

BIBLIOGRAFÍA

- CAMPOS, L. Y GONZABAY, L. 2007.** Proyecto de producción y comercialización de yogurt y kumis como producto alternativo para la nutrición. Tesis de grado. Talca. Universidad de Talca. Facultad de Ciencias Agrarias, Escuela de Agronomía. 190p.
- DAMIN, R., ALCÁNTARA, A., NUNES, J. Y OLIVEIRA, L. 2009.** Effects of milk supplementation with skim milk powder, whey protein concentrate and sodium caseinate on acidification kinetics, rheological properties and structure of nonfat stirred yogurt. *LWT*. 42: 1744 - 1750.
- DE BRABANDERE, A. Y DE BAERDEMAEKER, J. 1999.** Effects of process conditions on the pH development during yogurt fermentation. *J. Food*. 41: 221 - 227.
- GALVIS, E. 2009.** Evaluación de utilización de stevia en yogurt batido. Trabajo de Tesis para optar el título de Especialista en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Universidad Nacional de Colombia, Programa de especialización en Ciencia y Tecnología de Alimentos. Bogotá, Colombia.
- HAQUE, A., RICHARDSON, R. Y MORRIS, E. 2001.** Effect of fermentation temperature on the rheology of set and stirred yogurt. *Food H*. 15: 593 - 602.
- HERNÁNDEZ, P. 2004.** Evaluación de las propiedades fisicoquímicas y reológicas de yogurt bajo en grasa enriquecido con fibra y calcio de yogurt. Tesis profesional como requisito parcial para obtener el Título en Maestría en Ciencia de Alimentos. Universidad de las Américas Puebla. 248p.
- LEVENSPIEL, O. 1993.** Flujo de fluidos e intercambio de calor. Editorial Reverté S.A. Madrid. España.
- SÄKER, W. 2011.** Efecto del cultivo láctico y adición de gelatina y sacarosa sobre la sinéresis, viscosidad, sabor y consistencia en leche fermentada. Tesis en Ingeniera en Industrias Alimentarias. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Privada Antenor Orrego. Trujillo, Perú.
- SINGH, P. Y HELDMAN, D.1999.** Introducción a la Ingeniería de alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España.
- SUPAVITIPATANA, R., WIRJANTORO, T., APICHARTSRANGKON, A. Y RAVIYAN, P. 2008.** Addition of gelatin enhanced gelation of corn milk yogurt. *Food Chemistry*. 106: 211 - 216.
- TAMIME, A. Y ROBINSON, K. 1991.** Ciencia y tecnología. Editorial Acribia. Zaragoza. España.

EFFECTO DE LA DOSIS DE IRRADIACIÓN UV-C Y TIEMPO DE ALMACENAMIENTO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FISCOQUÍMICAS, MICROBIOLÓGICAS Y ANTIOXIDANTES DE FRUTAS TROPICALES MÍNIMAMENTE PROCESADAS

EFFECT OF UV-C IRRADIATION DOSE AND STORAGE TIME ON PHYSICO-CHEMICAL, MICROBIOLOGICAL, AND ANTIOXIDANTS CHARACTERISTICS IN TROPICAL FRUITS MINIMALLY PROCESSED

AUTORES

Luis Márquez Villacorta¹,
Carla Pretell Vásquez¹

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: el mango en rebanadas de 0,5 cm de espesor, 4,0 cm de largo y 3,0 cm de ancho; la piña 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; que se sometieron a una inmersión en solución combinada de cloruro de calcio (1% p/v) y ácido ascórbico (1% p/v) durante 1 min. Posteriormente, las frutas frescas cortadas se sometieron a dosis de irradiación UV-C (0, 7 y 14 kJ/m²). Finalmente, las muestras fueron envasadas en bandejas de poliestireno y recubiertas con una película de cloruro de polivinilo microperforada y almacenadas a 5 °C, con una humedad relativa de 85 - 90%, durante 15 días. Cada cinco días, las muestras fueron evaluadas en 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 en las frutas tropicales mínimamente procesadas fue significativo (p<0,05). La dosis de irradiación UV-C de 7 kJ/m² permitió obtener las mejores características fisicoquímicas en las rebanadas de mango y tiras de mamey, en tanto que, la dosis de 14 kJ/m², en los trozos de piña. Las mayores características antioxidantes y menor recuento microbiológico en las frutas mínimamente procesadas se obtuvieron con la dosis de irradiación UV-C de 14 kJ/m² durante los 15 días de almacenamiento a 5 °C.

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

¹Ingeniero en Industrias Alimentarias, Maestro en Tecnología de Alimentos. Docente Auxiliar de la Universidad Privada Antenor Orrego (lmarquezv@upao.edu.pe).



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: the mango in slices of 0,5 cm thickness, 4,0 cm length and 3,0 cm wide; the pineapple chunks of 1,5 cm thickness; and the mamey in trips 4,0 cm length and 3,0 cm wide; 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 a polyvinyl chloride film microperforated, and stored at 5 °C with a 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 at 5 °C 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 slices of mango and mamey trips, while the dose of 14 kJ/m² in the pineapple chunks. The highest antioxidants characteristics and lowest microbiological count in the minimally processed fruits obtained with the dose of UV-C irradiation 14 kJ/m² during the 15 days of storage at 5 °C.

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

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 y otros, 2011).

Estudios epidemiológicos indican que el consumo regular de frutas y hortalizas puede reducir el riesgo de enfermedades cardiovasculares, envejecimiento, y procesos degenerativos, particularmente aterosclerosis y cáncer. Estos efectos benéficos son atribuidos, en gran parte, 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 y otros, 2007; Alothman y otros, 2009 y Bhat y otros, 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 y otros, 2007; Bierhals y otros, 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 proveen las condiciones ideales para

el crecimiento microbiano (Andrade-Cuvi y otros, 2010; Alegría y otros, 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 también ha generado una demanda creciente de diversos 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 y otros, 2007; Alothman y otros, 2009; 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 y otros, 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 y otros, 2009). 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 y otros, 2011; Andrade-Cuvi y otros, 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 y otros, 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 y otros, 2010).

La hormesis es una respuesta adaptativa con características diferenciadas 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 y otros, 2007; Pongprasert y otros, 2011).

En la presente investigación se planteó los siguientes objetivos:

- Evaluar el efecto 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.
- 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.

METODOLOGÍA

2.1. 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.

2.2. 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.

2.3. 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 anti-pardeamiento 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.

2.4. 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 especialmente 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/cm²) fue medida utilizando un radiómetro digital Marca Cole-Parmer modelo UVP (rango 0-20 mW/cm²) que permitió las dosis de aplicación de 7 y 14 kJ/m², mediante la fórmula 1 (López-Rubira y otros, 2007):

$$D = \left(\frac{I \cdot t}{1000} \right) \quad (1)$$

D: dosis de irradiación aplicada (kJ/m²)

I: intensidad de irradiación bajo el área de emisión de luz UV-C (W/m²)

t: tiempo de exposición (s)

2.5. Técnicas analíticas

2.5.1. 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 y otros, 2011; Chuna, 2012).

