

ARTÍCULO ORIGINAL

## Irradiación gamma cobalto-60 como tratamiento poscosecha para el control de antracnosis y de la calidad del mango ‘Tommy Atkins’

### Cobalt-60 gamma irradiation as a post-harvest treatment for the control of anthracnose and the quality of the ‘Tommy Atkins’ mango

<sup>1</sup>Tania Mulkay Vitón\*, <sup>2</sup>Hanny Mojena Sarmiento, <sup>1</sup>Adrián Paumier Jiménez,  
<sup>2</sup>Damaris Lourdes Moreno Álvarez, <sup>1</sup>Enrique Francisco Prieto Miranda<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical, Ave. 7ma, # 3005 e/ 30 y 32, Miramar, Playa, La Habana, Cuba, CP 11300.

<sup>2</sup>Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear (CEADEN), Calle 30, Esquina 5ta Avenida, # 502, Miramar, Playa, La Habana, Cuba, CP 11300.

\*Autor para correspondencia: Tania Mulkay Vitón, e-mail: [mulkayt@gmail.com](mailto:mulkayt@gmail.com)

#### Resumen

El manejo de la antracnosis causada por *Colletotrichum* spp. es crucial para la poscosecha del mango, dado el alto impacto de esta enfermedad en la calidad y el valor comercial de la fruta. Este estudio tuvo como objetivo evaluar el efecto de la irradiación gamma con Cobalto-60 (<sup>60</sup>Co) en el control de la antracnosis y su impacto en la calidad poscosecha del mango ‘Tommy Atkins’. Se aplicaron dosis de 0,25 kGy, 0,5 kGy y 1 kGy a frutos en madurez fisiológica, los cuales se almacenaron durante 14 días a 13 °C y 85-90% de humedad relativa. Se evaluó la incidencia y severidad de la enfermedad, así como indicadores de calidad como pérdida de masa, firmeza, sólidos solubles totales (SST) y acidez titulable. Los resultados mostraron que las dosis de 0,5 kGy y 1 kGy redujeron significativamente la incidencia y severidad de la antracnosis, sin que el área afectada superara el 10%,

#### Abstract

The management of anthracnose caused by *Colletotrichum* spp. is crucial for postharvest mango production, given its high impact on fruit quality and commercial value. This study aimed to evaluate the effect of gamma irradiation with Cobalt-60 (<sup>60</sup>Co) on anthracnose control and its impact on the postharvest quality of ‘Tommy Atkins’ mango. Doses of 0.25 kGy, 0.5 kGy, and 1 kGy were applied to physiologically ripe fruits, which were stored for 14 days at 13 °C and 85-90% relative humidity. Disease incidence and severity were assessed, as well as quality indicators such as mass loss, firmness, total soluble solids (TSS), and titratable acidity. The results showed that doses of 0.5 kGy and 1 kGy significantly reduced the incidence and severity of anthracnose, with the affected area remaining below 10%, while maintaining commercial quality. The 1 kGy dose induced greater browning

Recibido: 05 de mayo de 2025

Aceptado: 19 de junio de 2025

**Conflicto de intereses:** Los autores de este trabajo declaran no presentar conflicto de intereses.

**Contribución de los autores:** **Gestión de proyecto:** Tania Mulkay Vitón, Damaris Lourdes Moreno Álvarez. **Análisis formal:** Tania Mulkay Vitón, Hanny Mojena Sarmiento, Adrián Paumier Jiménez, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Conceptualización:** Tania Mulkay Vitón, Hanny Mojena Sarmiento, Adrián Paumier Jiménez, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Curación de datos:** Tania Mulkay Vitón, Hanny Mojena Sarmiento, Adrián Paumier Jiménez, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Borrador original:** Tania Mulkay Vitón. **Redacción - revisión y edición:** Tania Mulkay Vitón y Enrique Francisco Prieto Miranda. **Investigación:** Tania Mulkay Vitón, Hanny Mojena Sarmiento, Adrián Paumier Jiménez, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Metodología:** Tania Mulkay Vitón, Hanny Mojena Sarmiento, Adrián Paumier Jiménez, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Obtención de financiación:** Tania Mulkay Vitón, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Recursos:** Tania Mulkay Vitón, Adrián Paumier Jiménez, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Software:** Tania Mulkay Vitón, Hanny Mojena Sarmiento, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Supervisión:** Tania Mulkay Vitón, Hanny Mojena Sarmiento, Adrián Paumier Jiménez, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Validación:** Tania Mulkay Vitón, Hanny Mojena Sarmiento, Adrián Paumier Jiménez, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda. **Visualización:** Tania Mulkay Vitón, Damaris Lourdes Moreno Álvarez, Enrique Francisco Prieto Miranda.



