

EFFECTO DE LA RADIACIÓN GAMMA SOBRE PARÁMETROS FÍSICOQUÍMICOS POSTCOSECHA DE GUAYABA (*Psidium guajava* L.)

Effect of gamma radiation on post-harvest physicochemical parameters of guava (*Psidium guajava* L.)

-  ¹ Luis Eduardo Zúñiga Moreno *
-  ² Katherine Isabel Guacho Gualaco
-  ² Daniela Chilán Carrasco
-  ² Doris Guilcamaigua Anchatuña
-  ² Alexander Álvarez Martínez

¹ Universidad Agraria del Ecuador, Instituto de Investigación “Dr. Jacobo Bucaram”, Guayaquil, Ecuador.

² Universidad Agraria del Ecuador, Carrera de Agroindustria, Guayaquil, Ecuador.

*lezm.jjlp@gmail.com

RESUMEN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una fruta tropical rica en vitamina C, minerales, fibra dietética y compuestos antioxidantes; sin embargo, las pérdidas postcosecha asociadas a esta fruta se estiman alrededor del 20 al 55 % a nivel mundial. La radiación gamma es una tecnología emergente con gran potencial para optimizar parámetros postcosecha en productos frescos. El objetivo de esta investigación fue evaluar tratamientos de radiación gamma en guayaba como tecnología de conservación postcosecha. Se aplicaron niveles de radiación gamma de 100, 200 y 300 Gy y un tratamiento control sin irradiación, en un periodo de tiempo de 0, 5 y 10 días para analizar parámetros como firmeza, pérdida de peso, contenido de sólidos solubles, humedad y color. Las dosis de 200 y 300 Gy conservaron mejor la calidad de las frutas irradiadas, en cuanto a firmeza, peso, sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Bx), contenido de humedad y color, superando al control. Concluyendo que niveles de radiación de 200 Gy conservan los atributos postcosecha mencionados, promueve la luminosidad de la fruta y extiende la vida útil. Afirmando que la radiación gamma contribuye a la optimización de la calidad de productos frescos manteniendo sus características por más tiempo.

Palabras claves: *Brix, color, firmeza, guayaba, postcosecha, vida útil.*

ABSTRACT

Guava (*Psidium guajava* L.) is a tropical fruit rich in vitamin C, minerals, dietary fiber and antioxidant compounds; however, postharvest losses associated with this fruit are estimated to be around 20-55% worldwide. Gamma irradiation is an emerging technology with great potential to optimize postharvest parameters in fresh produce. The objective of this research was to evaluate gamma radiation treatment of guava as a postharvest preservation technology. Gamma radiation doses of 100, 200 and 300 Gy and a no irradiation control treatment for 0, 5 and 10 days to analyze parameters such as firmness, weight loss, soluble solids content, moisture and color. The doses of 200 and 300 Gy better preserved the quality of irradiated fruits, in terms of firmness, weight, total soluble solids ($^{\circ}$ Bx), moisture content and color, surpassing the control. In conclusion, irradiation at 200 Gy preserved the mentioned postharvest attributes, promoted fruit brightness and extended shelf life. Affirming that gamma irradiation contributes to the optimization of the quality of fresh produce, maintaining its characteristics for a longer period of time.

Keywords: *Brix, color, hardness, moisture, post-harvest, lifespan.*

I. INTRODUCCIÓN

La guayaba (*Psidium guajava* L.) es una fruta climatérica tropical proveniente de las Américas, cuyo cultivo se ha expandido a otras regiones y latitudes (1), su atractivo viene dado por su valor nutricional, su sabor y aroma particulares y sus múltiples beneficios para la salud, entre los que se incluyen altos contenidos de vitamina C, contenido moderado de ciertos minerales, de fibra dietética y compuestos antioxidantes como polifenoles y carotenoides (2). Sin embargo, la guayaba es un producto perecedero, susceptible a infecciones microbianas, lesiones por frío y deterioro por daños mecánicos ocasionando rápidos cambios postcosecha que afectan su calidad y reducen su vida útil (3).

En países desarrollados las pérdidas postcosecha se estiman en alrededor del 20 al 40%, mientras que en países en vías de desarrollo pueden alcanzar valores de hasta el 55% de su producción, considerando que la producción anual se aproxima a 4.05 millones de toneladas métricas, el desperdicio de esta fruta es considerable (4). Por tanto, la mejora de las propiedades postcosecha de la guayaba es de gran interés tanto para productores como para consumidores

La radiación gamma es una tecnología emergente que ha mostrado potencial para prolongar la vida útil y optimizar la calidad de los productos frescos (5). Es una forma de radiación ionizante que puede penetrar en los tejidos biológicos, impactando en la eliminación de microorganismos patógenos, desinfección de las frutas, alteración de las propiedades fisiológicas y bioquímicas de las frutas (6).

Diversas investigaciones han reportado que la radiación gamma puede retrasar algunos efectos de la sobremaduración en frutas, por ejemplo al reducir la pérdida de peso y mantener la firmeza en mango (*Mangifera indica*) (7), cereza (*Prunus avium*) (8), fresa (*Fragaria ananassa*) (9) y papaya (*Carica papaya*) (10). No obstante, el impacto específico de la radiación gamma sobre las propiedades postcosecha de la guayaba ha sido menos explorado, y los resultados obtenidos en otras frutas no siempre son directamente aplicables debido a las diferencias en la fisiología y composición de cada fruto.

