



Irradiación UV-C en frutas tropicales mínimamente procesadas

UV-C Irradiation in tropical fruits minimally processed

Luis Márquez Villacorta, Carla Pretell Vásquez

Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Privada Antenor Orrego, Av. América Sur 3145, Trujillo, Perú.

Recibido 12 febrero 2013; aceptado 10 junio 2013

Resumen

Se evaluó el efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes de frutas tropicales mínimamente procesadas. Las frutas fueron seleccionadas, clasificadas, lavadas y cortadas, luego se sumergieron en solución combinada de cloruro calcio (1% p/v) y ácido ascórbico (1% p/v) durante 1 min. Posteriormente, se sometieron a dosis de irradiación UV-C (0, 7 y 14 kJ/m²). Finalmente, fueron envasadas en bandejas de poliestireno y recubiertas con película de cloruro de polivinilo microperforada y almacenadas a 5 °C, con humedad relativa de 85 - 90%, durante 15 días. Cada cinco días, fueron evaluadas pérdida de peso, color, sólidos solubles, firmeza, recuento de bacterias aerobias mesófilas viables y mohos y levaduras, contenido de fenoles totales y flavonoides totales. El efecto de la dosis de irradiación UV-C y el tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes fue significativo ($p < 0,05$). La dosis de irradiación UV-C de 7 kJ/m² permitió obtener las mejores características fisicoquímicas en mango y mamey, en tanto que la dosis de 14 kJ/m² en piña. Las mayores características antioxidantes y menor recuento microbiológico se obtuvieron con la dosis de irradiación UV-C de 14 kJ/m² durante el almacenamiento.

Palabras clave: frutas tropicales, mínimo proceso, irradiación UV-C.

Abstract

The effect of the dose UV-C irradiation and storage time on the physicochemical, microbiological and antioxidants characteristics of tropical fruits minimally processed was evaluated. The fruits were selected, classified, washed, and cut, which were subjected to immersion in calcium chloride (1% p/v) and ascorbic acid (1% p/v) combined solution for 1 min. Then, the fresh-cut fruits were subjected to doses UV-C irradiation (0, 7 and 14 kJ/m²). Finally, samples were packed in trays of polystyrene and covered with polyvinyl chloride film microperforated, and stored at 5 °C with relative humidity of 85 - 90%, during 15 days. Every five days, weight loss, color, soluble solids, firmness, count viable aerobic mesophilic bacteria, fungi and yeasts, total phenolic content, and total flavonoids were evaluated. The significant effect of the dose UV-C irradiation and storage time on the physicochemical, microbiological, and antioxidants characteristics evaluated in tropical fruits minimally processed was significant ($p < 0.05$). The dose of UV-C irradiation 7 kJ/m² yielded the best physicochemical characteristics in mango and mamey, while the dose 14 kJ/m² was in pineapple. The highest antioxidants characteristics and lowest microbiological count was obtained with the dose of UV-C irradiation 14 kJ/m² during storage.

Keywords: tropical fruits, minimally processing, UV-C irradiation.

* Autor para correspondencia

Email: lmarquezv@upao.edu.pe (L. Márquez)

1. Introducción

Existen muchas variedades de frutas tropicales y subtropicales, que se conocen como frutas exóticas, e incluyen a las que aún no se encuentran comúnmente en los mercados globales, pero tienen el potencial para hacerlo, por su apariencia, sabor, textura y calidad nutricional; por ejemplo: mango, guayaba, maracuyá, pomarrosa, papaya, lima, copoazú, granadilla, piña, carambola, chirimoya, sapote, níspero, mamey, litchi y longan; muchas son ingredientes comunes de jugos, purés y postres. Las frutas tropicales contribuyen aproximadamente con el 29,7% del total de la producción mundial de frutas (Rawson *et al.*, 2011). Estudios epidemiológicos indican que el consumo regular de frutas y hortalizas puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, envejecimiento, y procesos degenerativos. Estos efectos benéficos son atribuidos, a la presencia de compuestos fitoquímicos tales como, vitamina C y E, carotenoides y polifenoles, especialmente flavonoides; cuyo mecanismo de acción es inhibir la iniciación o impedir la propagación de las reacciones de oxidación, evitándose así el daño oxidativo (Robles-Sánchez *et al.*, 2007; Alothman *et al.*, 2009a; Bhat *et al.*, 2011).

Los vegetales mínimamente procesados son definidos como cualquier fruta u hortaliza que ha sido alterada físicamente (selección, lavado, pelado, deshuesado y/o cortado) a partir de su forma original, pero que mantiene su estado fresco, sin procesamiento riguroso, tratados con agentes desinfectantes, estabilizadores de color, retenedores de firmeza y envasados en bolsas o bandejas creando una atmósfera modificada en su interior. Son conservados, distribuidos y comercializados bajo refrigeración (2 - 5 °C) y están listos para ser consumidos durante 7 a 14 días, según el producto y técnica de conservación empleada (Olivas y Barbosa-Cánovas, 2005; Robles-Sánchez *et al.*, 2007; Bierhals *et al.*, 2011). Sin embargo, los alimentos mínimamente procesados, al

incluir operaciones que alteran la integridad del tejido del producto, pueden inducir a un estrés deteriorativo. Consecuentemente se da inicio al pardeamiento enzimático, ablandamiento del tejido, la pérdida de peso, el desarrollo indeseable de olores y sabores. Adicionalmente, la remoción de la epidermis protectora natural y el incremento de humedad y azúcares disueltos en la superficie permiten el crecimiento microbiano (Andrade-Cuvi *et al.*, 2010; Alegría *et al.*, 2012; Pan y Zu, 2012). La demanda por alimentos frescos y mínimamente procesados está incrementando rápidamente, principalmente, porque los consumidores buscan la frescura y facilidad que estos productos le brindan. Lo que ha generado una demanda creciente de alimentos conservados por tecnologías emergentes que están siendo estudiadas e introducidas ampliamente. El desarrollo de tecnologías suaves no térmicas y efectivas, o su combinación, permiten ofrecer al consumidor frutas mínimamente procesadas o frescas cortadas, microbiológicamente seguras, con valor nutricional y características sensoriales lo más cercanos al producto intacto (Robles-Sánchez *et al.*, 2007; Alothman *et al.*, 2009b; Pan y Zu, 2012). Por lo tanto, existe demanda de tecnologías de procesamiento mínimo, tales como la alta presión, irradiación, pulsos eléctricos, ultrasonidos de potencia, ozono y los campos magnéticos oscilantes. El interés reciente en estas tecnologías es no sólo para obtener alimentos de alta calidad con características frescas, sino también, para proporcionar alimentos con funcionalidades mejoradas (Rawson *et al.*, 2011).

Algunos estudios demuestran resultados prometedores acerca del uso de irradiación UV-C, como una técnica de conservación de alimentos no térmica. La exposición postcosecha de diferentes cultivos a bajas dosis de irradiación muestran una mejora en el almacenamiento (Alothman *et al.*, 2009b). La aplicación de irradiación UV-C es usada para la descontaminación

(inactivación de bacterias, mohos y levaduras), el control de patógenos y la mejora del tiempo de vida útil de frutas enteras, frescas cortadas y sus productos. Como tratamiento postcosecha, la irradiación UV-C reduce la velocidad de maduración y retrasa la senescencia de la fruta, induce la acumulación de compuestos bioactivos y reduce algunos desórdenes fisiológicos (González-Aguilar, 2007; Bhat *et al.*, 2011; Andrade-Cuvi *et al.*, 2010). Se hipotetiza que los tratamientos de estrés abiótico, como la irradiación UV-C, pueden afectar el metabolismo secundario de los productos frescos e incrementar la síntesis de compuestos fitoquímicos con actividad antioxidante. En este sentido los carotenoides, el ácido ascórbico y los compuestos fenólicos podrían ser incrementados (Artés-Hernández *et al.*, 2010). La irradiación UV-C induce la resistencia a microorganismos patógenos, supuestamente, debido a la activación de mecanismos de defensa. En este sentido, estos tratamientos pueden activar una respuesta de defensa natural de la planta induciendo a la biosíntesis de fitoalexinas como escopoletina y escoparona, compuestos antifúngicos (fenoles y poliamidas), incrementando la producción de enzimas como fenilalanina amonio liasa y la actividad de quitinasa. Se sugiere que las dosis subletales de irradiación podrían estimular procesos vitales dentro de las células, produciendo cambios positivos en la homeostasis de las plantas (González-Aguilar, 2007; Sgroppo y Sosa, 2009; Beltrán *et al.*, 2010).