2.5.2. 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 y otros, 2011; Chuna, 2012).

2.5.3. 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 y otros, 2011; Chuna, 2012).

2.5.4. Firmeza

Se midió mediante la determinación de la fuerza de penetración (g_f), 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 y otros, 2011; Chuna, 2012).

2.6. 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 y otros, 2010).

2.7. 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 (Allothman y otros, 2009).

2.8. 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 y otros, 2009).

2.9. 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 (Statistical Package for The Social Sciences), versión 18.0 (SPSS Inc., 2009).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Pérdida de peso

La pérdida de peso en las frutas tropicales mínimamente procesadas 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 y otros, 2008).

Márquez y otros (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 y otros (2007) reportaron que las granadas tratadas con irradiación UV-C de 9,08 - 22,7 kJ/m², muestra-

ron menores valores de pérdida de peso durante 12 semanas de almacenamiento a 5 °C, en comparación con la muestra control.

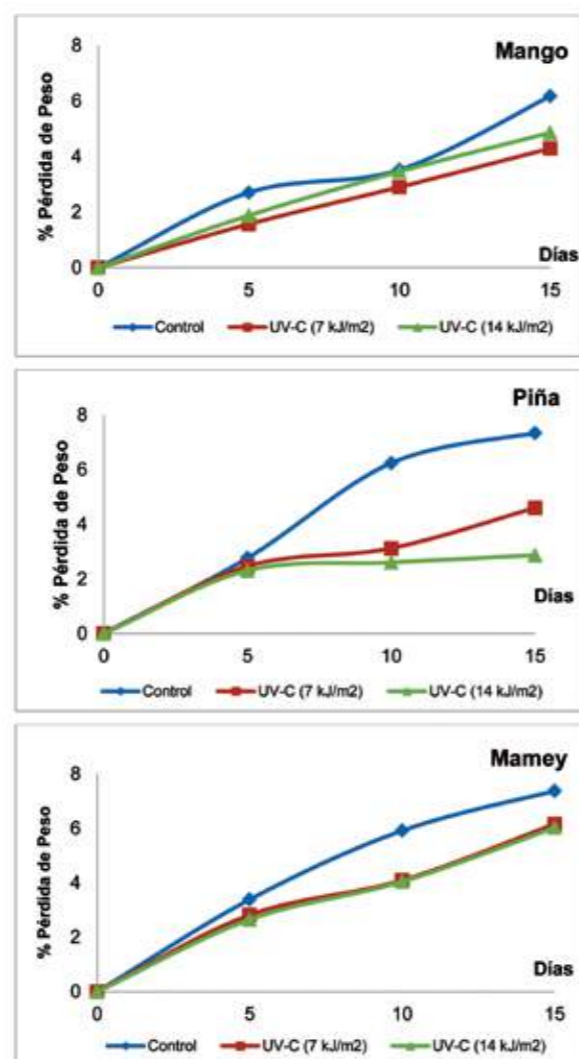


Figura 1. Pérdida de peso en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

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 (Cuadro 1).

CUADRO 1.

Análisis de varianza para la pérdida de peso en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Irradiación	2,139	2	1,065	23,683	0,000
	Tiempo	85,326	3	28,449	632,696	0,000
	Interacción	1,822	6	0,304	6,754	0,000
	Error	0,549	12	0,045		
	Total	89,816	23			
Piña	Irradiación	20,878	2	10,439	347,533	0,000
	Tiempo	84,570	3	28,190	938,503	0,000
	Interacción	15,023	6	2,504	83,360	0,000
	Error	0,360	12	0,030		
	Total	120,832	23			
Mamey	Irradiación	7,059	2	3,529	65,635	0,000
	Tiempo	134,668	3	44,889	834,820	0,000
	Interacción	3,082	6	0,514	9,552	0,001
	Error	0,645	12	0,054		
	Total	145,454	23			

Márquez y otros (2012) determinaron diferencia significativa (p<0,05), en la aplicación de irradiación UV-C (7 y 14 kJ/m²) y tiempo de almacenamiento (16 días a 5 °C) sobre la pérdida de peso en rebanadas de carambola mínimamente procesada.

3.2. Color

El color en las frutas tropicales mínimamente procesadas fue afectado por la irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento (Figura 2). La evaluación se fundamentó en el valor de la luminosidad (valor L*), componentes del verde al rojo (valor a*) y componentes del azul al amarillo (valor 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 y otros, 2008, Djioua y otros, 2010). El mayor valor de luminosidad, al final del almacenamiento, se presentó en mango, en las rebanadas de tratadas con 7 kJ/m² (69,06); en piña, en los trozos con 14 kJ/m² (72,48); y en mamey, en las tiras con 7 kJ/m² (68,93); en comparación con las muestras control que denotaron un alto grado de oscurecimiento.

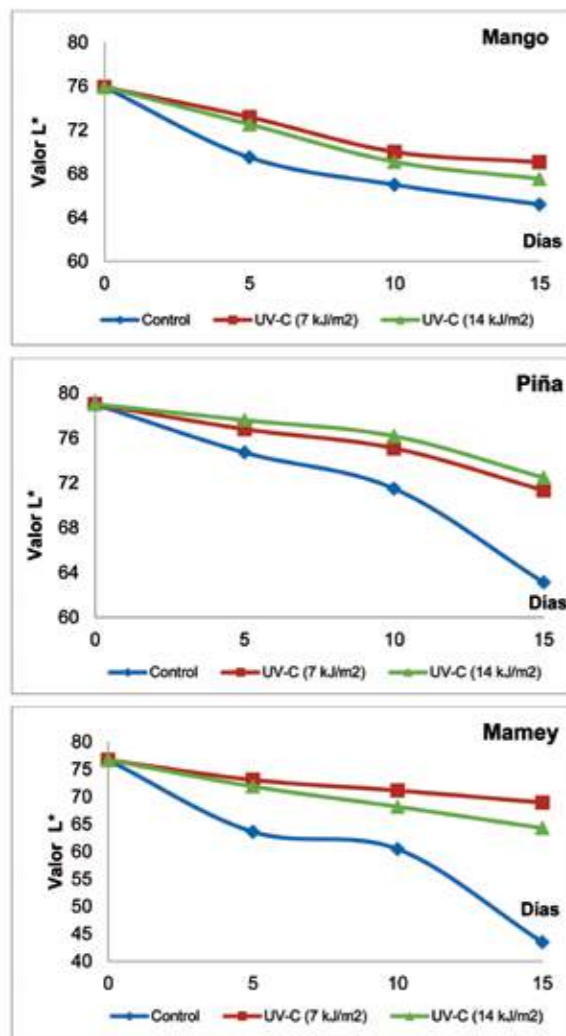


Figura 2. Cambios en valores L* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Márquez y otros (2012) encontraron mayores valores de luminosidad 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. Artés-Hernández y otros (2010) mencionaron que los cubos de sandía mínimamente procesada tratados con irradiación UV-C (1,6-7,2 kJ/m²) denotaron mayores valores de luminosidad comparados con una muestra control durante 11 días de almacenamiento a 5 °C. Manzocco y otros (2011) indicaron que las rodajas de manzana mínimamente procesada tratadas con irradiación UV-C (1,2-24,0 kJ/m²) 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 y otros, 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 de tratadas con 7 kJ/m² (-0,38); en piña, en los trozos con 14 kJ/m² (-9,0); y en mamey, en las tiras con 7 kJ/m² (6,45).