La pérdida de peso postcosecha es una señal crítica de la calidad y la frescura de las frutas (11).

El impacto de la radiación gamma sobre la tasa de respiración y transpiración de frutas y vegetales han sido estudiados, sin embargo, no han sido íntegramente esclarecidos. Por una parte, se ha constatado la influencia de esta tecnología sobre ambos procesos fisiológicos (12, 13) pero además se ha observado lo contrario (14). Se considera que la aplicación de dosis precisas de radiación gamma sobre frutas y vegetales podría contribuir en reducir la pérdida de peso postcosecha, minimizando la actividad metabólica sin alterar su estructura celular (15).

El contenido de humedad es un criterio fundamental en la calidad de las frutas, porque se encuentra fuertemente vinculado con algunas propiedades sensoriales clave como apariencia, textura, jugosidad, entre otras (16). La irradiación podría afectar la porosidad de las membranas celulares modificando la presencia de humedad en los tejidos. Por lo tanto, determinar este parámetro luego de la aplicación de radiación gamma posibilitará comprender de mejor manera el impacto de esta tecnología sobre la estructura celular (17).

El color de frutas y verduras representa un factor primordial en su aceptabilidad, debido a que el color constituye una señal inequívoca de calidad y frescura (18). La radiación gamma puede alterar ciertos pigmentos, como carotenoides (19), los cuales son responsables de los colores característicos de las frutas. Por lo tanto, valorar esta propiedad permitirá estimar si la aplicación de radiación gamma impacta sobre la apariencia externa de las frutas.

Los sólidos solubles totales (expresados como grados Brix) denotan la presencia de azúcares, vitaminas, minerales, entre otros, disueltos en el zumo, y es considerado como un indicador del dulzor y de la calidad sensorial de las frutas (20). La radiación gamma puede incidir en el contenido de azúcares, modificando la intensidad de su dulzor debido a la alteración de ciertos procesos bioquímicos (21), debido a esto, monitorear este parámetro resulta de enorme importancia.

La firmeza es otra propiedad esencial de la aceptabilidad pues influye tanto en la manipulación como en la percepción del consumidor. En frutas este parámetro es un indicador de calidad y frescura, mientras que su disminución se asocia con sobremaduración, daños mecánicos o deterioro de su calidad. La

irradiación ha demostrado su efectividad como procedimiento postcosecha en frutas al retardar los mecanismos de ablandamiento enzimático vinculados a la pérdida de firmeza (22).

Considerando lo mencionado, se plantea como objetivo evaluar la influencia de tres dosis de radiación gamma en la guayaba sobre una serie de parámetros postcosecha clave: pérdida de peso, humedad, color, grados Brix y firmeza. Al hacerlo, se busca proporcionar una comprensión más profunda de cómo esta tecnología puede optimizar la calidad y la vida útil de esta fruta tropical, beneficiando tanto a los productores como a los consumidores.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

• Frutas

Se adquirieron 5 kg de guayabas de color verde con leves tonos amarillos y consistencia firme correspondientes al nivel 2 de la escala de madurez (23) en el Mercado Mayorista de Quito ubicado al sur de la ciudad capital. Se seleccionaron especímenes libres de anomalías evidentes o signos de enfermedad como deterioro, magulladura, antracnosis, etc. Las frutas fueron colocadas en bolsas de plástico de grado alimenticio selladas y mantenidas en refrigeración ($6\pm 1,0^{\circ}\text{C}$) para su transporte hasta el laboratorio donde fueron enjuagadas con abundante agua potable, a continuación, se dejaron escurrir durante 10 minutos y fueron secadas con toallas de papel desechables. Se almacenaron los ejemplares a una temperatura de $6\pm 1,0^{\circ}\text{C}$, manteniendo una humedad relativa del 85%. El mismo día que las frutas fueron compradas fueron sometidas al tratamiento de radiación gamma según las dosis respectivas.

• Tratamientos de frutas irradiadas

Se conformaron cuatro grupos de frutas compuestos de aproximadamente 1 kg cada uno. Se emplearon tres dosis de radiación gamma (100 Gy, 200 Gy y 300 Gy) para cada grupo experimental, adicionalmente un lote se utilizó como control. Los análisis fisicoquímicos y de color fueron evaluados en tres puntos temporales: el día de la irradiación (día 0), tras 5 y 10 días, respectivamente. Durante la totalidad del experimento, las

muestras permanecieron a una temperatura de $6\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ y 85 % de humedad relativa.

• Aplicación de radiación gamma

Los frutos fueron transportados a una temperatura de $6\pm 1,0^{\circ}\text{C}$ a la Subsecretaría de Control y Aplicaciones Nucleares (SCAN), al Laboratorio de Calibraciones Dosimétricas donde se utilizó el isótopo radioactivo sintético Cobalto 60 para su tratamiento mediante un equipo irradiador JL Sheperd modelo 109-68. Los frutos fueron colocados en la cámara de irradiación y se expusieron a dosis de 100, 200 y 300 Gy de radiación gamma mediante dosificaciones de 2,17 Gy/min.

