección contra el crecimiento de mesófilos, psicrófilos, mohos y levaduras, ya que los recuentos obtenidos de estas poblaciones fueron inferiores a los límites permisibles establecidos de $10^7 \text{ UFC}\cdot\text{g}^{-1}$. Similares resultados fueron reportados por Símpalo et al. (2007) quienes determinaron una vida útil de 16 días en papaya mínimamente procesada, tratada con soluciones de diferentes concentraciones de cloruro de calcio y almacenadas en refrigeración bajo atmósferas controladas. Por otro lado, la vida útil de la papaya no tratada, fue limitada únicamente por los microorganismos psicrófilos, y su vida útil resultó

menor a 16 días.

Cuadro 4. Tiempo de vida útil en papaya ‘Maradol’ fresca cortada tratada y no tratada, almacenadas durante 16 días a 5 °C

Microorganismos	Papayas control (días)	Papayas tratadas (días)
Aerobios	>16	>16
Psicrófilos	>14	>16
Mohos y levaduras	>16	>16

Control: muestras sumergidas sólo en agua. Tratadas: muestras tratadas con luz UV-C ($8,64 \text{ kJ}/\text{m}^2$) y ácido málico (1,5 %)

Estabilidad fisicoquímica en papaya fresca cortada sin tratar y tratada con la mejor combinación de luz UV-C y ácido málico: Las diferencias entre el pH de las muestras control y las tratadas (luz UV-C y ácido málico) de papayas frescas cortadas se muestran en el Cuadro 5. Estas

diferencias ($P \leq 0,05$) son atribuidas al tratamiento con ácido ascórbico, como sustancia estabilizante del color y ácido málico como sustancia antimicrobiana, los cuales causaron una reducción del pH desde el inicio del experimento. Además se aprecia que los valores de pH fueron disminuyendo paulatina y significativamente ($P \leq 0,05$) a lo largo del tiempo de almacenamiento en las rebanadas de papaya fresca sin tratar. Este resultado podría deberse a un crecimiento de la flora nativa, la cual pudo haber producido compuestos o metabolitos que originaron ese descenso de pH. Esta misma tendencia fue reportada por Hernández et al. (2005) y Tapia (2007) quienes observaron un descenso del pH en trozos de papaya a lo largo del almacenamiento en refrigeración.

Cuadro 5. Cambios de pH en papaya ‘Maradol’ fresca cortada, tratada con luz UV-C y ácido málico, almacenada durante 16 días a 5 °C

Días	Control	Tratadas
0	5,73 Aa	4,35 Ba
2	5,36 Ab	4,32 Bab
4	5,12 Ac	4,30 Bab
8	4,97 Ad	4,29 Bab
13	4,88 Ae	4,17 Bc
16	4,73 Af	4,13 Bd

Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre muestras (control vs. tratada). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) del pH durante el tiempo de almacenamiento para un mismo tratamiento. Control: muestras sumergidas sólo en agua. Tratada: muestra tratada con luz UV-C ($8,64 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) y ácido málico (1,5 %). $n = 6$

Por otra parte, los valores de pH en las rebanadas de papaya fresca cortadas tratadas tuvieron una ligera tendencia a disminuir, no encontrándose diferencias significativas ($P > 0,05$) hasta el octavo día de almacenamiento, lo que permite deducir que el tratamiento aplicado de alguna manera retrasó el crecimiento microbiano de la flora nativa en este tiempo, así como también el proceso de maduración de la fruta.