El parámetro b* de las frutas tropicales mínimamente procesadas 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. El valor de b* fue mayor durante el de 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 de tratadas con 7 kJ/m² (67,17); en piña, en los trozos con 14 kJ/m² (42,80); y en mamey, en las tiras con 7 kJ/m² (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/m² de irradiación UV-C y almacenadas a 5 °C durante 16 días (Márquez y otros, 2012).

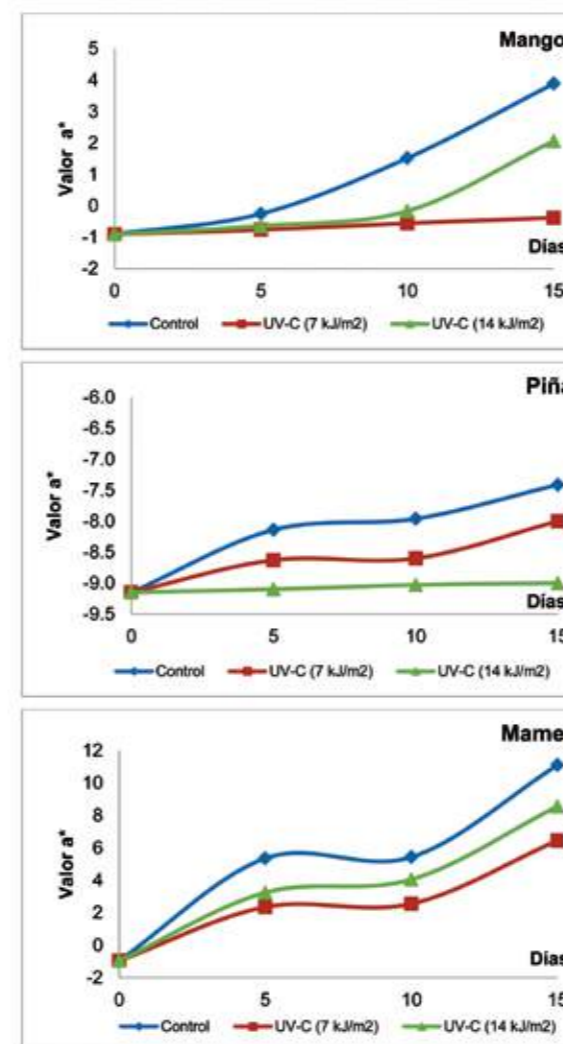


Figura 3. Cambios en valores a* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

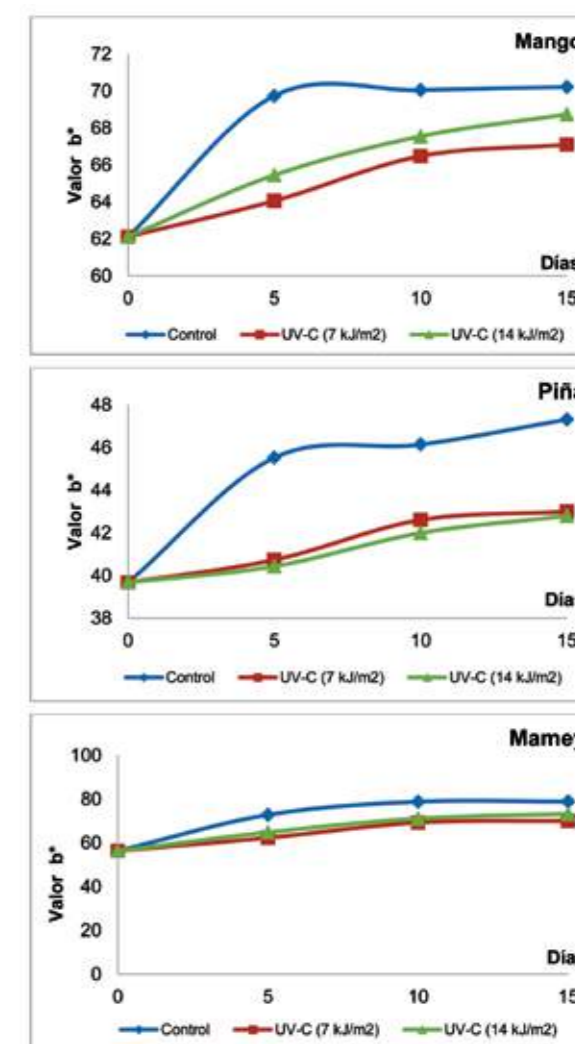


Figura 4. Cambios en valores b* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

El análisis estadístico de los parámetros del color en las frutas tropicales indicó que existió un efecto significativo ($p < 0,05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento sobre los parámetros L*, a* y b* (Cuadro 2, 3 y 4).

Cuadro 2. Análisis de varianza para el valor L* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Irradiación	26,698	2	13,349	225,239	0,000
	Tiempo	256,683	3	85,561	1443,660	0,000
	Interacción	9,375	6	1,562	26,363	0,000
	Error	0,711	12	0,059		
	Total	293,467	23			
Piña	Irradiación	68,704	2	34,352	185,111	0,000
	Tiempo	306,921	3	102,307	551,297	0,000
	Interacción	44,107	6	7,351	39,613	0,000
	Error	2,227	12	0,186		
	Total	421,959	23			
Mamey	Irradiación	700,763	2	350,381	71,962	0,000
	Tiempo	872,375	3	290,792	59,724	0,000
	Interacción	358,518	6	59,753	12,272	0,000
	Error	58,427	12	4,869		
	Total	1990,083	23			

Cuadro 3. Análisis de varianza para el valor a* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Irradiación	11,644	2	5,822	12761,985	0,000
	Tiempo	26,771	3	8,924	19560,776	0,000
	Interacción	11,482	6	1,914	4194,819	0,000
	Error	0,005	12	0,000		
	Total	49,903	23			
Piña	Irradiación	2,561	2	1,280	77,338	0,000
	Tiempo	3,460	3	1,153	69,666	0,000
	Interacción	1,030	6	0,172	10,367	0,000
	Error	0,199	12	0,017		
	Total	7,249	23			
Mamey	Irradiación	23,140	2	11,570	13,608	0,001
	Tiempo	194,701	3	64,900	76,333	0,000
	Interacción	9,353	6	1,559	1,833	0,175
	Error	10,203	12	0,850		
	Total	237,396	23			