• Análisis de firmeza

Los valores de firmeza se obtuvieron empleando un penetrómetro portátil Effegi (FT327, McCormick Fruit Tech). Con la ayuda de una cuchilla de acero inoxidable se retiró la piel de lados opuestos de la fruta, se introdujo el penetrómetro de forma progresiva hasta alcanzar la marca en el instrumento, se registró el valor obtenido y la firmeza se expresó en N como el promedio de ambas mediciones.

• Pérdida de peso

El peso se obtuvo mediante una balanza digital de laboratorio (PB 3001, Mettler Toledo, Suiza). Para calcular la pérdida de peso se utilizó la siguiente ecuación (24):

$$\text{Pérdida de peso (\%)} = \left[\frac{(\text{Peso inicial} - \text{Peso final})}{\text{Peso inicial}} \right] * 100$$

• Análisis de color

Se realizó empleando un colorímetro portátil triestímulos (CR400, Konica Minolta, Osaka-Japón). Los resultados fueron expresados en el espacio de color CIELAB.

• Análisis de sólidos solubles totales (°Brix)

El análisis del contenido de sólidos solubles totales (°Brix) siguió el procedimiento AOAC 932.12 descrito por la Association of Official Analytical Chemists (25).

- Análisis de Humedad

El contenido de humedad siguió el método AOAC 925.09 detallado por la Association of Official Analytical Chemists (25).

- Diseño estadístico

El experimento utilizó el modelo estadístico de Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA). Los datos fueron analizados estadísticamente empleando el Análisis de Varianza (ANOVA) y la prueba de Tukey ($p < 0,05$) para determinar si existe diferencia estadística entre los tratamientos por medio del software InfoStat. Todos los análisis fueron realizados por cuatuplicado, en las tablas se muestran los valores promedio de cuatro repeticiones \pm la desviación estándar.

no mostraron diferencia estadística significativa. En este parámetro al finalizar el experimento se pudo visualizar el impacto de la radiación gamma al preservar mayor firmeza en los tratamientos irradiados.

Referente a esta observación, la disminución de la firmeza en frutas ocurre por la intervención de enzimas como la poligalacturonasa (PG), pectina metilesterasa (PME) y β galactosidasa al catalizar la hidrólisis de carbohidratos como lignina, hemicelulosa, celulosa, pectina, entre otros, (26) los cuales desempeñan un papel central en la rigidez o relajación de la pared celular (27), provocando alteraciones como ablandamiento de la pulpa y posibilitando el ataque de patógenos y enfermedades (28). Se ha mencionado que algunas enzimas como PG, PME y β galactosidasa las cuales son responsables del ablandamiento y posterior maduración de duraznos, cuando estas frutas fueron irradiadas con dosis de 1030 Gy presentaron fases de latencia superiores a frutas no irradiadas, lo que resultó en el retraso de la maduración y ablandamiento por al menos seis días de almacenamiento (29).

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A. Evaluación de parámetros fisicoquímicos

La Tabla 1 presenta los resultados de firmeza y peso de los tratamientos sometidos a diferentes dosis de radiación gamma comparados con el tratamiento control. Con respecto a la firmeza de las frutas, se observa que todos los tratamientos incluyendo al testigo pierden firmeza con el transcurso del tiempo; sin embargo, es importante destacar que al final del experimento se evidenció un notorio descenso de la firmeza de las frutas no irradiadas (0 Gy) frente a aquellas irradiadas con diferentes dosis de radiación gamma. Al inicio del experimento (día 0), todos los grupos, incluyendo el control, mostraron valores de firmeza bastante próximos entre sí. Al transcurrir el día 5, se evidenció que, a mayor dosis de irradiación, menor era la firmeza de los ejemplares, en este lapso, las frutas irradiadas con dosis de 300 Gy (15.73 N) mostraron la menor firmeza que el resto de los grupos, seguido por las muestras de 200 Gy (17.54 N), mientras que la mayor firmeza fue para el grupo control (21.32 N). En el último día del ensayo (día 10), la tendencia observada anteriormente cambió completamente, el mejor desempeño con respecto a la firmeza fue de los ejemplares irradiados con dosis de 100 Gy mientras que el grupo control mostró la menor firmeza (10.47 N) además presentando diferencia estadística significativa entre sí y al compararla con los restantes grupos. A continuación, se ubicaron las frutas irradiadas con dosis de 200 Gy y 300 Gy, las cuales entre si

Con respecto a la pérdida de peso (Tabla 1), se detecta que dentro de los primeros cinco días no existen diferencias estadísticas significativas entre las frutas irradiadas y no irradiadas; sin embargo, en el décimo día, se evidencia una pérdida de peso notable entre las frutas del tratamiento control (0 Gy) frente a los tratamientos experimentales. Las muestras sometidas a menor radiación gamma (100 Gy) mostraron mayor pérdida de peso en comparación con las frutas irradiadas con las dosis más altas (200 Gy y 300 Gy), cuyos valores no mostraron diferencia estadística significativa entre ambos tratamientos. Resultados similares han sido reportados previamente, se ha observado que dosis más altas de radiación gamma (600 Gy y 900 Gy) han incidido en obtener una menor pérdida de peso en frutillas almacenadas durante 6 y 9 días frente a dosis inferiores (300 Gy y 0 Gy) (30).