Con relación a la textura, en el Cuadro 6 se observa que la firmeza disminuyó a lo largo del tiempo de almacenamiento en ambos tipos de muestras, sin tratar y tratadas, detectándose diferencias significativas ($P \leq 0,05$) entre ellos y durante el almacenamiento. En las muestras

tratadas con luz UV-C y ácido málico los trozos de papaya mantuvieron una mejor firmeza a lo largo del tiempo de almacenamiento en comparación con las muestras control. Este hecho puede ser atribuido a los compuestos añadidos en la solución de inmersión, como es el caso del lactato de calcio. Alandes et al. (2006) y Rico et al. (2007) reportaron que el calcio (Ca^{+2}) interactúa con pectinas de la pared celular y la lámina media para formar una red de polímero entrelazada que aumenta la resistencia mecánica, y hace más firme el enlazamiento molecular entre los componentes de la pared celular. El calcio, por lo tanto, retrasa la senescencia post-cosecha, controla el desarrollo de trastornos fisiológicos y hace la textura más firme. Por otra parte, Rivera-Pastrana et al. (2007) indicaron que la aplicación de luz UV-C puede disminuir la actividad de las enzimas poligalacturonasa, pectin metilesterasa, xilanasa, celulasa y β -D-galactosidasa, las cuales degradan la pared celular, en un mecanismo muy parecido al del calcio, al involucrar la formación de enlaces catiónicos cruzados con ácidos pécticos y otros polisacáridos, lo que también explicaría el retraso ocasionado en el proceso de maduración y senescencia producido por la dosis de UV-C aplicada.

Cuadro 6. Cambios de firmeza en papaya ‘Maradol’ fresca cortada, tratada con luz UV-C y ácido málico, almacenada durante 16 días a 5 °C

Días	Control	Tratadas
0	31,71 Aa	39,64 Ba
2	27,87 Ab	37,65 Ba
4	25,46 Ac	31,41 Bb
8	24,09 Ad	28,22 Bc
13	16,99 Ae	24,33 Bd
16	10,23 Af	18,04 Be

Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre muestras (control vs. tratada). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) de la firmeza durante el tiempo de almacenamiento, para un mismo tratamiento. Control: muestras sumergidas sólo en agua. Tratada: muestras tratadas con luz UV-C ($8,64 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) y ácido málico (1,5 %)

La evaluación del color de la fruta mostró que los tratamientos aplicados y el tiempo de

almacenamiento ejercieron un importante efecto sobre la papaya fresca cortada (Cuadro 7). Así, se observaron menores valores de luminosidad (L^*) desde el día de la preparación de la muestra en las papayas frescas cortadas inmersas en agua en comparación con las muestras tratadas, y se

encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre los valores obtenidos a lo largo del tiempo entre ambas muestras. Estos resultados indican que se previnieron cambios bruscos en la luminosidad o brillantez en las papayas tratadas por efecto del tratamiento con luz UV-C y ácido málico.

Cuadro 7. Cambios ocurridos en los parámetros L^* , a^* y b^* en papaya ‘Maradol’ fresca cortada, tratada y no tratada, almacenada durante 16 días a 5 °C

Día	Parámetro L^*		Parámetro a^*		Parámetro b^*	
	Control	Tratadas	Control	Tratadas	Control	Tratadas
0	41,94 Aa	43,36 Ba	31,31 Aa	30,64 Ab	41,73 Aa	42,12 Ba
2	39,40 Aab	38,72 Bc	29,90 Aa	30,53 Ab	40,16 Aab	40,91 Ba
4	34,98 Ac	39,88 Bc	36,00 Ab	25,98 Aa	39,49 Aabc	40,06 Ba
8	34,15 Ac	40,34 Bc	35,88 Ab	30,97 Ab	37,39 Ac	39,96 Ba
13	34,26 Ac	42,80 Bab	35,08 Ab	24,16 Aa	38,63 Abc	42,42 Ba
16	38,45 Ab	41,84 Bb	35,04 Ab	30,91 Ab	40,32 Aab	40,79 Ba

Letras mayúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre muestras (control vs. tratada). Letras minúsculas distintas indican diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) en los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) en el tiempo. Control: muestras sumergidas sólo en agua. Tratada: muestras tratadas con luz UV-C (8,64 kJ·m⁻²) y ácido málico (1,5 %)

Con relación a la evaluación del color, Rivera-Pastrana et al. (2007) reportaron que la luz UV-C fue efectiva para disminuir el índice de oscurecimiento y la actividad de la polifenoloxidasas en mango fresco cortado.