Cuadro 4. Análisis de varianza para el valor b* en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Irradiación	14,983	2	7,492	8,072	0,006
	Tiempo	137,942	3	45,981	49,539	0,000
	Interacción	11,331	6	1,889	2,035	0,139
	Error	11,138	12	0,928		
	Total	175,394	23			
Piña	Irradiación	58,187	2	29,094	26549,395	0,000
	Tiempo	77,433	3	25,811	23553,839	0,000
	Interacción	20,325	6	3,388	3091,322	0,000
	Error	0,013	12	0,001		
	Total	155,959	23			
Mamey	Irradiación	161,102	2	80,551	14,871	0,001
	Tiempo	1023,048	3	341,016	62,957	0,000
	Interacción	53,814	6	8,969	1,656	0,215
	Error	65,000	12	5,417		
	Total	1302,964	23			

Márquez y otros (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 valor L*, a* y b* en rebanadas de carambola mínimamente procesada. Manzocco y otros (2011) reportaron diferencia significativa ($p < 0,05$), de la aplicación de irradiación UV-C (1,2 - 24,0 kJ/m²) y tiempo de almacenamiento (15 días a 6 °C) sobre los parámetros de color L*, a* y b* en rodajas de manzana mínimamente procesada.

3.3. 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 y otros (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.

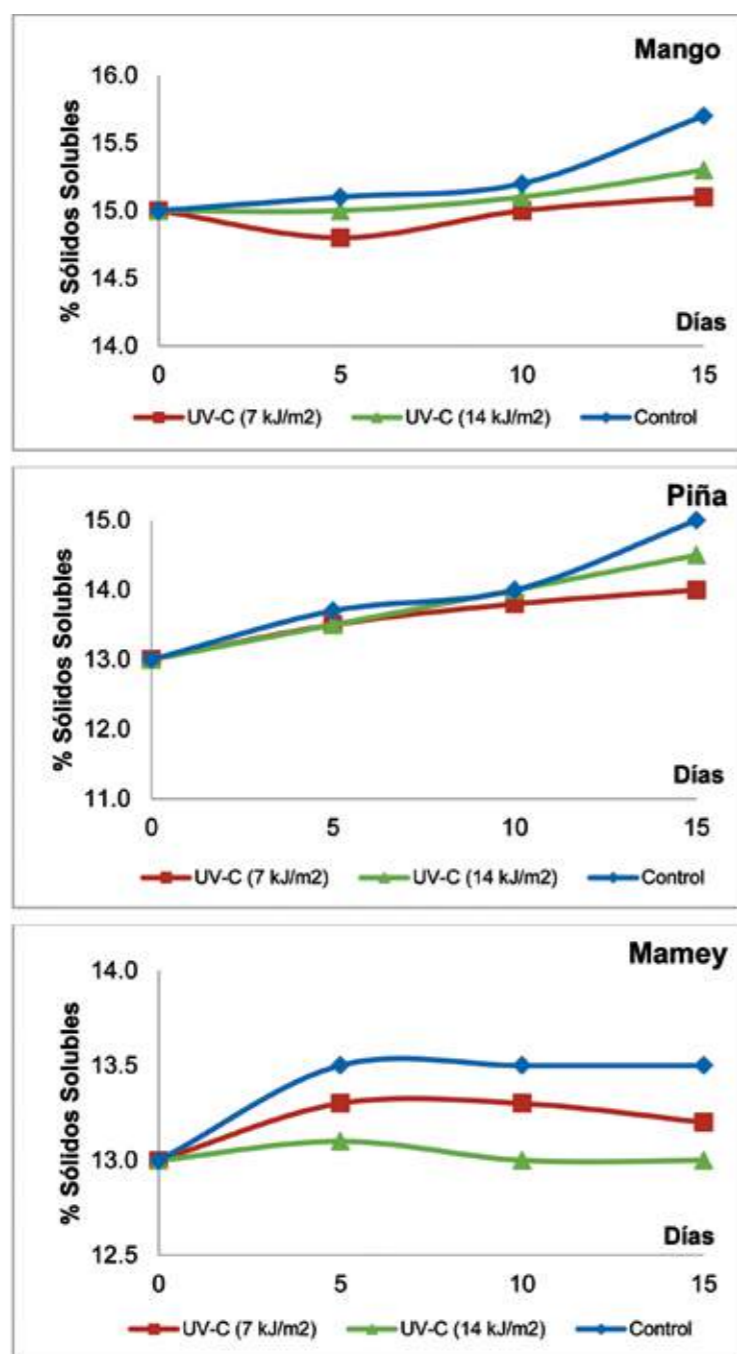


Figura 5. Contenido de sólidos solubles en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

El análisis estadístico del contenido de sólidos solubles 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 (Cuadro 5).

Cuadro 5. Análisis de varianza el contenido de sólidos solubles en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Irradiación	0,458	2	0,229	28,895	0,000
	Tiempo	0,735	3	0,245	30,930	0,000
	Interacción	0,349	6	0,058	7,351	0,002
	Error	0,095	12	0,008		
	Total	1,636	23			
Piña	Irradiación	0,466	2	0,233	20,704	0,000
	Tiempo	7,561	3	2,520	224,037	0,000
	Interacción	0,428	6	0,071	6,333	0,003
	Error	0,135	12	0,011		
	Total	8,590	23			
Mamey	Irradiación	0,461	2	0,230	79,000	0,000
	Tiempo	0,308	3	0,103	35,190	0,000
	Interacción	0,166	6	0,028	9,476	0,001
	Error	0,035	12	0,003		
	Total	0,970	23			

3.4. Firmeza

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 y otros (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.

La firmeza, medida como la fuerza de penetración, en las frutas tropicales mínimamente procesadas fue disminuyendo a medida que transcurrieron los días de almacenamiento (Figura 6). Las frutas frescas cortadas 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 en las tiras mamey con 7 kJ/m².