Dosis (Gy)	Firmeza (N)			Pérdida de peso (%)	
	Día 0	Día 5	Día 10	Día 5	Día 10
0	22.43 \pm 0.41 ^a	21.32 \pm 0.32 ^a	10.47 \pm 0.39 ^a	1.37 \pm 0.23 ^a	20.74 \pm 0.74 ^a
100	23.79 \pm 0.46 ^b	19.72 \pm 0.65 ^b	16.72 \pm 0.17 ^b	1.37 \pm 0.19 ^a	14.83 \pm 0.28 ^b
200	22.82 \pm 0.34 ^{ab}	17.54 \pm 0.42 ^c	15.32 \pm 0.2 ^c	1.60 \pm 0.23 ^a	5.88 \pm 0.25 ^c
300	23.79 \pm 0.34 ^b	15.73 \pm 0.22 ^d	14.9 \pm 0.19 ^c	1.77 \pm 0.25 ^a	6.43 \pm 0.97 ^c

Tabla 1. Influencia de la radiación gamma en la firmeza y pérdida de peso en guayabas

Promedios \pm Desviación Estándar. Columnas con la letra superíndice común indican que no existe diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

Los resultados del contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) y de humedad de todos los tratamientos se observan en la Tabla 2. Con relación al contenido de sólidos solubles totales, al inicio (día 0) las muestras mantienen valores bajos acorde al grado de maduración de las frutas. Al avanzar al día 5, se produce un incremento generalizado de los valores de $^{\circ}$ Brix en todos los tratamientos, sin embargo, vale la pena destacar que todos los ejemplares irradiados permanecieron por debajo del tratamiento control. Al final, en el día 10 se pudo observar que los valores de $^{\circ}$ Brix descendieron en todos los grupos. El grupo control presentó el menor contenido de sólidos solubles totales mostrando diferencia estadística significativa versus los grupos de frutas irradiadas a diferentes dosis. La probable explicación a esta particularidad es que la aplicación de radiación gamma podría estimular procesos bioquímicos que favorecen la acumulación de azúcares, estos resultados coinciden con los hallados anteriormente sobre irradiación en frutas tropicales (31). Previamente se ha observado este comportamiento (32) donde los valores de $^{\circ}$ Brix en los tratamientos irradiados no superan al tratamiento control, salvo en el caso de 300 Gy. Vale enfatizar que la radiación gamma puede retrasar ciertos aspectos de la maduración, pero también inducir respuestas de estrés que afectan el metabolismo de los carbohidratos. Al respecto, se han encontrado efectos diferenciados de la irradiación sobre la maduración de productos vegetales frescos, destacando que dosis más altas pueden provocar efectos complejos y no lineales con respecto al contenido de sólidos solubles (33).

Con respecto al contenido de humedad, se apreció un descenso progresivo de este indicador a lo largo del estudio. Inicialmente, los tratamientos presentaron altas concentraciones de humedad, con valores entre 84.43% y 86.61%. A partir del día 5, se observó una disminución progresiva, consistente con la pérdida de agua durante el almacenamiento (34). Las muestras irradiadas con 100 Gy experimentaron una reducción significativa, alcanzando un 79.93% de humedad al día 10. Esto podría atribuirse a la capacidad de las dosis intermedias de radiación gamma para acelerar la pérdida de agua, lo que resulta en

una mayor deshidratación en comparación con dosis más altas (200 Gy y 300 Gy). Estas últimas mostraron una mayor capacidad para preservar niveles de humedad en comparación tanto con el control (0 Gy) como con el tratamiento sometido a 100 Gy. Estos hallazgos son congruentes con lo reportado por (35), donde se sugiere que dosis más altas de radiación pueden alterar la estructura celular de los tejidos vegetales, promoviendo una mayor retención de agua y reduciendo la tasa de evaporación.

Los resultados indican que la radiación gamma muestra una disminución progresiva en el contenido de humedad durante el periodo de almacenamiento, siendo notable en aquellas frutas sometidas a dosis de 100 Gy, explicando el aumento en la deshidratación y la pérdida de peso. Por el contrario, las muestras tratadas con dosis superiores (200 Gy y 300 Gy) preservaron su contenido de humedad, contribuyendo a mantener la firmeza durante el almacenamiento y la capacidad de retención de agua de las frutas, impactando significativamente su calidad postcosecha (36).