Este artículo se encuentra bajo los términos de la licencia Creative Commons Attribution-NonCommercial (CC BY-NC 4.0). <https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>



manteniendo la calidad comercial. La dosis de 1 kGy indujo un mayor pardeamiento y oscurecimiento de las lenticelas en el exocarpo. Los indicadores de maduración (firmeza, SST y acidez) no se vieron afectados negativamente por la irradiación, mostrando una evolución similar al control. Se concluyó que la irradiación gamma con  $^{60}\text{Co}$  a 0,5 kGy fue la más efectiva, ya que controló la enfermedad eficazmente, preservó la calidad interna y externa del fruto, y demostró potencial para extender su vida útil, lo que facilita su comercialización en mercados de exportación bajo estándares de calidad e inocuidad.

**Palabras clave:** Irradiación, poscosecha, calidad comercial, pardeamiento, vida útil.

and darkening of the lenticels in the exocarpo. Ripening indicators (firmness, TSS, and acidity) were not negatively affected by irradiation, showing similar performance to the control. It was concluded that gamma irradiation with  $^{60}\text{Co}$  at 0.5 kGy was the most effective, as it effectively controlled the disease, preserved the internal and external quality of the fruit, and demonstrated the potential to extend its shelf life, facilitating its commercialization in export markets under food quality and safety standards.

**Keywords:** Irradiation, postharvest, commercial quality, browning, shelf life.

## Introducción

Los frutos del mango (*Mangifera indica* L.) presentan una alta susceptibilidad a la antracnosis, una enfermedad causada por el hongo *Colletotrichum* spp., una vez que alcanzan su madurez comercial. La elevada incidencia y severidad de esta enfermedad se manifiesta a través de lesiones de color marrón oscuro a negro en el exocarpo, lo cual afecta severamente la calidad del fruto. Estas lesiones invalidan la comercialización del mango en el mercado fresco y provocan considerables pérdidas económicas durante la poscosecha (Sivakumar et al., 2021).

Adicionalmente, el mango es una fruta altamente perecedera cuyo proceso de maduración continúa después de la cosecha. Esta etapa poscosecha se caracteriza por una rápida actividad metabólica que genera un incremento en la tasa de respiración, una mayor producción de etileno y cambios significativos en los indicadores de maduración (Toro & Caro, 2021). Estas características fisiológicas representan un desafío considerable cuando se planea el envío de la fruta a mercados distantes, con especial énfasis en los mercados de exportación.

Frente a estas problemáticas, se emplean diversos métodos para conservar la calidad y extender la vida útil del mango. La aplicación de rayos gamma generados por cobalto-60 ( $^{60}\text{Co}$ ) constituye una tecnología de irradiación que utiliza radiaciones electromagnéticas de longitud de onda muy corta. Esta técnica no eleva la temperatura del producto, posee una alta capacidad de penetración y puede aplicarse sobre el producto en su envase final.

Las perspectivas para la adopción de esta tecnología por parte de los productores han aumentado, ya que se considera una práctica efectiva para exportar frutas que cumplan con los estándares de calidad e inocuidad (Sultana et al., 2021). El uso de la irradiación con rayos gamma cuenta con la aprobación de las regulaciones de numerosos países a nivel mundial. Esta aceptación se basa en la evidencia de que las consecuencias negativas sobre las propiedades fisicoquímicas y la calidad nutricional de los alimentos son mínimas (Indiarto & Hasan, 2020).

Se ha comprobado la efectividad de la irradiación gamma para el control fitosanitario y la calidad poscosecha de diferentes frutas. Diversos factores pueden influir en el efecto positivo

del tratamiento. Entre estos factores se encuentran la presencia de moléculas de oxígeno, la variedad o cultivar, el rango de dosis aplicado y el estado de maduración de la fruta. El momento de la cosecha y las condiciones de almacenamiento, especialmente la temperatura, también determinan la eficacia del proceso (Ahmad et al., 2020).