El uso del ácido ascórbico para controlar el oscurecimiento enzimático en frutas frescas cortadas ha sido demostrado por varios autores. Sapers (1993) afirmó que la eficacia del ácido ascórbico se debe a su capacidad para reducir compuestos fenólicos de quinonas. Sin embargo, una vez que el ácido ascórbico ha sido completamente oxidado a ácido dehidroascórbico, las quinonas pueden volver a acumularse y oscurecer la fruta.

Tomando en cuenta el parámetro a^* (rojo-verde) se determinó que las muestras de papaya control y las tratadas no presentaron diferencias estadísticamente significativas entre sí ($P > 0,05$) (Cuadro 7); sin embargo, se puede observar una ligera tendencia al aumento del parámetro a^* para las papayas sin tratar, aumentando el color rojo atribuido a la degradación de la clorofila por la maduración y la síntesis de los carotenos, causando una intensificación del color del fruto que no fue significativa ($P > 0,05$) en el tiempo, mientras que para las papayas con tratamiento aplicado se retardó la maduración del fruto, por lo que el parámetro a^* no aumentó.

En cuanto al parámetro b^* (amarillo-azul) se

determinó que las muestras de papaya control y las tratadas presentaron diferencias significativas entre sí ($P \leq 0,05$) (Cuadro 7). Además, se observa que el parámetro b^* se mantiene o disminuye muy levemente a lo largo del tiempo de almacenamiento en las rodajas de papayas frescas tratadas, y no se encontraron diferencias significativas ($P > 0,05$) en ellas, lo que confirma el efecto positivo que puede tener el uso del tratamiento aplicado.

Se puede decir en términos generales que las papaya fresca cortada tratada conservó su color natural rojo-naranja durante el período de almacenamiento, y que durante ese tiempo no se originaron cambios significativos debidos a reacciones de oscurecimiento oxidativo o enzimático, como sucede en diferentes frutas frescas cortadas sin tratamiento, como es el caso de la manzana, pera y banana.

A partir de los valores derivados por la prueba sensorial de los trozos de papaya control y tratados, preparadas el mismo día y después de 7 días de almacenadas a 5°C, se obtuvieron valores promedios para cada uno de los atributos en una escala hedónica por parte de los panelistas (Cuadro 8). No obstante, no se encontraron diferencias estadísticamente significativas ($P > 0,05$) entre las muestras tratadas y control tanto al día 0 como al día 7 de almacenamiento. Los trozos de papaya tratados mostraron una buena aceptación por parte de los panelistas, lo

que indica que el tratamiento logró conservar los atributos sensoriales de las frutas a lo largo del almacenamiento. Estos resultados están en concordancia con los reportados por Fonseca y

Rushing (2006), quienes indicaron que el uso de luz ultravioleta a dosis menores de $13,7 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$ no afectó las características sensoriales de las frutas frescas cortadas.

Cuadro 8. Evaluación sensorial de papayas ‘Maradol’ frescas cortadas tratadas y sin tratar elaboradas el mismo día y después de 7 días de almacenadas a 5°C

Atributo sensorial	Control		Tratadas	
	0	7	0	7
Color	5,56 A	5,21 A	5,38 A	5,41 A
Firmeza	5,64 A	5,17 A	5,39 A	5,40 A
Olor	5,66 A	5,15 A	5,64 A	5,44 A
Sabor	5,38 A	4,86 A	5,26 A	5,26 A
Global	5,58 A	5,08 A	5,55 A	5,41 A

Diferentes letras mayúsculas indican diferencias estadísticamente significativas ($P \leq 0,05$) entre muestras (control vs. tratada) para un mismo día. Control: son muestras sumergidas sólo en agua. Tratada: son muestras tratadas con luz UV-C ($8,64 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) y ácido málico (1,5 %)