Dosis (Gy)	$^{\circ}$ Brix ($^{\circ}$ Bx)			Humedad (%)		
	Día 0	Día 5	Día 10	Día 0	Día 5	Día 10
0	7.9 \pm 0.11 ^a	12.0 \pm 0.1 ^a	9.34 \pm 0.25 ^a	84.43 \pm 0.95 ^a	83.23 \pm 0.16 ^{ac}	83.03 \pm 0.11 ^a
100	8.96 \pm 0.06 ^b	11.07 \pm 0.15 ^b	10.26 \pm 0.07 ^b	83.01 \pm 0.21 ^b	81.32 \pm 0.65 ^b	79.93 \pm 0.42 ^b
200	8.23 \pm 0.12 ^c	10.67 \pm 0.48 ^b	10.38 \pm 0.11 ^b	86.56 \pm 0.4 ^c	84.69 \pm 0.69 ^c	84.37 \pm 0.4 ^c
300	8.31 \pm 0.15 ^c	12.52 \pm 0.05 ^a	10.02 \pm 0.16 ^b	86.61 \pm 0.14 ^c	85.07 \pm 0.81 ^c	84.45 \pm 0.31 ^c

Tabla 2. Impacto de la radiación gamma sobre el contenido de sólidos solubles totales ($^{\circ}$ Brix) y humedad en guayaba.

Promedios \pm Desviación Estándar. Columnas con la letra superíndice común indican que no existe diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey ($p < 0.05$).

B. Color mediante la escala Cielab

La Tabla 3 muestra los valores de color expresados mediante el espacio de color Cielab de los tratamientos experimentales y el control. La luminosidad (L^*) es uno de los tres componentes de la escala de color, cantidades más altas relaciona que la guayaba posee más brillo o un color más claro. Al día cero del experimento, los valores entre los tratamientos son bastante cercanos y no presentan diferencia estadística significativa

entre ellos, inicialmente las frutas presentan una tonalidad levemente oscura como consecuencia del estado más fresco y menos maduro como se puede observar en la Figura 1. Al transcurrir el día 5, los valores de luminosidad han aumentado en todos los tratamientos, mostrando diferencia estadística significativa para las muestras de 100 Gy al compararlas con los restantes tratamientos. En el día 10, el patrón de incremento de esta coordenada siguió manifestándose en la mayoría de los tratamientos. A partir del día 10 del experimento, el significativo incremento de L y la evidente modificación de la apariencia de la piel (Figura 1) podría indicar la transición del estado de madurez hacia la pérdida de la

calidad, debido a la alteración de los pigmentos o el estrés provocado por el almacenamiento. Estas variaciones observadas en el transcurso del tiempo representan la progresión natural de los cambios bioquímicos asociados a la etapa de maduración de frutas lo que se traduce en alteraciones de los contenidos de los principales grupos de pigmentos responsables del color de la piel en guayabas, como son clorofila, carotenoides y antocianinas (37). Estos resultados concuerdan con los reportados previamente (38), donde se han encontrado reducciones del contenido de clorofila y aumento de antocianinas durante las diferentes etapas fisiológicas de la guayaba.

Dosis (Gy)	L*			a*			b*		
	Día 0	Día 5	Día 10	Día 0	Día 5	Día 10	Día 0	Día 5	Día 10
0	54.18±0.20 ^a	56.85±0.61 ^a	58.93±0.49 ^a	5.42±0.45 ^a	6.52±0.37 ^a	4.6±0.3 ^a	25.14±0.6 ^a	33.35±0.31 ^a	34.04±0.69 ^a
100	54.45±0.36 ^a	59.10±0.57 ^b	57.77±0.52 ^{ab}	5.07±0.32 ^a	4.27±0.17 ^b	6.33±0.22 ^b	24.76±0.82 ^a	27.38±0.36 ^b	26.17±0.24 ^b
200	55.02±0.22 ^a	56.47±0.31 ^a	60.49±0.77 ^c	4.96±0.51 ^a	7.73±0.32 ^c	6.52±0.29 ^b	24.12±0.89 ^a	21.41±0.49 ^c	29.58±0.32 ^c
300	54.76±0.34 ^a	57.53±0.42 ^a	57.40±0.37 ^b	5.09±0.33 ^a	6.71±0.3 ^d	9.25±0.31 ^c	24.35±0.55 ^a	27.18±0.16 ^b	21.55±0.77 ^d

Tabla 3. Resultados del espacio de color CieLab en función del tiempo y las dosis de radiación.

Promedios ± Desviación estándar. Columnas con la letra superíndice común indican que no existe diferencia estadística significativa según la prueba de Tukey (p<0.05).

Las coordenadas cromáticas a* y b* cambian significativamente tras la exposición a la radiación gamma, a 100 Gy, la coordenada a* disminuyó al día 5, sugiriendo un cambio hacia tonos verdes, posiblemente por la descomposición de pigmentos. Al día 10, en 300 Gy, a* aumenta, indicando un cambio hacia tonos rojos debido a la descomposición avanzada de la pulpa. La coordenada b* muestra una tendencia hacia tonos azules a 200 Gy al día 5, pero aumenta hacia tonos amarillos a 300 Gy al día 10, posiblemente por la formación de la reacción de Maillard o la oxidación de azúcares simples. Estos cambios son consistentes con estudios que documentan cómo la radiación gamma afecta la degradación de pigmentos, la calidad visual y sensorial de las frutas (39).