La hormesis es una respuesta adaptativa con características diferenciables por la relación dosis-respuesta, que es inducida por un proceso de acción directa o de sobre-estimulación a dosis bajas. En plantas, equivale al efecto de la aplicación de dosis bajas de un tratamiento biótico o abiótico potencialmente dañino, que induce respuestas positivas o negativas en los tejidos contra varios tipos de estrés. La hormesis UV-C es un enfoque

recientemente introducido en el manejo postcosecha, pues su aplicación puede inducir la producción de compuestos fungicidas y retrasar procesos de maduración y senescencia. En el sector hortofrutícola se puede reducir las pérdidas postcosecha ocasionadas por desórdenes fisiológicos, como daño por frío, susceptibilidad al ataque de fitopatógenos, daños mecánicos, pérdida de firmeza y otros (Rivera *et al.*, 2007; Pongprasert *et al.*, 2011).

En la presente investigación se planteó evaluar el efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento así como determinar el valor de la dosis de irradiación UV-C que permita obtener las mejores características fisicoquímicas, el menor recuento microbiano y las mayores características antioxidantes en frutas tropicales mango, piña y mamey, mínimamente procesadas durante 15 días de almacenamiento.

2. Materiales y métodos

Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales y los análisis fueron realizadas en el laboratorio de Tecnología de Alimentos de la Universidad Privada Antenor Orrego de Trujillo.

Materia prima

Los frutos de mango (*Mangifera indica*) variedad Kent, piña (*Ananas comosus*) variedad Golden y Mamey (*Mammea americana*) fueron obtenidos en el mercado La Hermelinda de Trujillo, el Departamento de La Libertad. Las frutas en madurez comercial se seleccionaron según los siguientes criterios: ausencia de daño físico (golpes, magulladuras, etc.), exentas de manchas necróticas y libres de olor extraño. El mango fue clasificado de acuerdo a un peso de 350 - 450 g, firmes al tacto y sólidos solubles 15°Brix. La piña fue clasificada de acuerdo a un peso de 1,5 - 2,0 kg y sólidos solubles 13°Brix. El mamey fue clasificado de acuerdo a un peso de 300 - 400 g y sólidos solubles 13°Brix.

Obtención de rebanadas de frutas

Se limpió la cáscara de los mangos y piñas por aspersión con agua potable para eliminar el material superficial contaminante. Luego, se lavaron con una solución de dióxido de cloro a 100 ppm durante 5 min y se secaron a temperatura ambiente. La superficie del mamey se limpió en seco utilizando una escobilla con cerdas de nylon. El mango se cortó en rebanadas de aproximadamente 0,5 cm de espesor, 4,0 cm de largo y 3,0 cm de ancho; la piña se cortó en trozos de 1,5 cm de espesor; y el mamey en tiras de 4,0 cm de largo y 3,0 cm de ancho; luego, se sumergieron en una solución combinada de cloruro de calcio (1% p/v), como texturizante y ácido ascórbico (1% p/v) como antipardeamiento durante 1 min; el exceso de la solución en la superficie se eliminó mediante un escurrido durante 30 s. Posteriormente, las rebanadas se sometieron a los tratamientos de irradiación UV-C, considerándose una muestra control. Finalmente las frutas frescas cortadas se envasaron en grupos de 8 unidades, en bandejas de poliestireno recubiertas con película de cloruro de polivinilo (PVC) microperforada y almacenadas en refrigeración a 5 °C durante 15 días, para ser evaluadas en sus características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes.

Irradiación UV-C

Se utilizó cuatro lámparas UV-C de 254 nm (Philips, modelo TUV G30T8, 30 watts). Las frutas frescas cortadas se colocaron en una cámara de vidrio diseñada para tal fin, con dimensiones: 121,0 cm largo x 26,8 cm ancho x 91,0 cm alto; a una distancia de 12,5 cm de las lámparas. La intensidad de irradiación (mW/cm^2) fue medida utilizando un radiómetro digital Marca Cole-Parmer modelo UVP (rango 0-20 mW/cm^2) que permitió las dosis de aplicación de 7 y 14 kJ/m^2 , mediante la siguiente ecuación (López-Rubira *et al.*, 2007):

$$D = \left(\frac{I \cdot t}{1000} \right)$$

D: dosis de irradiación aplicada (kJ/m^2)

I: intensidad de irradiación bajo el área de emisión de luz UV-C (W/m^2)

t: tiempo de exposición (s)

Métodos

Pérdida de peso

Se determinó pesando las rebanadas de mango, trozos de piña y tiras de mamey antes y después del periodo de almacenamiento. Los resultados fueron expresados como porcentaje de pérdida de peso con respecto al peso inicial (Márquez *et al.*, 2011).

Sólidos solubles

Se determinó en el jugo extraído de las frutas, utilizando el refractómetro Thomas Scientific (0 - 32% sólidos solubles), calibrado a 20°C. Se reportó el promedio de 3 mediciones (Márquez *et al.*, 2011; Chuna, 2012).

Color

Se utilizó el sistema CIELAB, usando el colorímetro Kónica-Minolta, modelo CR-400. El equipo fue calentado durante 10 min y calibrado con un blanco estándar. Luego se determinó los parámetros de color, expresados en luminosidad L^* (0 para negro y 100 para blanco), cromaticidad a^* (verde [-] a rojo [+]), y b^* (azul [-] a amarillo [+]). Se reportó el promedio de 5 mediciones (Márquez *et al.*, 2011; Chuna, 2012).

Firmeza

Se midió mediante la determinación de la fuerza de penetración (g_p), utilizando un penetrómetro (Wagner Instruments, Fruit test - FT 02, Italia) y 5 rebanadas por cada tratamiento. Los resultados se expresaron como la fuerza (N) promedio requerida para penetrar el tejido (Márquez *et al.*, 2011; Chuna, 2012).

Recuento total de bacterias aerobias mesófilas viables y mohos y levaduras

Se separó asepticamente 10 g de muestra, que se homogenizó en 90 mL de agua peptonada al 0,1%. Diluciones fueron preparadas en 9 mL de agua peptonada con 1 mL de alícuota. El recuento de bacterias aerobias mesófilas viables (ufc/g) se determinó por duplicado usando el método

de siembra en superficie en Agar Patrón para Recuento-PCA (Merck) como medio. Las placas se incubaron a 35 °C durante 48 horas. La numeración de mohos y levaduras se realizó en Agar OGY, luego de una incubación a 21°C por 5 días (Artés-Hernández *et al.*, 2010).

Contenido de fenoles totales

Se utilizó 2 g de muestra que fue homogenizada en etanol acuoso al 80% durante 2 h, en un cuarto a temperatura ambiente, y centrifugados a 4200 rpm por 15 min; el sobrenadante fue evaporado en estufa a 40°C. Los residuos fueron disueltos en 5 mL de agua destilada; 100 µL del cual fue diluido con 3 mL de agua destilada y, luego, 0,5 mL del reactivo de Folin-Ciocalteu fue adicionado. Después de 3 min, se adicionó 2 mL de solución de carbonato de sodio al 20% (p/v) y el material resultante fue mezclado vigorosamente. La absorbancia del color desarrollado después de 1 h fue medida en un espectrofotómetro de luz visible a 765 nm, usando ácido gálico como estándar. Los resultados fueron expresados como mg ácido gálico / 100 g de peso fresco (Alothman *et al.*, 2009a).