En Cuba, el mango constituye el frutal de mayor importancia por su área cultivada y su volumen de producción. El cultivar 'Tommy Atkins' se encuentra entre los más producidos y comercializados, tanto para el mercado nacional como para la exportación en forma de fruta fresca (IIFT, 2023). No obstante, las condiciones climáticas caracterizadas por altas temperaturas y humedad relativa favorecen una alta incidencia y severidad de antracnosis en este cultivar, a pesar de que está clasificado como altamente resistente a la enfermedad.

La tecnología de irradiación se utiliza en Cuba con fines investigativos desde el año 1958. En la actualidad, el país cuenta con la norma cubana NC 680 y con la infraestructura necesaria para emplear esta tecnología a nivel comercial (Prieto et al., 2019). Sin embargo, existen muy pocos resultados sobre su aplicación para el control de enfermedades y la conservación de la calidad e inocuidad del mango. Esta carencia de información limita la extensión de la vida útil del fruto, que es un requisito esencial para su comercialización en mercados distantes. El objetivo de esta investigación fue evaluar el efecto de la irradiación gamma con  $^{60}\text{Co}$  para el control de la antracnosis y su impacto en la calidad poscosecha del mango 'Tommy Atkins'.

## Materiales y Métodos

Para el estudio se recolectaron mangos 'Tommy Atkins' en su grado de madurez fisiológica. Este estado se determinó por los cambios en la coloración del fruto, el cual pasó de un verde brillante a un verde mate, mientras que el mesocarpo inició su cambio a color amarillo en la zona adyacente a la semilla. El criterio de selección se basó en lo establecido por el instructivo técnico del cultivo (IIFT, 2023). Los frutos procedieron de una plantación de 10 años ubicada en la empresa Agroindustrial Victoria de Girón,

en la provincia de Matanzas, donde no se aplicaron productos fungicidas para el control de la antracnosis.

Las frutas se transportaron al Centro de Beneficio de la Unidad Empresarial de Base de la misma empresa. En este lugar se realizó un proceso que incluyó la selección y el lavado de los mangos con agua. Posteriormente, se procedió al secado de los frutos y a su empacado en cajas de cartón corrugado.

Los mangos se trasladaron luego al Centro de Aplicaciones Tecnológicas y Desarrollo Nuclear. En esta instalación se aplicaron las dosis de irradiación de 0,25 kGy, 0,5 kGy y 1 kGy, además de un control que no recibió irradiación. Para el tratamiento se utilizó un irradiador tipo ISOGamma LLC con fuentes de Cobalto-60 ( $^{60}\text{Co}$ ).

El control del proceso de irradiación se realizó con un sistema dosimétrico termoluminiscente (TLD). Este sistema empleó dosímetros de fluoruro de litio (LiF) dopados con magnesio (Mg) y titanio (Ti). Los dosímetros se calibraron previamente con el sistema dosimétrico de referencia de alanina.

Las frutas se conservaron a  $13\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y con una humedad relativa (HR) entre 85 % y 90 % durante un período de 14 días. Este almacenamiento se realizó en la cámara refrigerada del laboratorio de Fisiología Poscosecha del Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical. Al finalizar el tiempo de almacenamiento, se procedió con las siguientes determinaciones:

- La incidencia de la enfermedad de antracnosis se expresó como el porcentaje de frutas afectadas sobre el total de frutas evaluadas. Para esta evaluación se utilizaron 11 frutas con tres réplicas. La identificación de los síntomas se realizó con base en la metodología descrita por [Mulkay \(2023\)](#).
- La severidad de los daños por antracnosis se estableció mediante el porcentaje de tejido lesionado en el exocarpio de las frutas afectadas. Se utilizó una escala arbitraria de cinco grados, donde el Grado 0 correspondió a frutas sin daños, el Grado 1 a frutas con 1 % - 10 % del exocarpio afectado, el Grado 2 a frutas con 11 % - 25 % afectado, el Grado 3 a frutas con 26 % - 35 % afectado y el Grado 4 a frutas con 36 % - 50 % afectado. El cálculo de la severidad se basó en el índice de infección que describió [McKinney \(1923\)](#).
- La identificación de las lesiones en el exocarpio de las frutas se llevó a cabo mediante observaciones directas y con la ayuda de un microscopio estereoscópico. Esta identificación se realizó de acuerdo con las descripciones proporcionadas por [Mercado \(2009\)](#). La incidencia se evaluó como el porcentaje de frutas afectadas a partir del total de frutas evaluadas, que fue de 11 frutas con tres réplicas.