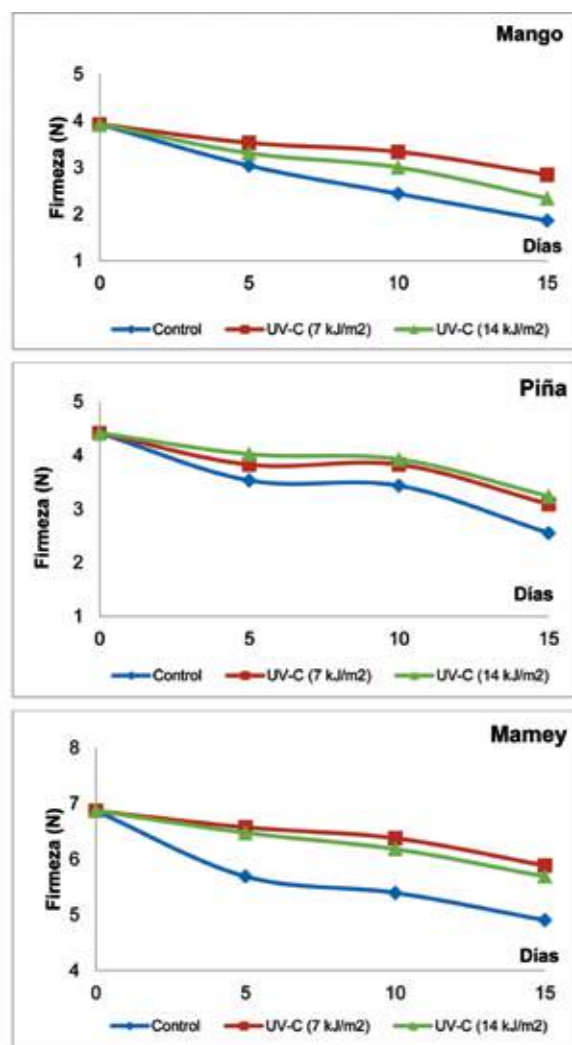


Figura 6. Firmeza en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

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. Por tanto, cualquier agente externo que afecte a uno o varios de estos factores puede modi-

ficar la firmeza e inducir cambios que modifiquen la calidad final del producto (Martínez-Romero y otros, 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 y otros, 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 pectinmetilesterasa 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 y otros (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 y otros (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 efecto significativo ($p < 0,05$) de la dosis de irradiación UV-C y tiempo de almacenamiento (Cuadro 6).

Cuadro 6. Análisis de varianza de la firmeza en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Irradiación	1,182	2	0,591	72,251	0,000
	Tiempo	7666	3	2,555	312,482	0,000
	Interacción	0,507	6	0,085	10,338	0,000
	Error	0,098	12	0,008		
	Total	9,453	23			
Piña	Irradiación	0,895	2	0,448	77,250	0,000
	Tiempo	6,571	3	2,190	378,113	0,000
	Interacción	0,355	6	0,059	10,223	0,000
	Error	0,070	12	0,006		
	Total	7,891	23			
Mamey	Irradiación	2,095	2	1,047	78,271	0,000
	Tiempo	6,385	3	2,128	159,044	0,000
	Interacción	0,714	6	0,119	8,887	0,001
	Error	0,161	12	0,013		
	Total	9,354	23			

Pan y Zu (2012) indicaron 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 la firmeza en rebanadas de piña. Márquez y otros (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 la firmeza de rebanadas de carambola mínimamente procesada.

3.5 Análisis microbiológico

El recuento de total de bacterias aerobias mesófilas viables y mohos y levaduras fue incrementando con el transcurso del almacenamiento en las frutas tropicales mínimamente procesadas.

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 y otros, 2010; Pan y Zu, 2012).

El recuento inicial de bacterias aerobias mesófilas viables para las muestras control fue superior a los presentados por frutas frescas cortadas 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).

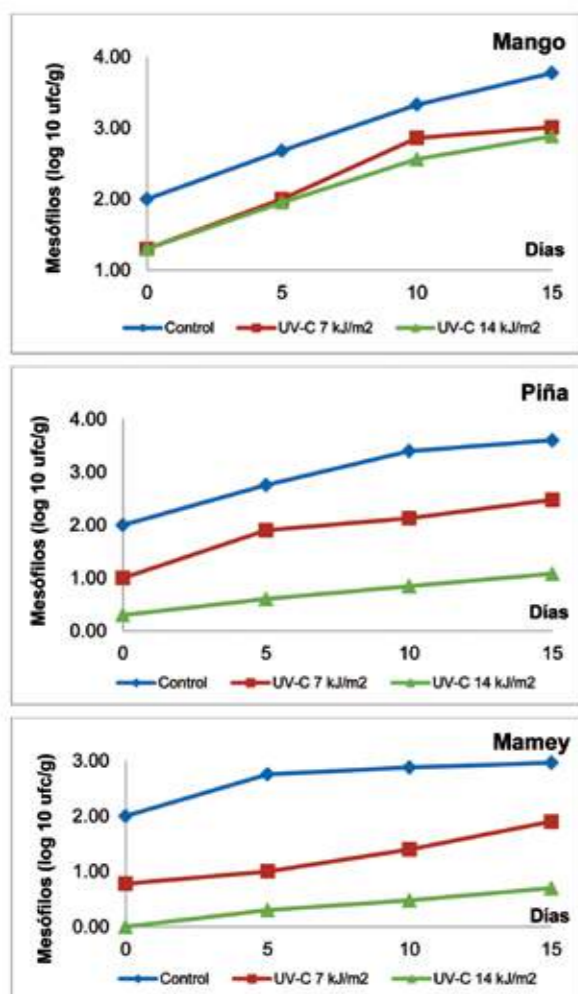


Figura 7. Recuentos de bacterias aerobias mesófilas viables en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

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 y otros, 2011; Rawson y otros, 2011).

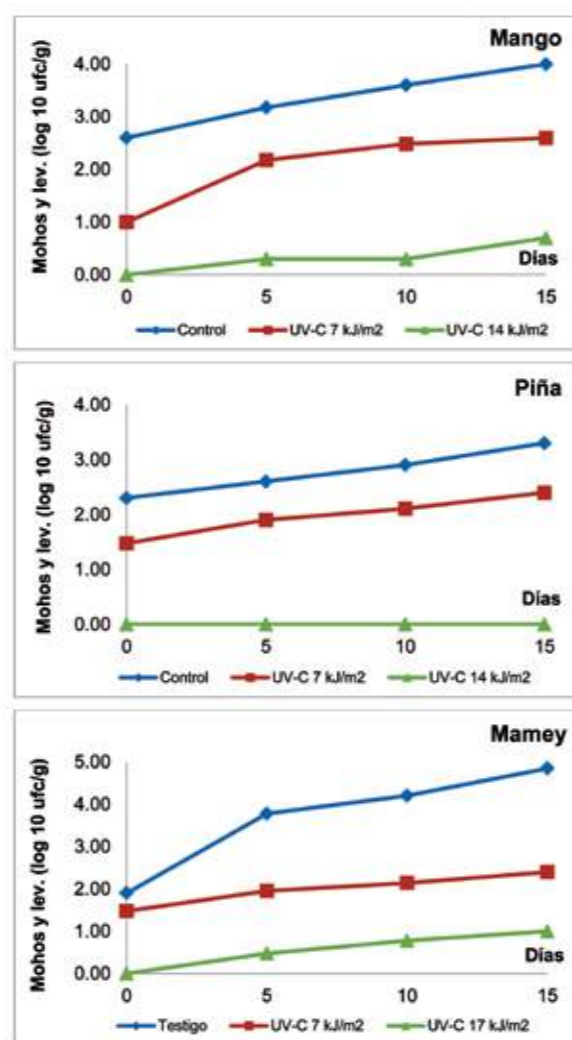


Figura 8. Recuentos de mohos y levaduras en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Márquez y otros (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 y otros (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 (Cuadros 7 y 8).