Flavonoides totales

Al extracto similar al obtenido para la determinación del contenido de fenoles totales (1 mL) se mezcló con 4 mL de agua destilada y, al tiempo inicial se adicionó 0,3 mL de nitrito de sodio (5% p/v), después de 5 min se adicionó 0,3 mL de cloruro de aluminio (10% p/v). Un minuto después, fue adicionado 2 mL de hidróxido de sodio 1 M. Luego, el volumen fue enrazado a 10 mL con 2,4 mL de agua destilada. La mezcla fue agitada y su absorbancia fue medida a 510 nm en un espectrofotómetro de luz visible, usando catecol como estándar. Los resultados fueron expresados como mg catecol/ 100 g de peso fresco (Alothman *et al.*, 2009a).

Análisis estadístico

Los resultados obtenidos de las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes fueron evaluados mediante un diseño completamente al azar

3 dosis de irradiación (0, 7 y 14 kJ/m²) x 4 tiempos (0, 5, 10 y 15 días), utilizando el análisis de varianza (ANVA). Se trabajó con dos repeticiones y un nivel de significancia de $p < 0,05$. Se utilizó el programa SPSS para Windows, versión 18.0 (SPSS Inc., 2009).

3. Resultados y discusión

Pérdida de peso

La pérdida de peso se incrementó en función al tiempo de almacenamiento (Figura 1). La velocidad de pérdida fue siempre mayor en las muestras control en comparación con las muestras tratadas con irradiación UV-C, lo que significó que este tratamiento físico fue eficiente en la disminución de la pérdida de agua en forma de vapor del tejido vegetal. La menor pérdida de peso hasta el día 15 de almacenamiento se produjo en mango, en las rebanadas de tratadas con 7 kJ/m² (4,29%); en piña, en los trozos con 14 kJ/m² (4,60%); y en mamey, en las tiras con 14 kJ/m² (6,02%).

La pérdida de peso de las frutas se asocia principalmente con la respiración y evaporación de la humedad a través de la piel, que se ve favorecida por la degradación de la membrana y la pared celular, luego del procesamiento, lo que también resulta en la pérdida de turgencia. La pérdida de peso puede implicar la pérdida de calidad y, en consecuencia, el rechazo de los consumidores (James y Ngarmasak, 2010; Hernández-Muñoz *et al.*, 2008). Márquez *et al.* (2012) encontraron una disminución en la velocidad de pérdida de peso en rebanadas de carambola mínimamente procesadas tratadas con 7 y 14 kJ/m² de irradiación UV-C y almacenadas a 5 °C durante 16 días, en comparación con una muestra control. López-Rubira *et al.*, (2007) reportaron que las granadas tratadas con irradiación UV-C de 9,08 - 22,7 kJ/m², mostraron menores valores de pérdida de peso durante 12 semanas de almacenamiento a 5 °C, en comparación con la muestra control.

El análisis de varianza indicó una diferencia significativa ($p < 0,05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre la pérdida de peso en todas las frutas. Márquez *et al.* (2012) determinaron un valor $p < 0,05$ en la aplicación de irradiación UV-C (7 y 14 kJ/m^2) y tiempo de almacenamiento (16 días a 5°C) sobre la pérdida de peso en rebanadas de carambola mínimamente procesada.

Color

El color fue afectado por la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento (Figura 2). La evaluación se basó en el valor de la luminosidad (L^*), componentes del verde al rojo (a^*) y componentes del azul al amarillo (b^*). Los valores de L^* en las frutas tropicales mínimamente procesadas disminuyeron con el tiempo de almacenamiento, esta reducción indica la pérdida de luminosidad, usada como indicador de pardeamiento (González-Aguilar *et al.*, 2008; Djoua *et al.*, 2010). El mayor valor de luminosidad, al final del almacenamiento, se presentó en las rebanadas de mango tratadas con 7 kJ/m^2 (69,06); en piña, en los trozos con 14 kJ/m^2 (72,48); y en mamey, en las tiras con 7 kJ/m^2 (68,93); en comparación con las muestras control que denotaron un alto grado de oscurecimiento. Márquez *et al.* (2012) encontraron mayores valores de luminosidad en rebanadas de carambola mínimamente procesadas tratadas con 7 y 14 kJ/m^2 de irradiación UV-C y almacenadas a 5°C durante 16 días, en comparación con una muestra control. Artés-Hernández *et al.* (2010) mencionaron que los cubos de sandía mínimamente procesada tratados con irradiación UV-C (1,6 - 7,2 kJ/m^2) denotaron mayores valores de luminosidad comparados con una muestra control durante 11 días de almacenamiento a 5°C .

Manzocco *et al.* (2011) indicaron que las rodajas de manzana mínimamente procesada tratadas con irradiación UV-C (1,2 - 24,0 kJ/m^2) denotaron mayores

valores de luminosidad comparados con una muestra control durante 15 días de almacenamiento a 6°C .

El valor de a^* de las frutas tropicales mínimamente procesadas aumentó con el tiempo de almacenamiento, que corresponde al oscurecimiento de la fruta con una tendencia a coloración rojo-naranja, lo cual, se puede relacionar con la formación de compuestos poliméricos coloreados y el avance del pardeamiento en la fruta después del procesamiento (Bhat *et al.*, 2011). El valor de a^* durante el tiempo de almacenamiento se incrementó en menor nivel en las muestras irradiadas en comparación con las muestras control (Figura 3); en el día 15 de almacenamiento se obtuvo en mango, en las rebanadas tratadas con 7 kJ/m^2 (-0,38); en piña, en los trozos con 14 kJ/m^2 (-9,0); y en mamey, en las tiras con 7 kJ/m^2 (6,45).

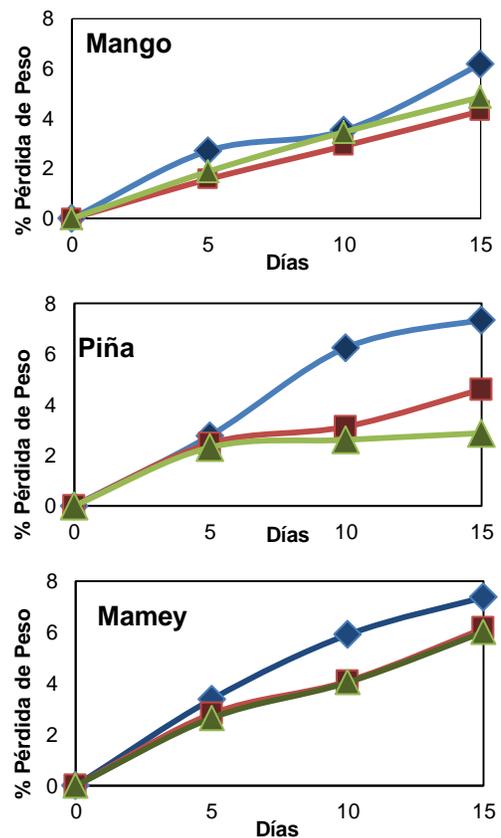


Figura 1. Pérdida de peso en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -♦-, 7 kJ/m^2 -■- y 14 kJ/m^2 -▲-) almacenadas a 5°C .

El parámetro b^* disminuyó con el tiempo de almacenamiento, en concordancia con la tendencia a la pérdida de tonalidades amarillentas iniciales en la pulpa de estas frutas hacia su oscurecimiento.