Al inicio, a los cinco, nueve y 14 días de conservación, se tomaron muestras individuales de mango para determinar los siguientes indicadores de madurez. Cada medición se realizó de forma específica para cada fruta seleccionada. Los procedimientos detallados para cada análisis se describen a continuación:

- **Pérdidas de la masa fresca.** Se pesaron diez frutas de manera individual con una balanza técnica, y los resultados se expresaron en gramos. La pérdida de masa se calculó como el porcentaje de disminución con respecto a la masa inicial de cada fruta.
- **La firmeza del mesocarpio.** Para esta medición, se seleccionaron al azar cinco frutas. Con un texturómetro manual, se midió la firmeza en dos puntos opuestos de la zona ecuatorial de cada fruta, utilizando un cilindro metálico de 6 mm de diámetro. El resultado final para cada fruta correspondió al promedio de estas dos mediciones, y se expresó en kilogramos-fuerza (kgf).
- **Los sólidos solubles totales (SST).** El análisis de SST requirió la selección aleatoria de cinco frutas. Del mesocarpio de estas frutas se obtuvo un jugo por trituración, y se colocó una gota del mismo sobre un refractómetro. El equipo se calibró con corrección por temperatura para reportar los datos a 20  $^{\circ}\text{C}$ , y los resultados se expresaron en  $^{\circ}\text{Brix}$ .
- **Acidez titulable.** Para determinar la acidez, se tomaron alícuotas de 5 ml del extracto obtenido del mesocarpio. Cada alícuota se valoró con una solución de hidróxido de sodio a una concentración de 0,1N, utilizando fenolftaleína como indicador del punto final de la titulación. Los resultados de este análisis se expresaron como el porcentaje de ácido predominante en la fruta.

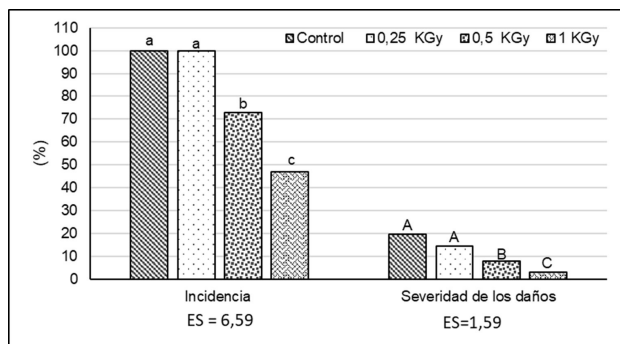
Se empleó un diseño completamente aleatorizado. El procesamiento estadístico de los resultados se ejecutó mediante un Anova de Clasificación Simple para los datos de incidencia y severidad de la antracnosis y de las lesiones en el exocarpio. Para los indicadores de madurez se utilizó un Anova de Clasificación Doble. Todos los datos expresados en porcentaje se transformaron con la función matemática  $\arcsen \sqrt{\%}$ .

Previamente, se comprobaron la normalidad y la homogeneidad de la varianza de los datos. La normalidad se verificó mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov. La homogeneidad de la varianza se evaluó con las pruebas de Cochran C, Hartley y Bartlett.

Las medias se compararon mediante la Prueba de Tukey con un nivel de significancia de  $p \leq 0,05$ . Para todos los análisis se utilizó el programa estadístico STATISTICA, Versión 6.0.

## Resultados y Discusión

Los mangos irradiados a 1 kGy presentaron una reducción significativa de la incidencia por antracnosis, con un valor de 47,05 % (Figura 1). En las frutas tratadas con 0,5 kGy, la afectación por la enfermedad fue menor y mostró diferencias significativas respecto a la dosis de 0,25 kGy y el control. El índice de severidad de las lesiones en el exocarpio tuvo un comportamiento similar.



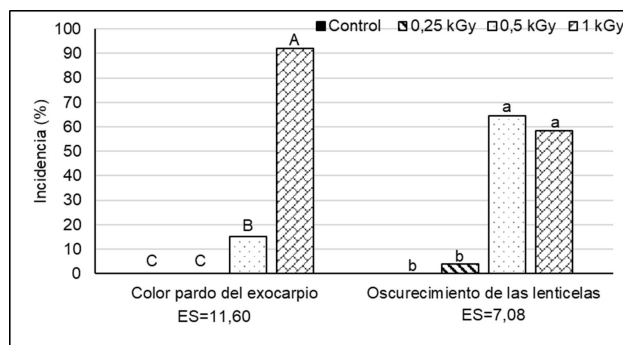
**Figura 1.** Incidencia y severidad de antracnosis en mangos 'Tommy Atkins' con irradiación gamma cobalto - 60 a tres dosis y conservados a 13 °C ± 1°C durante 14 días. Las columnas representan la media de incidencia y severidad de los daños por la enfermedad (n=33). Letras distintas indican medias con diferencias significativas por la Prueba de Tukey (p ≤ 0,05). ES: ± Error estándar.