Cuadro 7. Análisis de varianza del recuento de bacterias aerobias mesófilas viables en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadros	Grados Libertad	Cuadros Medios	F	p
Mango	Irradiación	3,729	2	1,865	128,102	0,000
	Tiempo	10,404	3	3,468	238,235	0,000
	Interacción	0,043	6	0,007	0,497	0,799
	Error	0,175	12	0,015		
	Total	14,351	23			
Piña	Irradiación	20,082	2	10,041	28008,717	0,000
	Tiempo	5,436	3	1,812	5053,918	0,000
	Interacción	0,553	6	0,092	257,073	0,000
	Error	0,004	12	0,000		
	Total	26,075	23			
Mamey	Irradiación	20,089	2	10,044	643,257	0,000
	Tiempo	3,710	3	1,237	79,195	0,000
	Interacción	0,186	6	0,031	1,988	0,147
	Error	0,187	12	0,016		
	Total	24,172	23			

Márquez y otros (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

y otros (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.

Cuadro 8. Análisis de varianza del recuento de mohos y levaduras en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Irradiación	34,781	2	17,390	755,117	0,000
	Tiempo	4,615	3	1,538	66,793	0,000
	Interacción	0,580	6	0,097	4,196	0,017
	Error	0,276	12	0,023		
	Total	40,252	23			
Piña	Irradiación	31.276	2	15,638	1679,383	0,000
	Tiempo	1.616	3	0,539	57,842	0,000
	Interacción	0.496	6	0,083	8,869	0,001
	Error	0.112	12	0,009		
	Total	33.499	23			
Mamey	Irradiación	41.361	2	20,681	2260,327	
	Tiempo	8.429	3	2,810	307,077	
	Interacción	3.062	6	0,510	55,783	
	Error	0.110	12	0,009		
	Total	52.962	23			

3.6. 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.

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 amonía-licasa 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 y otros, 2011; Alothman y otros, 2009).

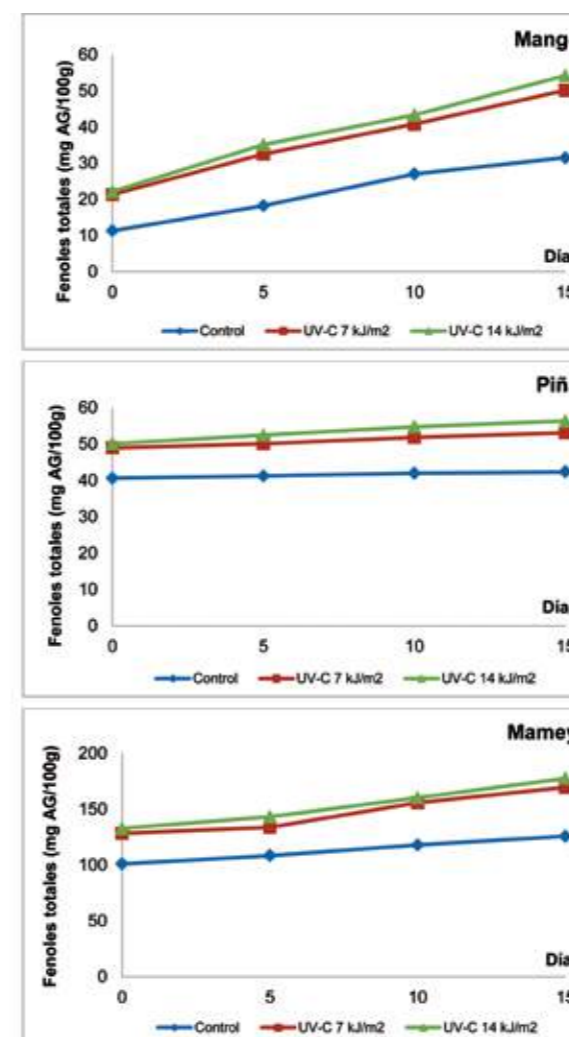


Figura 9. Contenido de fenoles totales frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Márquez y otros (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 y otros (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.

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 (Cuadro 9).

Cuadro 9. Análisis de varianza del contenido de fenoles totales en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Irradiación	1127,487	2	563,743	794,854	0,000
	Tiempo	2432,875	3	810,958	1143,416	0,000
	Interacción	70,555	6	11,759	16,580	0,000
	Error	8,511	12	0,709		
	Total	3639,427	23			
Piña	Irradiación	668,534	2	334,267	4644,212	0,000
	Tiempo	62,661	3	20,887	290,198	0,000
	Interacción	11,553	6	1,926	26,753	0,000
	Error	0,864	12	0,072		
	Total	743,612	23			
Mamey	Irradiación	7298,357	2	3649,179	1047,091	0,000
	Tiempo	4589,669	3	1529,890	438,985	0,000
	Interacción	296,622	6	49,437	14,185	0,000
	Error	41,821	12	3,485		
	Total	12226,469	23			

Márquez y otros (2012) reportaron diferencia significativa ($p < 0,05$), del uso de irradiación UV-C (7 y 14 kJ/m²) y el tiempo de almacenamiento (16 días a 5 °C) sobre el contenido de fenoles totales en rebanadas de carambola mínimamente procesada.

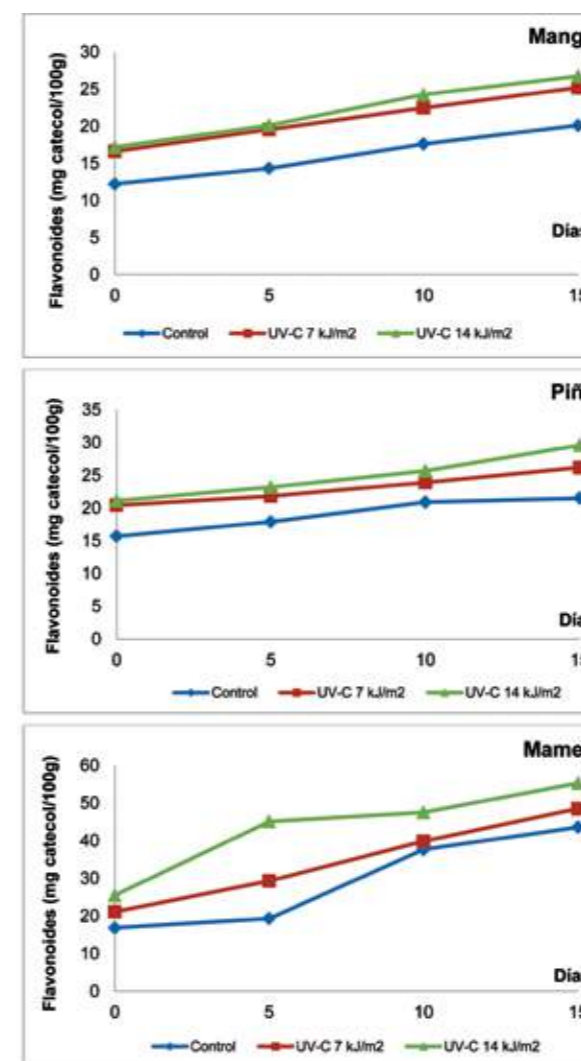


Figura 10. Contenido de flavonoides totales frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