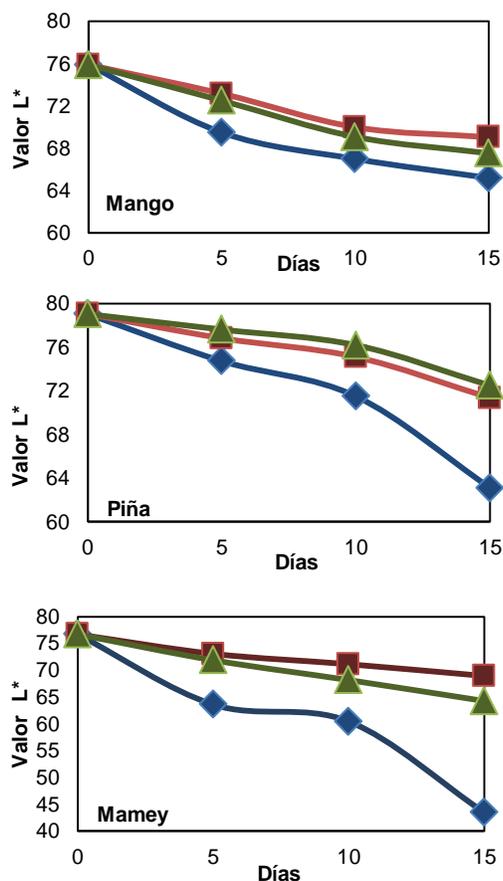


Figura 2. Cambios en valores L^* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -◆-, 7 kJ/m^2 -■- y 14 kJ/m^2 -▲-) almacenadas a $5\text{ }^\circ\text{C}$.

El valor de b^* fue mayor durante el almacenamiento en las muestras irradiadas en comparación con la muestra control (Figura 4); en el día 15 de almacenamiento se denotó en mango, en las rebanadas tratadas con 7 kJ/m^2 (67,17); en piña, en los trozos con 14 kJ/m^2 (42,80); y en mamey, en las tiras con 7 kJ/m^2 (70,05). Comportamientos similares en los parámetros de color a^* y b^* fueron reportados en rodajas de carambola mínimamente procesadas tratadas con 7 y 14 kJ/m^2 de irradiación UV-C y almacenadas a $5\text{ }^\circ\text{C}$ durante 16 días (Márquez *et al.*, 2012).

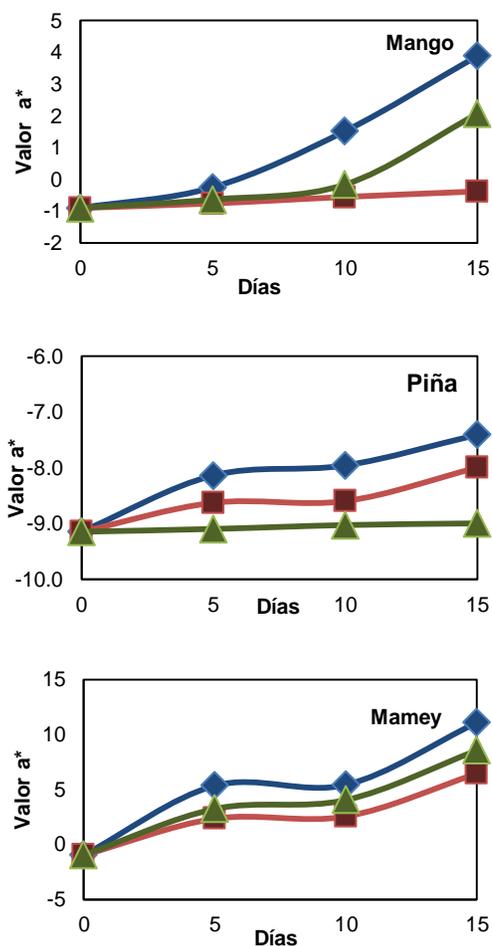


Figura 3. Cambios en valores a^* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -◆-, 7 kJ/m^2 -■- y 14 kJ/m^2 -▲-) almacenadas a $5\text{ }^\circ\text{C}$.

El análisis estadístico de los parámetros del color en las frutas tropicales indicó un $p < 0,05$ de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre los parámetros L^* , a^* y b^* .

Márquez *et al.* (2012) indicaron un valor $p < 0,05$ de la aplicación de irradiación UV-C (7 y 14 kJ/m^2) y tiempo de almacenamiento (16 días a $5\text{ }^\circ\text{C}$) sobre el valor L^* , a^* y b^* en rebanadas de carambola mínimamente procesada. Manzocco *et al.*, (2011) reportaron diferencia significativa, de la aplicación de irradiación UV-C ($1,2 - 24,0\text{ kJ/m}^2$) y tiempo de almacenamiento (15 días a $6\text{ }^\circ\text{C}$) sobre los parámetros de color L^* , a^* y b^* en rodajas de manzana mínimamente procesada.

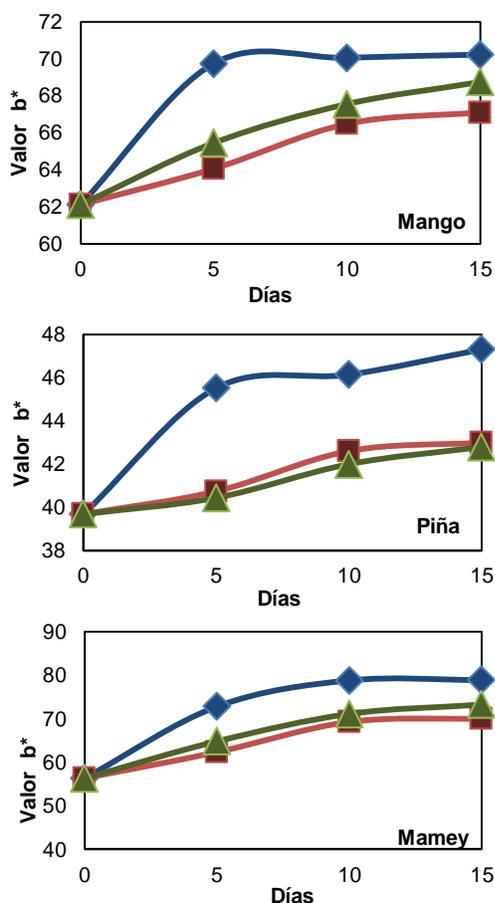


Figura 4. Cambios en valores b* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -♦-; 7kJ/m² -■- y 14 kJ/m² -▲-) almacenadas a 5 °C.

Sólidos solubles

El contenido de sólidos solubles en las frutas tropicales mínimamente procesadas aumentó ligeramente en función del tiempo de almacenamiento (Figura 5). El cambio de los sólidos solubles durante el almacenamiento de las frutas mínimamente procesadas muestra una ligera tendencia al alza, lo cual podría estar influenciado por la baja temperatura de almacenamiento y la atmósfera modificada generada (Pan y Zu, 2012). Márquez *et al.* (2012) encontraron un leve cambio en el contenido de sólidos solubles en rebanadas de carambola tratadas con 7 y 14 kJ/m² de irradiación UV-C y almacenada a 5 °C durante 16 días, en comparación con una muestra control. Pan y Zu (2012) reportaron una ligera variación del contenido de sólidos solubles en rebanadas piña tratada con

irradiación UV-C durante 90 s, durante 12 días de almacenamiento a 10 °C.

El análisis estadístico del contenido de sólidos solubles en las frutas tropicales mínimamente procesadas indicó que existió un $p < 0,05$ en la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento.

Pan y Zu (2012) encontraron diferencia significativa ($p < 0,05$) de la aplicación de irradiación UV-C durante 90 s y el tiempo de almacenamiento (12 días a 10 °C) sobre el contenido de sólidos solubles en rebanadas piña. Márquez *et al.* (2012) indicaron diferencia significativa ($p < 0,05$), de la aplicación de irradiación UV-C (7 y 14 kJ/m²) y tiempo de almacenamiento (16 días a 5 °C) sobre el contenido de sólidos solubles en rebanadas de carambola mínimamente procesada.