Los valores de severidad más significativos se observaron en las frutas irradiadas a 0,25 kGy y en el control. Es importante destacar que, a 0,5 kGy y 1 kGy, se encontraron diferencias estadísticas, pero la severidad de las lesiones no superó el 10 % del exocarpio afectado. Este resultado indica la calidad comercial de las frutas, de acuerdo con las categorías que establece la norma cubana NC 224. Rahman (2020) obtuvo resultados similares para frutas de mango del cultivar 'Amrapali' irradiadas a 0,70 kGy.

La irradiación puede inducir los mecanismos de defensa en las frutas. También influye en la evolución de los compuestos fenólicos durante la etapa de maduración, como respuesta a la infección por determinados hongos (Nguyen et al., 2021). Estudios en mangos 'Camerom' e 'Sindhi' irradiados a 0,8 kGy y 1 kGy, respectivamente, mostraron una reducción en la incidencia de daños y en la carga microbiológica causada por patógenos fungosos (Iqtedar et al., 2016; Maxwell et al., 2017).

Para el cultivar estudiado, este trabajo notifica por primera vez la efectividad de las dosis de irradiación para el control de la antracnosis. El hallazgo es relevante para las condiciones específicas de producción y comercialización del mango en la empresa Agroindustrial Victoria de Girón.

En la figura 2 se presenta la incidencia de lesiones en el exocarpio. A la dosis de 1 kGy se observó un porcentaje significativo de frutas con color pardo,



**Figura 2.** Incidencia de alteraciones fisiológicas en el exocarpio de frutas de mango 'Tommy Atkins' con irradiación gamma cobalto - 60 a tres dosis y conservadas a 13 °C ± 1°C durante 14 días. Las columnas representan la media de incidencia de alteraciones fisiológicas (n=33). Letras distintas indican medias con diferencias significativas por la Prueba de Tukey (p ≤ 0,05). ES: ± Error estándar.

caracterizado por la presencia de zonas pigmentadas que variaban del verde aceituna al pardo (Mercado, 2009). Abdullah et al. (2017) obtuvieron resultados afines en mangos 'Chaunsa' irradiados a 1,5 kGy y almacenados durante 21 días en refrigeración. Dichos autores señalaron que la variación cromática puede asociarse a la producción de compuestos fenólicos y al incremento de la actividad de la enzima fenilalanina amonio liasa (PAL), como consecuencia de dosis de irradiación superiores a 1 kGy.

Mahajan et al. (2017) informaron que los síntomas de pardeamiento son inducidos por la acumulación de especies de oxígeno reactivo (EOR) durante las condiciones de estrés que afectan a las frutas. Las frutas irradiadas a 0,25 kGy y el grupo control no manifestaron cambios de color en el exocarpio. Por su parte, el porcentaje de incidencia a 0,5 kGy resultó significativamente bajo.

La incidencia de lesiones por oscurecimiento de las lenticelas mostró valores elevados en las frutas irradiadas a 0,5 kGy y 1 kGy. A la dosis de 0,25 kGy, estas estructuras presentaron un menor grado de afectación (Figura 2). En el cultivar 'Tommy Atkins', el tamaño y la prominencia de las lenticelas se acentúan cuando las frutas maduran, y adoptan una coloración amarilla y roja (Mulkay, 2023).

El síntoma inducido por las dosis de 0,5 kGy y 1 kGy se caracterizó por una decoloración de color pardo, sin presencia de necrosis. Estas lesiones se observaron en áreas específicas del exocarpio, de forma esparcida, y no excedieron el 40 % de la superficie de las frutas. Estos resultados demuestran la baja severidad de la lesión y la calidad comercial de las frutas, de acuerdo con la clasificación de categorías de calidad establecida por la norma cubana NC 224.