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 y otros, 2011; Bhat y otros, 2011).

La tendencia de incremento de los flavonoides totales se mantuvo hasta el final del almacenamiento, 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/m², respectivamente.

Allothman y otros (2009) 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 (Cuadro 11).

Allothman y otros (2009) 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).

Cuadro 11. Análisis de varianza del contenido de flavonoides totales en frutas tropicales mínimamente procesadas tratadas con irradiación UV-C almacenadas a 5 °C.

Fruta	Fuente Variación	Suma Cuadrados	Grados Libertad	Cuadrados Medios	F	p
Mango	Tiempo	264,951	3	88,317	204,286	0,000
	Irradiación	168,269	2	84,134	194,611	0,000
	Interacción	2,272	6	0,379	0,876	0,540
	Error	5,188	12	0,432		
	Total	440,679	23			
Piña	Irradiación	152,963	2	76,482	217,069	0,000
	Tiempo	149,661	3	49,887	141,588	0,000
	Interacción	8,072	6	1,345	3,818	0,023
	Error	4,228	12	0,352		
	Total	314,924	23			
Mamey	Irradiación	771,469	2	385,734	259,036	0,000
	Tiempo	2432,528	3	810,843	544,512	0,000
	Interacción	146,938	6	24,490	16,446	0,000
	Error	17,869	12	1,489		
	Total	3368,804	23			

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

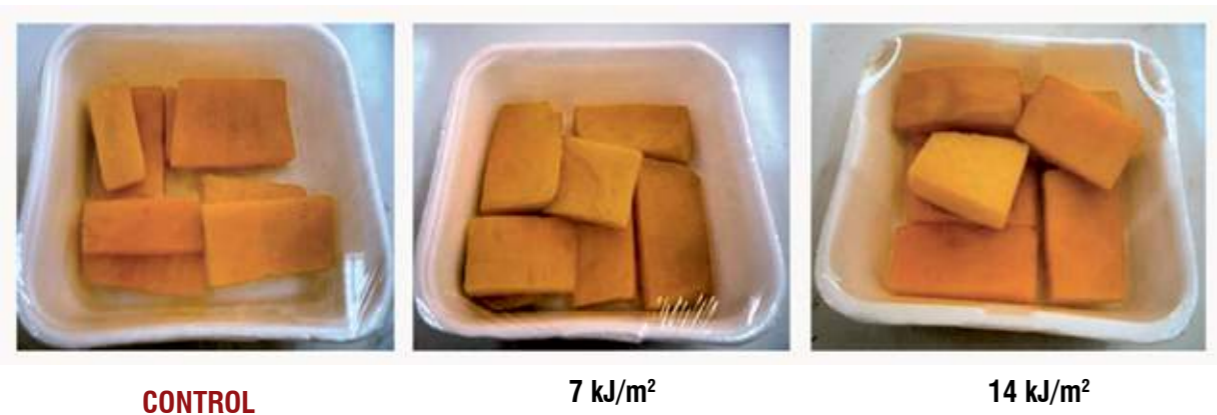


Figura 12. Imágenes de las rebanadas de mango tratadas con irradiación UV-C y la muestra control almacenadas a 5 °C durante 15 días.

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

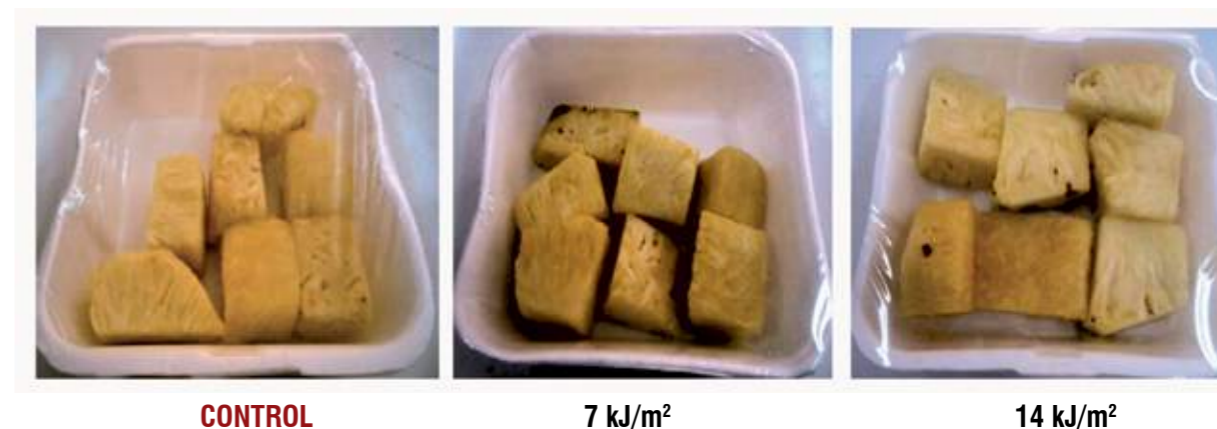


Figura 13. Imágenes de los trozos de piña tratados con irradiación UV-C y la muestra control almacenadas a 5 °C durante 15 días.