CONCLUSIONES

Se detectó un efecto sinérgico cuando se aplicó una combinación de UV-C ($8,64 \text{ kJ}\cdot\text{m}^{-2}$) y ácido málico (1,5 %) más lactato de calcio (1 %) y ácido ascórbico (0,5 %) a rebanadas de papaya a través de tratamientos de inmersión e irradiación alcanzándose una inactivación para *Rhodotorula glutinis* de 6,3 ciclos logarítmicos justo después del procesamiento de la fruta.

El tratamiento inhibió significativamente el crecimiento de las poblaciones de aerobios mesófilos, psicrófilos, mohos y levaduras durante el almacenamiento a 5°C ; las características fisicoquímicas se vieron influenciadas durante el almacenamiento, notándose retención de la firmeza y mantenimiento del color natural rojo-naranja; también se logró conservar los atributos sensoriales de las frutas a lo largo del almacenamiento, mostrando una buena aceptación por parte de los panelistas.

El uso de ácido málico y de luz UV-C en combinación con sustancias estabilizantes de la calidad puede resultar una buena alternativa de conservación para frutas frescas cortadas.

LITERATURA CITADA

1. Alandes, L., I. Hernando, A. Quiles, I. Pérez-Munuera y M. Lluch. 2006. Cell wall stability of fresh-cut Fuji apples treated with calcium lactate. *J. Food Sci.* 71: 615-620.
2. Alandes, L., A. Quiles, I. Pérez-Munuera y I. Hernando. 2009. Improving the quality of fresh-cut apples, pears, and melons using natural additives. *J. Food Sci.* 74: 90-96.
3. Allende, A., F. Tomás-Barberán y M. Gil. 2006. Minimal processing for healthy traditional foods: a review. *Trends Food Sci. Tech.* 17: 513-519.
4. Belandria, D., V. Velandria y C. Navarro. 2010. Caracterización física, química y organoléptica de los frutos de lechosa (*Carica papaya* L.) en las variedades Tailandia y Maradol. *Producción Agropecuaria. Agroalimentaria* 3(1): 45-49.
5. B.O.E. (Boletín Oficial del Estado). 2001. Normas de higiene para la elaboración, distribución y comercio de comidas preparadas. Ministerio de Relaciones con las Cortes y de Secretaria de Gobierno de España. Nº 11. Madrid.
6. Fonseca, J. y J. Rushing. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biol. Tech.* 40: 256-261.
7. Gómez, P., S. Alzamora, M. Castro y D. Salvatori. 2010. Effect of ultraviolet-C light dose on quality of cut-apple: Microorganism, color and compression behavior. *J. Food Eng.* 98: 60-70.
8. González-Aguilar, G., M. Villegas-Ochoa, F. Cuamea-Navarro y J. Ayala-Zavala. 2006.

- Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. *In: I Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados*. San Pedro, SP Brasil. pp. 59-64.
9. Hernández, Y., G. Lobo y M. González. 2005. Evaluación de la aptitud de dos cultivares de papaya (baixinho do Santa Amalia y Maradol) al procesado mínimo. *Symposium Nuevas tecnologías de conservación y envasado de frutas y hortalizas. Vegetales frescos cortados*. La Habana. Memorias pp. 153-140. http://www.ciad.mx/dtaov/XI_22CYTED/cuba_prog.html (consulta del 7/5/12).
 10. ISO (International Standards Organization) 1991. *Microbiology-General guidance for the enumeration of microorganisms-Colony-count technique at 30 degrees C*. 4833:1991. Genève, Switzerland.
 11. ISO (International Standards Organization) 1987. *Microbiology-General guidance for the enumeration of yeast and mould-Colony-count technique at 25 degrees C*. 7954:1987. Genève, Switzerland.
 12. Raybaudi-Massilia, R., J. Mosqueda-Melgar, A. Sobrino-López, R. Soliva-Fortuny y O. Martín-Belloso. 2007. Shelf-life extensión of fresh-cut 'Fuji' apples at different ripeness stages using natural substances. *Postharvest Biol. Tech.* 45: 265-275.
 13. Raybaudi-Massilia, R., J. Mosqueda-Melgar, R. Soliva-Fortuny y O. Martín-Belloso. 2009a. Control of pathogenic and spoilage microorganisms in fresh-cut fruit and fruit juices by traditional and alternative natural antimicrobials. *CRFSFS* 8: 157-180.
 14. Raybaudi-Massilia, R., J. Mosqueda-Melgar, A. Sobrino-López y O. Martín-Belloso. 2009b. Inactivation of *L. monocytogenes*, *S. enteritidis* and *E. coli* O157:H7 and shelf-life extension of fresh-cut pears using malic acid and quality stabilizing compounds. *J. Food Qual.* 32: 539-565.
 15. Raybaudi-Massilia, R., J. Mosqueda-Melgar, A. Sobrino-López, R. Soliva-Fortuny y O. Martín-Belloso. 2009c. Use of malic acid and other quality stabilizing compounds to assure the safety of fresh-cut 'Fuji' apples by inactivation of *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *Escherichia coli* O157:H7. *J. Food Saf.* 29: 236-252.
 16. Raybaudi-Massilia, R., J. Mosqueda-Melgar y O. Martín-Belloso. 2009d. Antimicrobial activity of malic acid against *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enteritidis* and *Escherichia coli* O157:H7 in apple, pear and melon juices. *Food Contr.* 20: 105-112.
 17. Rico, D., A. Martín-Diana, J. Barat y C. Barry-Ryan. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables: a review. *Trends Food Sci. Tech.* 18: 373-386.
 18. Rivera-Pastrana, D., A. Gardea-Béjar, M. Martínez-Tellez, M. Rivera-Domínguez y G. González-Aguilar. 2007. Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Rev. Fitotec. Mex.* 30: 361-372.
 19. Rojas-Graü, M., M. Tapia y O. Martín-Belloso. 2008. Using polysaccharide-based edible coatings to maintain quality of fresh-cut Fuji apples. *LWT* 41: 139-147.
 20. Santamaría-Basulto, F., R. Díaz-Plaza, E. Sauri-Duch, F. Espadas, J. Santamaría-Fernández y A. Larqué-Saavedra. 2009. *Agricultura Técnica en México* 35(3): 347-353.
 21. Sapers, G.M. 1993. Browning of foods: control by sulfates, antioxidants, and other means. *Food Tech.* 47: 75-84.
 22. Símpalo, W., W. Símpalo, J. Domínguez, W. Castillo y L. Esquivel. 2007. Efecto del cloruro de calcio en la vida útil de la papaya (*Carica papaya* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración bajo atmósfera modificada. VI Encuentro Científico Internacional de Invierno. ECI, Lima. Resúmenes p. 37
 23. Tapia, M. 2007. Desarrollo de un producto funcional de fruta por impregnación a vacío y películas comestibles usando matrices sólidas de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol. Tesis. Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Central de Venezuela. Caracas.
 24. Wang, H., H. Peng y Y. Luo. 2007. Control of browning and microbial growth on fresh-cut apples by sequential treatment of sanitizers and calcium ascorbate. *J. Food Sci.* 72: M1-M7.
 25. Watts, B., G. Ylimaki, L. Jeffery y L. Elías.

1992. Métodos sensoriales básicos para la evaluación de alimentos. Centro Internacional de Investigaciones para el Desarrollo. Ottawa. Canadá. 170 p.

26. Zwietering, M., J. De Koss, B. Hasenack, J. De Wit y K. Van't Riet. 1990. Modelling of bacterial growth as a function of temperature. *Appl. Environ. Microbiol.* 57: 1875-1881.