Marques et al. (2022) demostraron que en frutas maduras del cultivar 'B74' irradiadas a 300 Gy y 800 Gy, las lenticelas presentan menor afectación y la mayoría de los ejemplares resultan comercializables. Este comportamiento contrasta con el observado en frutas en estado de madurez fisiológica.

La **tabla 1** presenta los indicadores de calidad correspondientes a las pérdidas de masa fresca y la firmeza del mesocarpio de las frutas. Las pérdidas de masa fresca mostraron un incremento progresivo con el avance del tiempo de almacenamiento en todos los tratamientos evaluados. Los valores más elevados se obtuvieron en las frutas que recibieron el tratamiento de irradiación.

Estos resultados concuerdan con los hallazgos de [Mercado \(2009\)](#) en frutas 'Tommy Atkins' y de [Malik et al. \(2013\)](#) en mangos 'Sufaid Chaunsa'. No obstante, otros autores como [Babu et al. \(2019\)](#) y [Yusri & Zulfadli \(2019\)](#) observaron una reducción de las pérdidas de masa fresca en mangos 'Chaunsa' y 'Chokanan' irradiados con diferentes dosis. Dichas discrepancias pueden atribuirse a las diferencias en la composición, morfología y estructura de las ceras epicuticulares presentes en los distintos tipos de fruta.

Las propiedades de las ceras epicuticulares experimentan variaciones durante el almacenamiento, lo que conlleva un aumento de la permeabilidad cuticular ([Pérez et al., 2006](#)). Por otro lado, [Yadav et al. \(2017\)](#) analizaron el efecto positivo de la combinación de irradiación con temperaturas de conservación bajas, entre 9 °C y 12 °C, para disminuir esta variable en mango 'Alphonso'. Este tratamiento combinado puede generar un menor déficit de vapor de agua en comparación con las condiciones ambientales y, a la vez, ralentizar las actividades metabólicas de respiración y transpiración de los frutos.

En el presente estudio, las pérdidas de masa fresca no superaron el 5 % tras 14 días de almacenamiento. Por esta razón, la calidad general de las frutas no se vio afectada de manera negativa. Tampoco se observó un impacto perjudicial en su apariencia, como marchitez o arrugas, ni en su textura, manifestada como un ablandamiento excesivo.

La firmeza del mesocarpio presentó una disminución progresiva a lo largo del periodo de almacenamiento. Esta evolución del indicador fue característica del proceso normal de maduración de la fruta. Los frutos irradiados no mostraron diferencias estadísticamente significativas en comparación con el grupo de control. Estos resultados son consistentes con los hallazgos de [Babu et al. \(2019\)](#) para mangos 'Chaunsa'

irradiados a 350 Gy, los cuales se conservaron a 25 °C ± 2 °C durante cuatro semanas. Asimismo, concuerdan con los datos informados por [Din et al. \(2021\)](#) para frutas del cultivar 'Sensación' que fueron irradiadas a dosis de 150 Gy, 225 Gy y 300 Gy, y luego almacenadas a 10 °C por un periodo de 28 días.

El tratamiento de irradiación no ejerció una influencia significativa sobre los sólidos solubles totales (SST) ni sobre la acidez (**Tabla 2**). Los SST mostraron un incremento en todos los frutos, tanto irradiados como control, sin que se observaran diferencias estadísticas entre ellos durante el almacenamiento. Este comportamiento representa una evolución normal asociada al avance del proceso de maduración.

Por otra parte, la acidez titulable experimentó una reducción a lo largo del periodo de almacenaje. Esta disminución se atribuye al incremento concomitante en la concentración de los sólidos solubles totales. [Cancino-Vázquez et al. \(2020\)](#) informaron resultados similares para ambas variables en mangos 'Ataulfo' que fueron irradiados con dosis de 0,15 kGy, 0,30 kGy y 0,45 kGy.

De manera general, los resultados sobre la incidencia y la severidad de la antracnosis, junto con los indicadores de calidad externa e interna del mango 'Tommy Atkins', demuestran la efectividad de la irradiación gamma con <sup>60</sup>Co a una dosis de 0,5 kGy. Este tratamiento permitió mantener la calidad y alargar la vida de anaquel de la fruta durante un periodo de 14 días. Dicho almacenamiento se realizó bajo condiciones controladas de 13 °C ± 1 °C y una humedad relativa entre 85 % y 90 %, las cuales simulan el entorno de la cadena de comercialización de la empresa Agroindustrial Victoria de Girón.