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

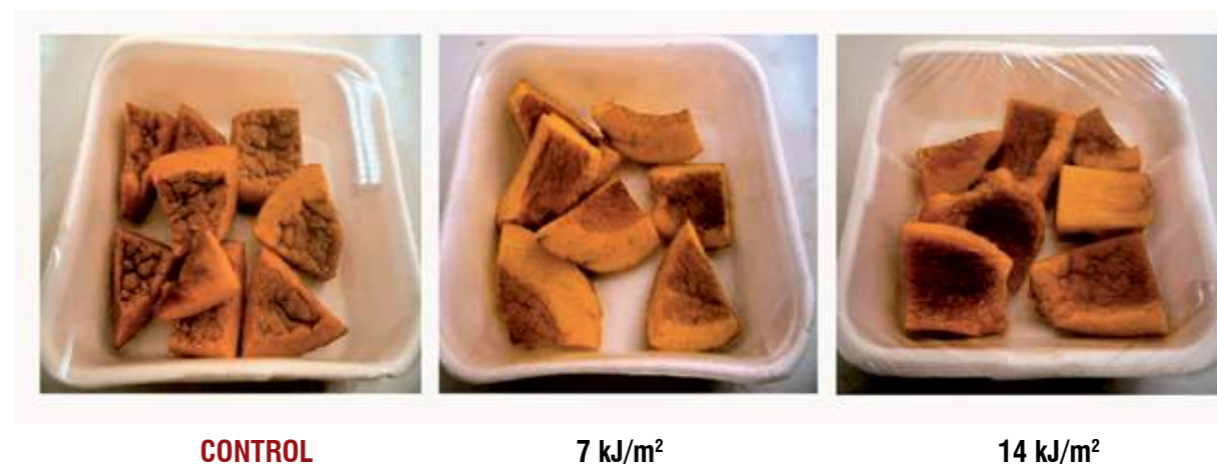


Figura 14. Imágenes de las tiras de mamey tratadas con irradiación UV-C y la muestra control almacenadas a 5 °C durante 15 días.

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

Nuestro agradecimiento al Vicerrectorado de Investigación 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

- ALEGRÍA, C.; PINHEIRO, J.; DUTHOIT, M.; GONCALVES, E.; MOLDAO-MARTINS, M. Y 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. Y KARIM, A. 2009. 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. Y KARIM, A. 2009. Effects of radiation processing on phytochemicals and antioxidants in plants produce. *Trends in Food Science and Technology*, 20: 201-212.
- ANDRADE-CUVI, M.; MORENO-GUERREIRO, C.; HENRÍQUEZ-BUCHELI, A.; GÓMEZ-GORDILLO, A. Y 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. Y ARTÉS, F. 2010. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 55: 114 - 120.
- BELTRAN, A.; RAMOS, N. Y 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. Y 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. Y 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. Y 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. Y 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. Y AYALA-ZAVALA, J. 2006. Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. I Simpósio Ibero-Americano de Vegetais Frescos Cortados. San Pedro-Brasil, 59 -64.
- GONZÁLEZ-AGUILAR, G.; ZAVALA-GATICA, R. Y 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. Y 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. Y 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. Y NGARMSAK, 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/014/i1909e/i1909e00.htm>
- LIN, D. Y 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. Y 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. Y 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. Y 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. Y 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. Y 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. Y CASTILLO, S. 2007. Aloe vera gel como recubrimiento comestible en frutas y hortalizas. Universidad Miguel Hernandez - España.
- MINSA. 2008. Norma Resolución Ministerial N° 591-2008.Perú.
- OLIVAS, G. Y BARBOSA-CÁNOVAS, G. 2005. Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 45:657-670.
- PAN, Y. 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. 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. Y BRUNTON, N. 2011. Effect of thermal and no thermal processing technologies on the bioactive content of exotic fruits and their products: Review and re-

cent advances. Food Research International, 44:1875-1887.

RICO, D.; MARTÍN-DIANA, A.; BARAT, J. Y 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. Y 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-BELOSO, O.; ASTIAZARÁN-GARCÍA, H.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. Y CRUZ-VALENZUELA, R. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. Inter-ciencia, 32(4): 227-232.

SGROPPO, S. Y SOSA, C. 2009. Zapallo anco (*Cucurbita moschata*, D.) Fresco cortado tratado con luz UV-C. FACENA, 25: 7-19.

EFECTO DEL CONTENIDO DE SALES EN LA GERMINACIÓN DEL CULTIVO DE MAÍZ, EN UN SUELO FRANCO ARCILLO LIMOSO, CALCÁREO, DE LA COSTA ÁRIDA PERUANA

EFFECT OF SALTS CONTENT ON MAIZE GERMINATION IN A CALCAREOUS SILTY LOAMY SOIL OF PERUVIAN ARID COAST

AUTORES

Pedro Ríos Paredes ¹

Susy Negreiros Valverde ¹

Rafael Quilcate Ramírez ¹

Jorge Pinna Cabrejos ²

Sergio Valdivia Vega ³

RESUMEN

Se realizó el experimento en la Universidad Privada Antenor Orrego, ubicada en la costa norte del Perú, en un suelo franco arcillo limoso calcáreo, de valle. Se salinizó el suelo con Na Cl, con salinidades de 2.1; 6.6; 10.5; 14.6; y 18.8 dS.m⁻¹. Las macetas con suelo salinizado fueron sembradas con maíz amarillo duro (*Zea mays L.*). Se evaluó la germinación a los 20 días de la siembra. Se continuó regando el suelo con el agua salina utilizada para salinizar el mismo, es decir: 1.4; 4.4; 7.0; 9.7; y 12.5 dS.m⁻¹, y a los 50 días de la siembra, se analizó dicho suelo.

Se corroboró que la salinidad no afectó la germinación del maíz amarillo duro. Al final del experimento, las salinidades fueron 20.87; 27.08; 28.10; 35.13; y 44.82 dS.m⁻¹, por lo que, se concluyó que la salinidad del suelo es igual a 3/2 x la salinidad del agua, solamente si no se añaden sales al suelo; que en estos suelos con alto contenido de limo, si no se riega en exceso, según los requerimientos de lavado, la salinidad de los mismos se incrementa grandemente.

Palabras Clave: Maíz, germinación, sensibilidad a las sales

ABSTRACT

The experiment was carried out Antenor Orrego University, located in the peruvian northern coast, in a valley calcareous loamy silty clayed soil. Soil was salinized with Na Cl with 2.1; 6.6; 10.5; 14.6; and 18.8 dS.m⁻¹. Pots with saline soil were planted with yellow corn (*Zea mays L.*). Germination was evaluated 20 days after sowing. Soil was continuously irrigated with salty water utilized for soil salinization, that means: 1.4; 4.4; 7.0; 9.7; and 12.5 dS.m⁻¹; and 50 days after, sowing soil analysis were made.

It was corroborated that salinity did not affect germination of corn. Soil salinities at the end of the experiment, were 20.87; 27.08; 28.10; 35.13 and 44.82 dS.m⁻¹. Those results let arrive to the conclusion that soil salinity is similar to water salinity by 3/2, only if there is not addition of salts to soil; and that in these highly silty soils, if irrigation is not in exceed according to leaching requirements, their salinity increases highly.

Index words: Maize, germination, Salts sensibility

¹Estudiantes postgraduados. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú

²Profesor Principal. Universidad Privada Antenor Orrego, Av América Sur 3145, Urb. Monserrate, Trujillo, Perú. E-mail: jpinnac@upao.edu.pe

³Profesor Principal. Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú