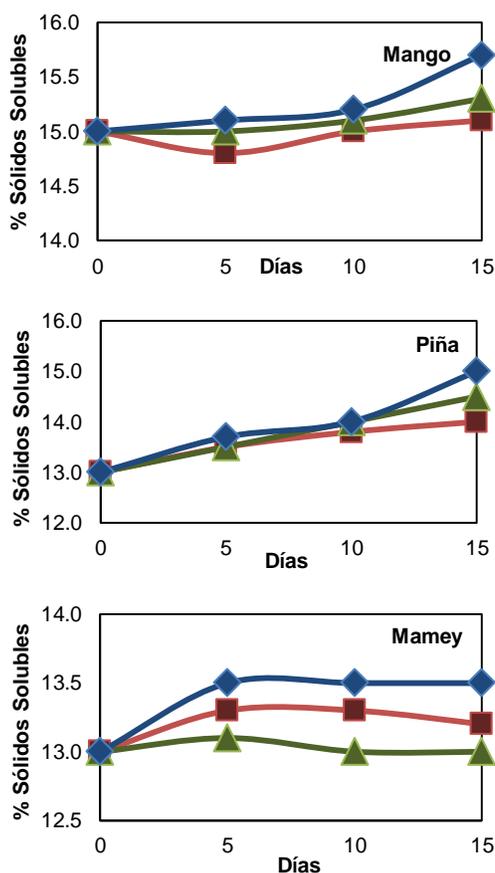


Figura 5. Contenido de sólidos solubles en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -♦-; 7kJ/m² -■- y 14 kJ/m² -▲-) almacenadas a 5 °C.

Firmeza

La firmeza, medida como la fuerza de penetración, fue disminuyendo a medida que transcurrieron los días de almacenamiento (Figura 6). Las frutas tratadas con irradiación UV-C produjeron una buena retención de la firmeza durante los 15 días de almacenamiento en comparación con la muestra control, con valores de 2,84 N para las rebanadas de mango tratadas con 7 kJ/m²; 3,24 N para los trozos piña con 14 kJ/m²; y 5,88 N en las tiras mamey con 7 kJ/m². La firmeza es una cualidad sensorial, con un rol muy relevante en la aceptabilidad por parte de los consumidores. En las frutas está influenciada por factores estructurales y químicos: los constituyentes bioquímicos de los orgánulos celulares, el contenido de agua y la composición de la pared celular.

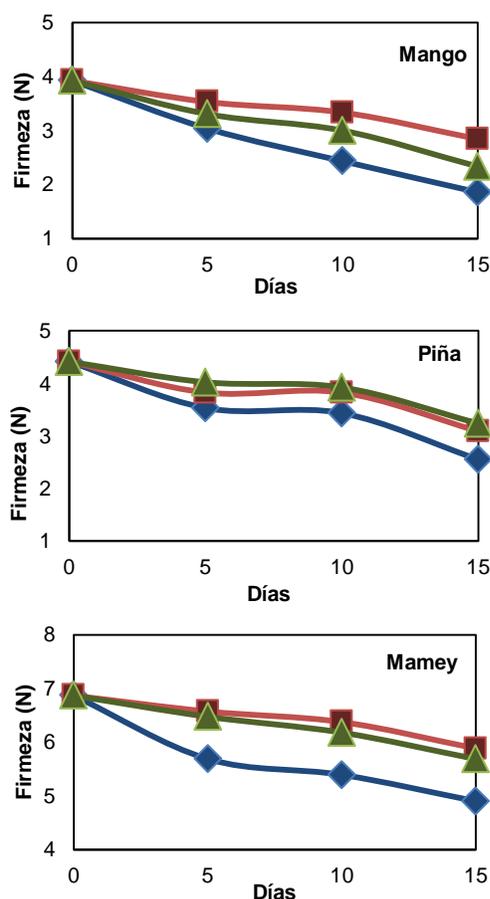


Figura 6. Firmeza en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -◆-, 7kJ/m² -■- y 14 kJ/m² -▲-) almacenadas a 5 °C.

Por tanto, cualquier agente externo que afecte a uno o varios de estos factores puede modificar la firmeza e inducir cambios que modifiquen la calidad final del producto (Martínez-Romero *et al.*, 2007).

Productos mínimamente procesados que mantienen la firmeza y turgencia del tejido son altamente deseables por los consumidores ya que son asociados con la frescura y salubridad; la apariencia de un producto blando puede dar lugar a su rechazo antes de ser consumido (Rico *et al.*, 2007). Los cambios de textura en frutas y hortalizas están relacionados a ciertos procesos enzimáticos y no enzimáticos. La pectina, es primero, parcialmente desmetilada por la enzima pectinmetil-esterasa y, luego, despolimerizada por la poligalacturasa en ácido poligalacturónico causando la pérdida de firmeza; también está relacionada con la producción de radicales libres como resultado del avance en la senescencia lo cual afecta la pared celular (Lin y Zhao, 2007; Pan y Zu, 2012).

Pan y Zu (2012) reportaron que las rebanadas de piña tratada durante 90 s con irradiación UV-C durante su almacenamiento por 12 días a 10 °C retuvieron mejor la firmeza, en comparación con una muestra control. Márquez *et al.* (2012) encontraron una mayor retención de la firmeza en rebanadas de carambola tratadas con 7 y 14 kJ/m² de irradiación UV-C y almacenada a 5 °C durante 16 días, en comparación con una muestra control. González-Aguilar *et al.*, (2006) indicaron que las rebanadas de mango Kent tratadas con irradiación UV-C durante 10 min denotaron mayor retención de la firmeza comparados con una muestra control durante 14 días de almacenamiento a 5 °C.

El análisis estadístico de la firmeza en las frutas tropicales mínimamente procesadas indicó que existió un $p < 0,05$ de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento. Pan y Zu (2012) indicaron un valor $p < 0,05$ de la

aplicación de irradiación UV-C durante 90 s y el tiempo de almacenamiento (12 días a 10 °C) sobre la firmeza en rebanadas piña. Márquez *et al.* (2012) indicaron un valor $p < 0,05$ de la aplicación de irradiación UV-C (7 y 14 kJ/m²) y tiempo de almacenamiento (16 días a 5 °C) sobre la firmeza de rebanadas de carambola mínimamente procesada.

Análisis microbiológico

El recuento de total de bacterias aerobias mesófilas viables y mohos y levaduras fue incrementando con el transcurso del almacenamiento.

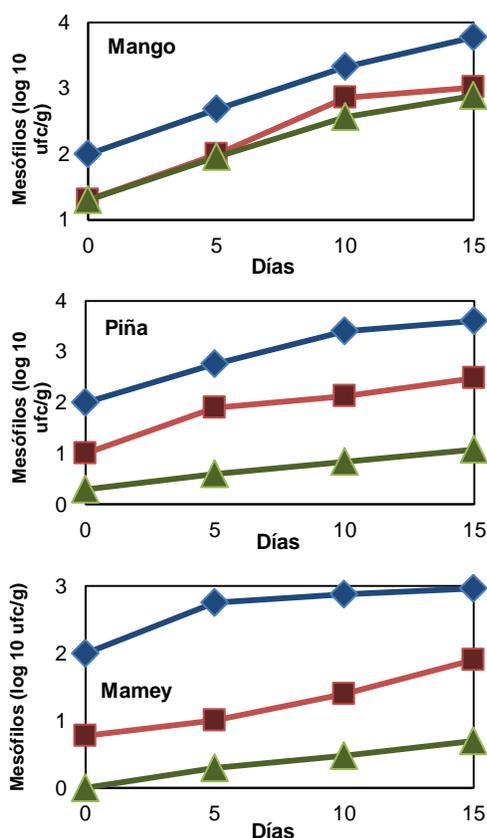


Figura 7. Recuentos de bacterias aerobias mesófilas viables en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -◆-; 7kJ/m² -■- y 14 kJ/m² -▲-) almacenadas a 5 °C.

El desarrollo de la flora natural es la principal causa de deterioro en las frutas mínimamente procesadas; este crecimiento de microorganismos se debe a la destrucción del tejido y la subsecuente

liberación de nutrientes. Los patógenos pueden formar parte de esta microflora lo que provoca un potencial problema de seguridad alimentaria. La irradiación UV-C, que es no ionizante, es una nueva técnica de esterilización física que, a diferencia de los desinfectantes químicos, no deja residuos y no requiere un amplio equipo de seguridad (Djioua *et al.*, 2010; Pan y Zu, 2012).

El recuento inicial de bacterias aerobias mesófilas viables para las muestras control fue superior a los presentados por frutas tratadas con luz UV-C (Figura 7), notándose la acción antibacteriana de este tratamiento físico, donde el recuento fue disminuyendo con el incremento de la dosis de irradiación. La muestra control al final del almacenamiento, para las rebanadas de mango presentó el valor de 3,77 log ufc/g, en comparación con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de 3,01 y 2,88 log ufc/g, para 7 y 14 kJ/m², respectivamente. En los trozos de piña se obtuvo el valor de 3,60 log ufc/g, en comparación con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de 2,48 y 1,08 log ufc/g, para 7 y 14 kJ/m², respectivamente. Para las tiras de mamey se denotó el valor de 2,96 log ufc/g, en comparación con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de 1,90 y 0,70 log ufc/g, para 7 y 14 kJ/m², respectivamente.

En el recuento de mohos y levaduras para las muestras control se encontró el mismo comportamiento mencionado en el párrafo anterior para el recuento de mesófilos (Figura 8), evidenciándose la acción antifúngica de este tratamiento físico. La muestra control, luego de 15 días de almacenamiento, para las rebanadas de mango presentó el valor de 4,00 log ufc/g, en comparación con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de 2,60 y 0,70 log ufc/g, para 7 y 14 kJ/m², respectivamente. En los trozos de piña se obtuvo el valor de 3,30 log ufc/g, en comparación con la muestra irradiada con 7 kJ/m² que tuvo un recuento de 2,40, y en la muestra de 14 kJ/m², no se reportó

crecimiento. Para las tiras de mamey se denotó el valor de 4,85 log ufc/g, en comparación con las muestras irradiadas que mostraron recuentos de 2,40 y 1,00 log ufc/g, para 7 y 14 kJ/m², respectivamente. Los recuentos de bacterias mesófilas viables y mohos y levaduras se encontraron por debajo al límite máximo permisible de 6,0 log ufc/g, recomendado para frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas (MINSA, 2008).

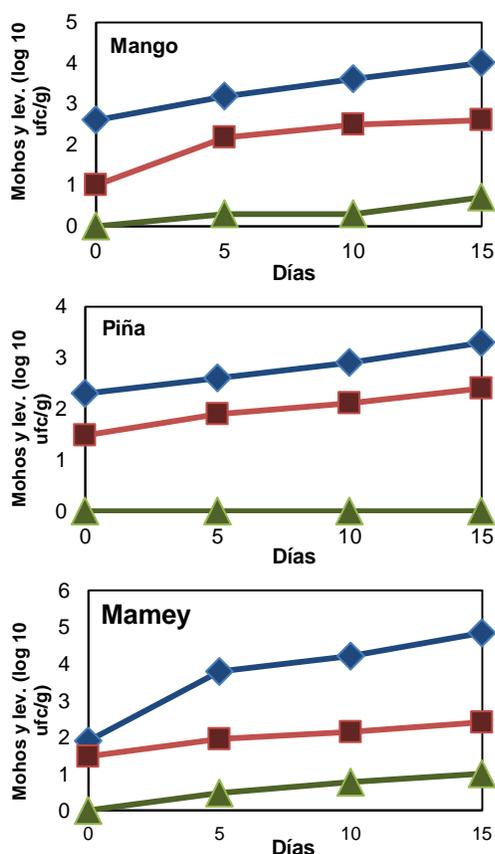


Figura 8. Recuentos de mohos y levaduras en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -◆-; 7kJ/m² -■- y 14 kJ/m² -▲-) almacenadas a 5 °C.

Los tratamientos con irradiación UV-C inactivan los microorganismos principalmente debido a la inducción de la formación de dímeros de pirimidina que alteran las hélices de DNA y los bloques de replicación de las células microbianas, que destruyen la capacidad de reproducción y otras funciones de la célula.

Dependiendo de la dosis de irradiación, los alimentos pueden ser pasteurizados reduciendo o eliminando los patógenos transmitidos por los alimentos (Martínez-Hernández *et al.*, 2011; Rawson *et al.*, 2011). Márquez *et al.* (2012) encontraron una mayor actividad antimicrobiana en aerobios mesófilos viables, y mohos y levaduras en rebanadas de carambola tratada con irradiación UV-C (7 y 14 kJ/m²), almacenados por 16 días a 5 °C, en comparación a una muestra control.

Artés-Hernández *et al.* (2010) reportaron una mayor disminución en el crecimiento de aerobios mesófilos viables en cubos de sandía tratados con irradiación UV-C (1,6 - 7,2 kJ/m²) y almacenados durante 11 días a 5 °C, comparando con una muestra control. El análisis estadístico del recuento de bacterias aerobias mesófilas viables, y mohos y levaduras en las rebanadas de carambola indicó que existió un efecto significativo ($p < 0,05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento.

Márquez *et al.* (2012) determinaron diferencia significativa ($p < 0,05$), del uso de irradiación UV-C y el tiempo de almacenamiento (16 días a 5 °C) sobre el crecimiento de aerobios mesófilos viables y mohos y levaduras en rebanadas de carambola mínimamente procesada.

Artés-Hernández *et al.* (2010) reportaron diferencia significativa ($p < 0,05$), del uso de irradiación UV-C y el tiempo de almacenamiento (11 días a 5 °C) sobre el crecimiento de aerobios mesófilos viables y psicrófilos en cubos de sandía mínimamente procesada.

Características antioxidantes

El contenido de fenoles totales en las rodajas de carambola fue incrementando en las frutas tropicales mínimamente procesadas durante el almacenamiento (Figura 9).

La irradiación UV-C causó un importante estrés inicial (hormesis) sobre las células de las frutas tropicales mínimamente procesadas induciendo el aumento del

contenido de compuestos fenólicos totales en las muestras tratadas en comparación con la muestra control. La tendencia de incremento del contenido de fenoles totales fue mantenida durante el almacenamiento, encontrándose valores de 54,23; 56,32 y 177,43 mg ácido gálico/100 g para las rebanadas de mango, trozos de piña y tiras de mamey tratadas con 14 kJ/m², respectivamente.

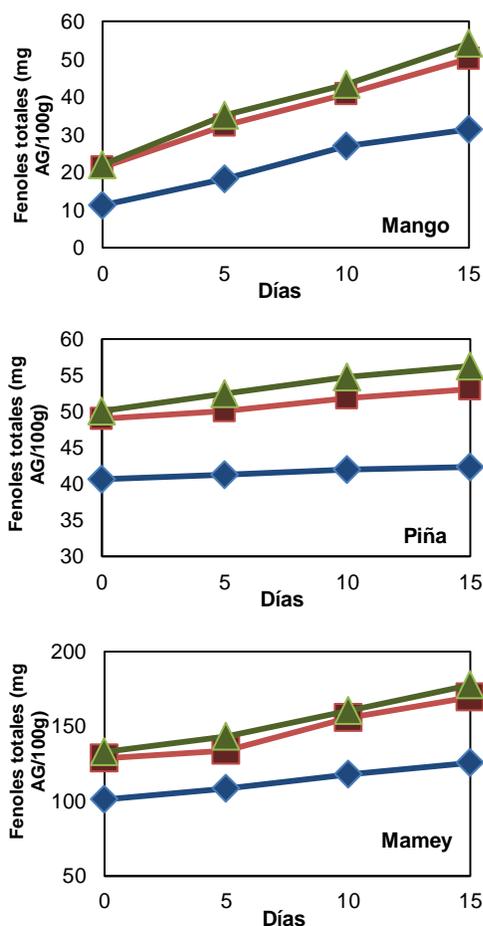


Figura 9. Contenido de fenoles totales frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -◆-; 7kJ/m² -■- y 14 kJ/m² -▲-) almacenadas a 5 °C.

El incremento de compuestos antioxidantes en las frutas después de la irradiación UV-C se explica por las actividades de las enzimas específicas implicadas en el metabolismo de los fenilpropanoides, incluyendo la fenilalanina amoniliasa que cataliza el primer paso comprometido en la vía de la biosíntesis fenólica, después de lo

cual las ramificaciones individuales de la vía hacen posible una gama de compuestos secundarios como los compuestos fenólicos (Martínez-Hernández *et al.*, 2011; Alothman *et al.*, 2009b).

Márquez *et al.* (2012) reportaron que las rebanadas de carambola tratadas con 7 y 14 kJ/m² de irradiación UV-C y almacenada a 5 °C durante 16 días, presentaron un incremento del contenido de fenoles totales, en comparación con una muestra control. González-Aguilar *et al.* (2006) mostraron un incremento de fenoles totales en rebanadas de mango tratadas con irradiación UV-C durante 10 min y almacenadas a 5 °C durante 15 días, en comparación con la muestra control.

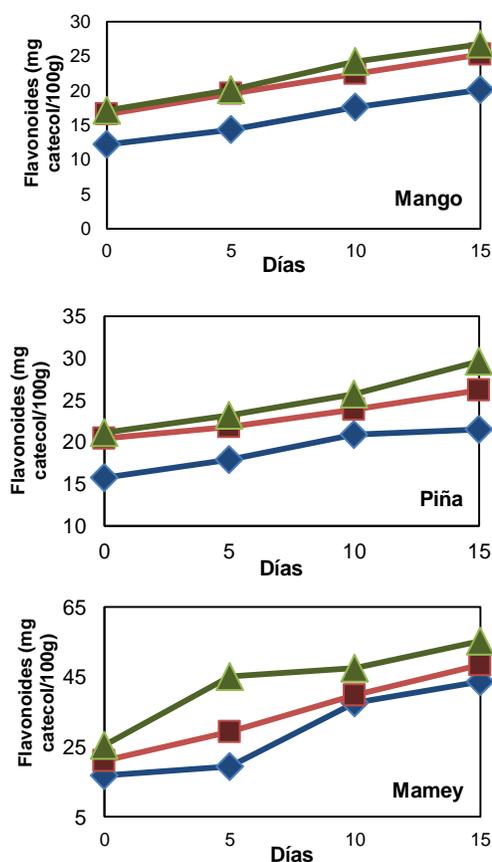


Figura 10. Contenido de flavonoides totales frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C (control -◆-; 7kJ/m² -■- y 14 kJ/m² -▲-) almacenadas a 5 °C.

El análisis estadístico del contenido de fenoles totales en las frutas tropicales mínimamente procesadas indicó que

existió un efecto significativo ($p < 0,05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento. Márquez *et al.* (2012) reportaron diferencia significativa ($p < 0,05$) del uso de irradiación UV-C (7 y 14 kJ/m^2) y el tiempo de almacenamiento (16 días a 5 °C) sobre el contenido de fenoles totales en rebanadas de carambola mínimamente procesada.

El contenido de flavonoides totales en las frutas tropicales mínimamente procesadas fue aumentando durante el almacenamiento (Figura 10). La misma hormesis inicial observada en el contenido de fenoles totales fue también encontrada para los flavonoides totales en las frutas frescas cortadas, incrementando su capacidad antioxidante, este fenómeno se produce como una respuesta hacia los radicales libres generados durante la aplicación de la dosis de irradiación que actúan como señales de estrés, generando la respuesta positiva (Martínez-Hernández *et al.*, 2011; Bhat *et al.*, 2011).

La tendencia de incremento de los flavonoides totales se mantuvo hasta el final del almacenamiento, encontrándose valores de encontrándose valores de 26,75;

29,36 y 55,30 mg catecol/100 g para las rebanadas de mango, trozos de piña y tiras de mamey tratadas con 14 kJ/m^2 , respectivamente.

Alothman *et al.* (2009a) indicaron un aumento del contenido de flavonoides totales en frutas tropicales mínimamente procesadas (piña, plátano y guava) tratadas con irradiación UV-C durante 10-30 min, en comparación con una muestra control.

El análisis estadístico del contenido de flavonoides totales en frutas tropicales mínimamente procesadas indicó que existió un efecto significativo ($p < 0,05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento. Alothman *et al.* (2009a) mostraron diferencia significativa ($p < 0,05$) del tiempo de aplicación (10 - 30 min) de la irradiación UV-C sobre el contenido de flavonoides totales en frutas tropicales mínimamente procesadas (piña, plátano y guava).

En la Figura 12, 13 y 14 se presentan imágenes de las muestras control, las rebanadas de mango, trozos de piña y tiras de mamey tratadas con irradiación UV-C, almacenadas a 5 °C durante 15 días.



Figura 12. Imágenes de las rebanadas de mango tratadas con irradiación UV-C y la muestra control almacenadas a 5 °C durante 15 días.

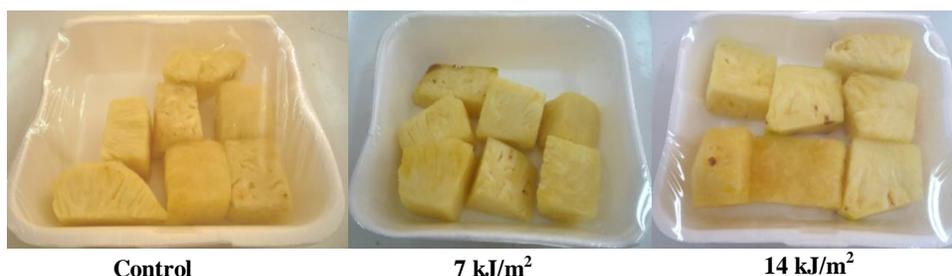


Figura 13. Imágenes de los trozos de piña tratados con irradiación UV-C y la muestra control almacenadas a 5 °C durante 15 días.

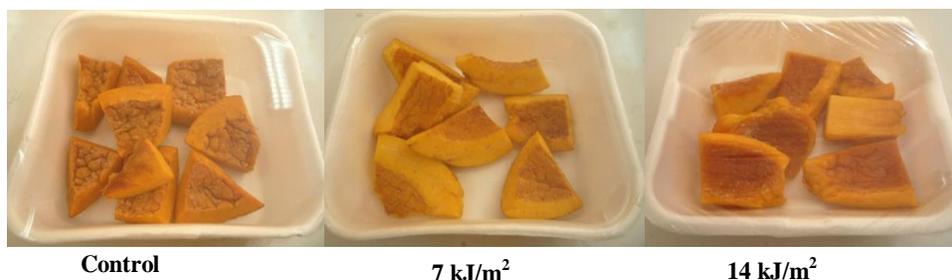


Figura 14. Imágenes de las tiras de mamey tratadas con irradiación UV-C y la muestra control almacenadas a 5 °C durante 15 días.

4. Conclusiones

Existió un efecto significativo de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes en las frutas tropicales, mango, piña y mamey, mínimamente procesadas. La dosis de irradiación UV-C de 7 kJ/m² permitió obtener las mejores características fisicoquímicas en mango y mamey y 14 kJ/m² en piña, mínimamente procesadas durante 15 días de almacenamiento a 5 °C. La dosis de irradiación UV-C de 14 kJ/m² permitió obtener las mayores características antioxidantes y el menor recuento microbiano en las frutas tropicales, mango, piña y mamey, mínimamente procesadas durante 15 días de almacenamiento a 5 °C.

Agradecimiento

Al Vicerrectorado de Investigación de la Universidad Privada Antenor Orrego pues a través del Fondo Concursable 2012 se pudo adquirir el radiómetro digital utilizado en este trabajo. Asimismo, a los estudiantes de la Escuela de Ingeniería en Industrias Alimentarias, Ana Esquivel, Kattia Chanamé y Paola Arteaga; el Bachiller Diego Valdivieso y el Ing. Stalin López, por su apoyo en la fase experimental de la investigación.

Referencias bibliográficas

Alegria, C.; Pinheiro, J.; Duthoit, M.; Goncalves, E.; Moldao-Martins, M.; Abreu, M. 2012. Fresh-cut carrot (cv. Nantes) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pre-treatments. *LWT-Food Science and Technology* 48: 197-203.

Alothman, M.; Bhat, R.; Karim, A. 2009a. UV radiation-induced changes of antioxidant capacity of fresh-cut tropical fruits. *Innovative Food Science and Emerging Technologies* 10: 512-516.

Alothman, M.; Bhat, R.; Karim, A. 2009b. Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plants produce. *Trends in Food Science and Technology* 20: 201-212.

Andrade-Cuvi, M.; Moreno-Guerrero, C.; Henríquez-Bucheli, A.; Gómez-Gordillo, A.; Concellón, A. 2010. Influencia de la radiación UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 11: 18-27.

Artés-Hernández, F.; Robles, P.; Gómez, P.; Tomás-Callejas, A.; Artés, F. 2010. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology* 55: 114 - 120.

Beltrán, A.; Ramos, N.; Alvarez, M. 2010. Estudio de la vida útil de fresas (*Fragaria vesca*) mediante tratamiento con radiación ultravioleta de onda corta UV-C. *Revista Tecnológica ESPOL* 23(2): 17 - 24.

Bhat, R.; Ameran, S.; Voon, H.; Karim, A.; Tze, L. 2011. Quality attributes of star fruit (*Averrhoa carambola* L.) juice treated with ultraviolet radiation. *Food Chemistry* 127: 641-644.

Bierhals, V.; Chiumarelli, M.; Hubinger, M. 2011. Effect of cassava starch coating on quality and shelf life of fresh-cut pineapple (*Ananas Comosus* L. Merrill cv "Perola"). *Journal of Food Science* 76(1): 62-72.

Djioua, T.; Charles, F.; Freire, M.; Filgueiras, H.; Ducamp-Collin, M.; Sallanon, H. 2010. Combined effects of postharvest heat treatment and chitosan coating on quality of fresh-cut mangoes (*Mangifera indica* L.) *International Journal of Food Science and Technology* 45: 849-855.

González-Aguilar, G.; Villegas-Ochoa, M.; Cruz-Valenzuela, F.; Vásquez, F.; Ayala-Zavala, J. 2006. Irradiación UV-C de mango fresco cortado y su capacidad en la actividad antioxidante. Disponible en: <http://www.hoticom.com/pd/imagenes/65/983/65983.pdf>. Fecha de acceso: febrero del 2011.

González-Aguilar, G.; Villegas-Ochoa, M.; Cuamea-Navarro, F.; Ayala-Zavala, J. 2006. Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. I Simposio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados. San Pedro-Brasil, 59 -64.

González-Aguilar, G.; Zavaleta-Gatica, R.; Tiznado-Hernández, M. 2007. Improving postharvest quality of mango 'Haden' by UV-C treatment. *Postharvest Biology and Technology* 45: 108-116.

González-Aguilar, G.; Celis, J.; Sotelo-Mundo, R.; de la Rosa, L.; Rodrigo-García, J.; Álvarez-Parrilla, E. 2008. Physiological and biochemical changes of different fresh-cut mango cultivars stored at 5 °C. *International Journal of Food Science and Technology* 43: 91-101.

- Hernández-Muñoz, P.; Almenar, E.; Del Valle, V.; Velez, D.; Gavara, R. 2008. Effect of chitosan coating combined with postharvest calcium treatment on strawberry (*Fragaria ananassa*) quality during refrigerated storage. *Food Chemistry* 110: 428-435.
- James, J.; Ngarmasak, T. 2010. Processing of fresh-cut tropical fruits and vegetables: A Technical Guide. Food and Agriculture Organization of the United Nations Regional Office for Asia and the Pacific. Disponible en: [http://www.fao.org/docrep/i1909e00.htm](http://www.fao.org/docrep/i1909e/i1909e00.htm)
- Lin, D.; Zhao, Y. 2007. Innovations in the development and application of edible coatings for fresh and minimally processed fruits and vegetables. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 6: 60-75.
- López-Rubira, V.; Artés-Hernández, F.; Artés, F. 2007. Evaluación de la calidad de granadas tratadas con UV-C y almacenadas en atmósfera controlada. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Postcosecha y Agroexportaciones 137-145.
- Manzocco, L.; Da Pieve, S.; Bertoloni, A.; Bartolomeoli, I.; Maifreni, M.; Vianello, A.; Nicoli, M. 2011. Surface decontamination of fresh-cut Apple by UV-C light exposure: Effects on structure, color and sensory properties. *Postharvest Biology and Technology* 61: 165 - 171.
- Márquez, L., Pretell, C.; Minchón C. 2011. Efecto del tratamiento desinfectante y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y sensoriales en rebanadas de mango (*Mangifera indica* L.), Kent mínimamente procesado. *Pueblo Continente* 22 (2): 385-403.
- Márquez, L., Pretell, C.; Minchón C. 2012. Efecto de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas, microbiológicas y antioxidantes en rebanadas de carambola (*Averrhoa carambola* L.), variedad Golden Star mínimamente procesada. *Pueblo Continente* 23 (2): 353-369.
- Martínez-Hernández, G.; Gómez, P.; Pradas, I; Artés, F.; Artés-Hernández, F. 2011. Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi broccoli. *Postharvest Biology and Technology* 62: 327-337.
- Martínez-Romero, D.; Guillén, F.; Valverde, J.; Serrano, M.; Zapata, P.; Bailen, G.; Valero, D.; Castillo, S. 2007. Aloe vera gel como recubrimiento comestible en frutas y hortalizas. Universidad Miguel Hernández - España.
- MINSA. 2008. Norma Resolución Ministerial N° 591-2008. Perú.
- Olivas, G.; Barbosa-Cánovas, G. 2005. Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition* 45: 657-670.
- Pan, Y.; Zu, H. 2012. Effect of UV-C radiation on the quality of fresh-cut pineapples. *Procedia Engineering* 37: 113-119.
- Pongprasert, N.; Sekosawa, Y.; Sugaya, Y.; Gemma, H. 2011. The role and mode of action of UV-C hormesis in reducing cellular oxidative stress and the consequential chilling injury of banana fruit peel. *International Food Research Journal* 18: 741 -749.
- Rawson, A.; Patras, A.; Tiwari, B.; Noci, F.; Koutchma, T.; Brunton, N. 2011. Effect of thermal and no thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review and recent advances. *Food Research International* 44: 1875-1887.
- Rico, D.; Martín-Diana, A.; Barat, J.; Barry-Ryan C. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruits and vegetables. *Trends in Food Science and Technology* XX: 1-15.
- Rivera, D.; Gardea, A.; Martínez, M.; Rivera, M.; Gonzáles, G. 2007. Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. *Revista Fitotecnia Mexicana* 30(4): 361 - 372.
- Robles-Sánchez, M.; Gorinstein, S.; Martín-Belloso, O.; Astiazarán-García, H.; González-Aguilar, G.; Cruz-Valenzuela, R. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Interciencia* 32(4): 227-232.
- Sgroppo, S.; Sosa, C. 2009. Zapallo anco (*Cucurbita moschata*, D.) Fresco cortado tratado con luz UV-C. *FACENA* 25: 7-19.