Los resultados sugieren que la radiación gamma, en función de la dosis, presenta influencia para controlar la degradación de pigmentos asociados

a la sobremaduración y esto se traduce en prolongar la vida útil de las guayabas, como se puede observar en la Figura 1. En donde se presenta un cambio significativo en coloración de las muestras a partir del día 5 sin embargo, dosis más altas (200 Gy y 300 Gy) pueden comprometer la calidad visual y firmeza de la fruta, lo que podría afectar su aceptabilidad por parte del consumidor.

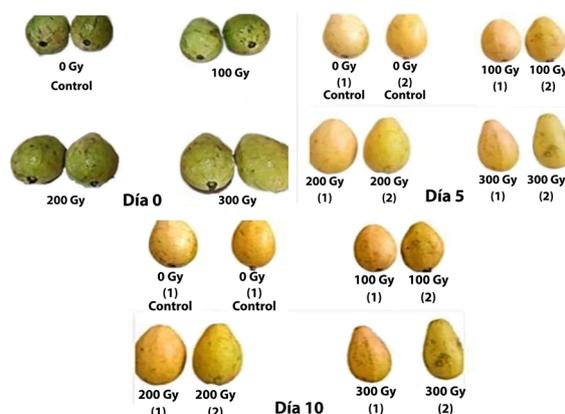


Figura 1. Cambio de color de los ejemplares de guayaba durante la duración del experimento.

IV. CONCLUSIONES

La radiación gamma mostró ser eficiente en la preservación de los indicadores postcosecha en la guayaba. En las propiedades de pérdida de peso, contenido de sólidos solubles totales y humedad las dosis de 200 Gy y 300 Gy mostraron la mejor efectividad, mientras que en la firmeza la dosis de 100 Gy alcanzó el mejor desempeño de conservación. Estos resultados sugieren la capacidad protectora de la radiación gamma frente

a enzimas degradadoras, preservando la calidad de las frutas en general. Con respecto al color, las dosis de 200 Gy y 300 Gy promueven un aumento en la luminosidad y mantener tonalidades cálidas, esto podría contribuir en mantener la apariencia visual atractiva de los productos frescos. Estos hallazgos refuerzan la utilidad de la radiación gamma como una valiosa tecnología para extender el tiempo de vida útil y minimizar las pérdidas postcosecha en frutas, alimentos de cuarta gama o mínimamente procesados.

V. REFERENCIAS

1. Fischer G, Melgarejo L. Ecophysiological aspects of guava (*Psidium guajava* L.). A review. *Rev Colomb Cienc Hortic* [Internet]. 2021 Feb 24 [Cited 2024 Dec 12];15(2):1-11. <https://doi.org/10.17584/rcch.2021v15i2.12355>
2. Kafle A, Mohapatra S, Reddy I, Chapagain M. A review on medicinal properties of *Psidium guajava*. *J Med Plants Stud* [Internet]. 2018 Jun 11 [Cited 2024 Sep 22];6(4):44-47.
3. Zhang C, Chen H, Kang S, Liu J, Zhou W. A comparative study of fruit storability and postharvest quality changes among different *Psidium guajava* L. cultivars. *J South Agric* [Internet]. 2018 Sep 12 [Cited 2024 Sep 18];49(7):1409-1414. <https://doi.org/10.3969/j.issn.2095-1191.2018.07.23>
4. Yadav A, Kumar N, Upadhyay A, Fawole OA, Mahawar MK, Jalgaonkar K, et al. Recent advances in novel packaging technologies for shelf-life extension of guava fruits for retaining health benefits for longer duration. *Plants*. 2022 Feb 18;11(4):547. <https://doi.org/10.3390/plants11040547>
5. Zhao B, Hu S, Wang D, Chen H, Huang M. Inhibitory effect of gamma irradiation on *Penicillium digitatum* and its application in the preservation of Ponkan fruit. *Sci Hortic* [Internet]. 2020 Jul 13 [Cited 2024 Sep 24];272:109598. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109598>
6. Sharma P, Sharma SR, Mittal TC. Effects and application of ionizing radiation on fruits and vegetables: A review. *J Agric Eng*. 2020 Jun 30;57(2):97-126. <https://doi.org/10.52151/jae2020572.1708>
7. Colletti AC, Denoya GI, Vaudagna SR, Polenta GA. Novel Applications of Gamma Irradiation on Fruit Processing. *Curr Food Sci Tech Rep* [Internet]. 2024 Jan 25 [Cited 2024 Oct 10];2(1):55-64. <https://doi.org/10.1007/s43555-024-00016-w>
8. Wani S, Hameed OB, Mir M, Hussain P, Majeed DJPT. Effect of gamma irradiation and modified atmosphere packaging on the quality and storage stability of sweet cherry (cv. Misri and Double) under ambient and refrigerated storage conditions. *J Postharvest Technol*. 2018 Jun 18;6(3):44-59.
9. Panou AA, Karabagias IK, Riganakos KA. Effect of gamma-irradiation on sensory characteristics, physicochemical parameters, and shelf life of strawberries stored under refrigeration. *Int J Fruit Sci* [Internet]. 2019 Apr 27 [Cited 2024 Nov 02];20(2):191-206. <https://doi.org/10.1080/15538362.2019.1608890>
10. Tan G, Ali A, Siddiqui Y. Current strategies, perspectives and challenges in management and control of postharvest diseases of papaya. *Sci Hortic*. 2022 Apr 22;301:111139. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2022.111139>
11. Osuna ET, Ibarra ZM, Muy RM, Valdez TJ, Villarreal RM, Hernández VS. Calidad postcosecha de frutos de pitahaya (*Hylocereus undatus* Haw.) cosechados en tres estados de madurez. *Rev Fitotec Mex*. 2011 Mar 21;34(1):63-72.
12. Chen N, Wei W, Yang Y, Chen L, Shan W, Chen J, et al. Postharvest physiology and handling of guava

- fruit. *Foods* [Internet]. 2024 Mar 24 [Cited 2024 Oct 10];13(5):805. <https://doi.org/10.3390/foods13050805>
13. Omayio D, Abong' G, Okoth M, Gachuri C, Mwang'ombe, A. Trends and constraints in guava (*Psidium guajava* L.) production, utilization, processing and preservation in Kenya. *Int J Fruit Sci* [Internet]. 2020 Jul 19 [Cited 2024 Sep 19];20(3):S1373-S1384. <https://doi.org/10.1080/15538362.2020.1791304>
 14. Majeed A, Muhammad Z, Majid A, Shah AH, Hussain M. Impact of low doses of gamma irradiation on shelf life and chemical quality of strawberry (*Fragaria x ananassa*) CV.'Corona'. *JAPS: J Anim Plant Sci*. 2014;24(5):1531-1536.
 15. Mendes KF, Mendes KF, Guedes SF, Silva LCAS, Arthur V. Evaluation of physicochemical characteristics in cherry tomatoes irradiated with ⁶⁰Co gamma-rays on post-harvest conservation. *Radiat Phys Chem* [Internet]. 2020 Aug 12 [Cited 2024 Dec 13];177:109139. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2020.109139>
 16. Fernández VD, Bautista BS, Fernández VD, Ocampo RA, García PA, Falcón RA. Películas y recubrimientos comestibles: una alternativa favorable en la conservación poscosecha de frutas y hortalizas. *Rev Cienc Téc Agropecu*. 2015 Jul 15;24(3):52-57.
 17. Colletti AC, Denoya GI, Budde CO, Gabilondo J, Pachado JA, Vaudagna SR, et al. Induction of stress defense response and quality retention in minimally processed peaches through the application of gamma irradiation treatments. *Postharvest Biol Technol* [Internet]. 2022 Aug 29 [Cited 2024 Oct 12];194:112084. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2022.112084>
 18. Pereira C, Martín A, López-Corrales M, Córdoba MDG, Galván AI, Serradilla, MJ. Evaluation of the physicochemical and sensory characteristics of different fig cultivars for the fresh fruit market. *Foods*. 2020 May 12;9(5):619. <https://doi.org/10.3390/foods9050619>
 19. Silva-Sena GG, De Santana EN, Dos Santos RG, Oiano-Neto J, De Oliveira CA. Effect of Gamma Irradiation on Carotenoids and Vitamin C Contents of Papaya Fruit (*Carica papaya* L.) Cv. Golden. *J Food Process Technol*. 2014 Jun 20;5(337):1-5. <http://dx.doi.org/10.4172/2157-7110.1000337>
 20. Solórzano AC, Martín A, Salazar SM, Sandoval JS, Kirschbaum DS. Correlación entre la medida del color del fruto y la concentración de sólidos solubles totales en frutilla o fresa (*Fragaria ananassa* Duch.). *Rev Agron Noroeste Arg*. 2015 Jun 18;35(1):55-60.
 21. Ashtari M, Khademi O, Soufbaf M, Afsharmanesh H, Sarcheshmeh MA. Effect of gamma irradiation on antioxidants, microbiological properties and shelf life of pomegranate arils cv.'Malas Saveh'. *Sci Hortic* [Internet]. 2019 Jan 26 [Cited 2024 Nov 10];244:365-371. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.09.067>
 22. de Jesus Filho M, Scolforo CZ, Saraiva SH, Pinheiro CJG, Silva PI, Della Lucia, SM. Physicochemical, microbiological and sensory acceptance alterations of strawberries caused by gamma radiation and storage time. *Sci Hortic* [Internet]. 2018 Aug 19 [Cited 2024 Oct 22];238:187-194. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2018.04.053>
 23. Gelvez TCJ. Manejo post-cosecha y comercialización de guayaba (*Psidium guajava* L.). Programa Nacional del SENA de capacitación en manejo poscosecha y comercialización de frutas y hortalizas, Convenio SENA - Reino Unido, Centro Agroindustrial del SENA [Internet]. 1998 [Cited 2024 Aug 10]; 2-9. Available from: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/12914>
 24. Akhtar A, Abbasi NA, Hussain AZ. Effect of calcium chloride treatments on quality characteristics of loquat fruit during storage. *Pak J Bot*. 2010 Mar 15;42(1):181-188.
 25. Association of Official Agriculture Chemists [AOAC]. Official Methods of Analysis. 19th ed. Vol. 1. Gaithersburg, MD, USA.; 2012.
 26. Bisht B, Bhatnagar P, Gururani P, Kumar V, Tomar S, Sinhmar R, et al. Food irradiation: Effect of

- ionizing and non-ionizing radiations on preservation of fruits and vegetables—a review. *Trends Food Sci Technol* [Internet]. 2021 Jun 8 [Cited 2024 Oct 13];114:372-385. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.06.002>
27. Salazar-Irribé A, Gamboa de Buen A. Importancia de las pectinas en la dinámica de la pared celular durante el desarrollo vegetal. *Rev Educ Bioquímica*. 2013 Jun 4;32(2):67-75.
 28. Chen Y, Zhang S, Lin H, Lu W, Wang H, Chen Y, et al. The role of cell wall polysaccharides disassembly in *Lasiodiplodia theobromae*-induced disease occurrence and softening of fresh longan fruit. *Food Chem* [Internet]. 2021 Jul 30 [Cited 2024 Sep 30];35:129294. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129294>
 29. Melo AA, Olabode PN, Michael BC, Prakash A. Causes of irradiation-induced softening in peaches. *Rad Phys Chem* [Internet]. 2018 Aug 15 [Cited 2024 Oct 11];152:107-113. <https://doi.org/10.1016/j.radphyschem.2018.08.012>
 30. Maraei RW, Elsayy KM. Chemical quality and nutrient composition of strawberry fruits treated by γ -irradiation. *J Radiat Res Appl Sci*. 2017 Jan 2;10(1):80-87. <https://doi.org/10.1016/j.jrras.2016.12.004>
 31. Cancino-Vázquez R, Salvador-Figueroa M, Hernández-Ortiz E, Grajales-Conesa J, Vázquez-Ovando A. Gamma irradiation of mango 'Ataulfo' at low dose: effect on texture, taste, and odor fruit. *Food Sci Technol Res*. 2020 Jan 26;1(26):59-64. <https://doi.org/10.3136/fstr.26.59>
 32. Meneses-Espinosa E, Gálvez-López D, Rosas-Quijano R, Adriano-Anaya L, Vázquez-Ovando A. Advantages and Disadvantages of Using Emerging Technologies to Increase Postharvest Life of Fruits and Vegetables. *Food Rev Int*. 2023 May 10;40(5):1348–1373. <https://doi.org/10.1080/87559129.2023.2212061>
 33. Haider ST, Azam M, Naz S, Hussain S, Ali S, Liaquat M, et al. Postharvest application of gamma irradiation affects fruit quality and antioxidant enzymes activities of 'kinnow' mandarin fruits during cold storage. *Food Sci Technol* [Internet]. 2023 Jan 20 [Cited 2024 Nov 15];43:e113122. <https://doi.org/10.1590/fst.113122>
 34. Yousaf AA, Sarfraz K, Ahmed A, Hassan I, Ali H, Mehmood T. Storage Stability Assessment of Indigenous Guava Fruits (*Psidium guajava* L.) cv. "Gola" in Response to γ -Irradiation. *J Food Process Preserv* [Internet]. 2023 Nov 8 [Cited 2024 Nov 18];4546469:11. <https://doi.org/10.1155/2023/4546469>
 35. Munir N, Tahir M, Naz S. Effect of Gamma Radiation to cope with post-harvest losses and nutritional components in guava (*Psidium guajava* L.). *Curr Nutr Food Sci*. 2020 Aug 1;16(6):934-944. <https://doi.org/10.2174/1573401316666200203120430>
 36. Iturralde-García RD, Cinco-Moroyoqui FJ, Martínez-Cruz O, Ruiz-Cruz S, Wong-Corral FJ, Borboa-Flores J, et al. Emerging Technologies for Prolonging Fresh-Cut Fruits' Quality and Safety during Storage. *Hortic* [Internet]. 2022 Aug 14 [Cited 2024 Oct 27];8(8):731. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8080731>
 37. Rojas-Garbanzo C, Gleichenhagen M, Heller A, Esquivel P, Schulze-Kaysers N, Schieber A. Carotenoid profile, antioxidant capacity, and chromoplasts of pink guava (*Psidium guajava* L. Cv. 'Criolla') during fruit ripening. *J Agric Food Chem* [Internet]. 2017 Mar 16 [Cited 2024 Nov 22];65(18):3737-3747. <https://doi.org/10.1021/acs.jafc.6b04560>
 38. Van Van Le Van T, Khanh NN, Huyen LT, Hien VTT, Lam LT. Changes in physiological and biochemical parameters during the growth and development of guava fruit (*Psidium guajava*) grown in Vietnam. *Rev Fac Cienc Agrar Univ Nac Cuyo* [Internet]. 2021 Dec 1 [Cited 2024 Nov 11];53(2):82-90. <https://doi.org/10.48162/rev.39.042>
 39. Shahbaz HM, Ahn JJ, Akram K, Kim HY, Park EJ, Kwon JH. Chemical and sensory quality of fresh pomegranate fruits exposed to gamma radiation as quarantine treatment. *Food Chem*. 2014 Feb 15;145:312-318. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.08.052>