Además, este tratamiento tiene el potencial de ser reconocido por el órgano regulador del Centro Nacional de Sanidad Vegetal como un método fitosanitario válido para el control poscosecha de la enfermedad. Su implementación persigue el objetivo de incrementar la comercialización de frutas que estén libres de residuos químicos. Esta característica es particularmente ventajosa para acceder a mercados distantes que exigen altos estándares de calidad e inocuidad.

**Tabla 1.** Pérdidas de masa fresca y la firmeza del mesocarpio en frutas de mango 'Tommy Atkins' irradiadas a tres dosis y conservadas a temperatura de 13 °C ± 1°C durante 14 días.

Tratamientos	Pérdidas de masa fresca (%)				Firmeza del mesocarpio (kgf)		
	Días en conservación						
	5	9	14	0	5	9	14
Control	1,79 <sup>h</sup>	3,20 <sup>gh</sup>	3,44 <sup>bc</sup>	12,60 <sup>a</sup>	7,98 <sup>bcd</sup>	7,84 <sup>bcd</sup>	2,90 <sup>e</sup>
0,25 kGy	2,09 <sup>hi</sup>	2,93 <sup>ef</sup>	3,96 <sup>ab</sup>	12,64 <sup>a</sup>	10,96 <sup>ab</sup>	6,60 <sup>cd</sup>	2,80 <sup>e</sup>
0,5 kGy	2,26 <sup>hi</sup>	3,10 <sup>ce</sup>	4,14 <sup>a</sup>	12,66 <sup>a</sup>	8,18 <sup>bcd</sup>	6,69 <sup>d</sup>	3,19 <sup>e</sup>
1 kGy	2,36 <sup>gh</sup>	3,28 <sup>ce</sup>	4,38 <sup>a</sup>	12,62 <sup>a</sup>	9,28 <sup>abc</sup>	5,46 <sup>d</sup>	3,36 <sup>e</sup>
	CV = 28,9 % ES= ± 0,08				CV (%) = 40,25 ES= ± 0,30		

Las columnas representan las medias de pérdidas de masa fresca y firmeza del mesocarpio por días. Coeficiente de variación (CV), ± Error estándar (ES). n=5. Letras distintas indican medias con diferencias significativas por la Prueba de Tukey (p ≤ 0,05).

The columns represent the average losses of fresh mass and mesocarp firmness per day. Coefficient of variation (CV), ± Standard error (SE). n=5. Different letters indicate means with significant differences by the Tukey Test (p ≤ 0,05).

**Tabla 2.** Sólidos solubles totales y acidez en frutas de mango 'Tommy Atkins' irradiadas a tres dosis y conservadas a temperatura de 13 °C ± 1°C durante 14 días.

Tratamientos	Sólidos solubles totales (°Brix)				Acidez (%)			
	Días en conservación							
	0	5	9	14	0	5	9	14
Control	6,40 <sup>f</sup>	9,64 <sup>de</sup>	11,44 <sup>ab</sup>	11,84 <sup>a</sup>	1,19 <sup>a</sup>	0,92 <sup>b</sup>	0,91 <sup>bc</sup>	0,91 <sup>c</sup>
0,25 kGy	6,43 <sup>f</sup>	9,50 <sup>de</sup>	11,28 <sup>abc</sup>	11,28 <sup>a</sup>	1,16 <sup>a</sup>	0,94 <sup>b</sup>	0,89 <sup>bc</sup>	0,80 <sup>c</sup>
0,5 kGy	6,45 <sup>f</sup>	8,28 <sup>c</sup>	11,20 <sup>abc</sup>	11,80 <sup>a</sup>	1,18 <sup>a</sup>	0,84 <sup>b</sup>	0,77 <sup>bc</sup>	0,77 <sup>c</sup>
1 kGy	6,42 <sup>f</sup>	9,12 <sup>de</sup>	10,00 <sup>ab</sup>	11,84 <sup>a</sup>	1,17 <sup>a</sup>	0,85 <sup>b</sup>	0,84 <sup>bc</sup>	0,73 <sup>c</sup>
	CV = 23,66 % ES= ± 0,21				CV (%) = 22,13 ES= ± 0,02			

Las columnas representan las medias de sólidos solubles totales y acidez. Coeficiente de variación (CV), ± Error estándar (ES). n=5. Letras distintas indican medias con diferencias significativas por la Prueba de Tukey (p ≤ 0,05).

The columns represent the means of total soluble solids and acidity. Coefficient of variation (CV), ± Standard error (SE). n=5. Different letters indicate means with significant differences by the Tukey Test (p ≤ 0.05).

## Conclusiones

La irradiación gamma con Cobalto-60 (<sup>60</sup>Co) es un método efectivo para controlar la antracnosis en mango 'Tommy Atkins'. Las dosis de 0,5 kGy y 1 kGy reducen significativamente la incidencia y severidad de la enfermedad, manteniendo la calidad comercial del fruto al no superar el 10% del área afectada, según los estándares establecidos.

El tratamiento de irradiación, particularmente a 0,5 kGy, no altera negativamente los principales indicadores de maduración poscosecha. La evolución de la firmeza, los sólidos solubles totales y la acidez titulable durante 14 días de almacenamiento a 13 °C es similar a la de los frutos no irradiados, lo que demuestra que la técnica preserva la calidad interna.

La aplicación de una dosis de 0,5 kGy se establece como la más adecuada para el mango 'Tommy Atkins', ya que combina un control eficaz de la antracnosis con una mínima inducción de lesiones de pardeamiento en el exocarpio. Esto permite extender la vida útil del fruto cumpliendo con los requisitos de calidad para su comercialización en mercados distantes.

## Referencias

Abdullah, R., Suman, M., Naz, S., Iqtedar, M., Kaleem, A., & Aftab, M. (2017). Evaluation of microbial potential, sensory and nutritional quality of mangoes following gamma irradiation. *Progress in Nutrition*, 19(4), 477-483.

Ahmad, Z., Ahmad, A., Faiyaz, F., & Ayub, H. (2020). Comparative effects of gamma irradiation, uv-c and hot water treatments on sensory attributes of mango fruit (*Mangifera indica* L.) cv. White and Black Chaunsa. *Pakistan Journal of Agricultural Sciences*, 57(2), 499-504.

Babu, I., Yasmin, Z., Kanwal, R., Asghar, M., & Tahira, R. (2019). Application of  $\gamma$ - irradiation and chitosan skin coating for extension of storage life in mango fruit. *Journal of Agriculture Research*, 57(1), 45-49.

Cancino-Vázquez, R., Salvador-Figueroa, M., Hernández-Ortiz, E., Grajales-Conesa, J., & Vázquez-Ovando, A. (2020). Gamma irradiation of mango «Ataulfo» at low dose: Effect on texture, taste, and odor fruit. *Food Science and Technology Research*, 26(1), 59-64.

Din, A., Chughtai, M., Mehmood, T., Khaliq, A., Nadeem, M., Ahsan, S., Amir, R., Abrar, M., Saeed, K., & Manzoor, M. (2021). Shelf life extension of mango fruit by using non-preservative technique. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 232-241.

IIFT. (2023). *Instructivo técnico para el cultivo del mango* (2.ª ed.). IIFT.

Indiarto, R., & Hasan, M. (2020). A review of irradiation technologies on food and agricultural products. *International Journal of Scientific and Technology Research*, 9(2), 4411-4414.

Iqtedar, M., Samra, S., Uzma, U., Roheena, R., Afshan, A., Mahwish, M., & Naz, S. (2016). Effect of co60 gamma radiation on shelf life of pakistani mangoes evaluated through sensory and microbial analysis. *Fuuast Journal of Biology*, 6(2), 121-125.

Mahajan, V., Gill, S., & Dhaliwal, S. (2017). Effect of storage period on various physiological, biochemical and enzymatic parameters of guava (*Psidium guajava* L.) fruit. *Journal of Experimental Biology and Agricultural Sciences*, 5(6), 846-851.

Malik, A., Umar, M., Hameed, R., Amin, M., Asad, U., & Hafeez, O. (2013). Phytosanitary irradiation treatments in relation to desapping and processing types affect mango fruit quality. *Acta Horticulturae*, 1012, 681-692.

Marques, J., Joyce, D., Hofman, P., & Davis, J. (2022). Irradiation-induced lenticel discolouration in «B74» mango fruit is modulated by ripeness. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 97(5), 665-672.

Maxwell, I., Haruna, A., & Kutigi, B. (2017). Effect of irradiation on rotting and mass of mango fruits with gamma ray from cobalt-60 source. *Asian Journal of Chemical Sciences*, 2(4), 1-6.

- McKinney, H. (1923). Influence of soil temperature and moisture on infection of wheat seedlings by *Helminthosporium sativum*. *Journal of Agricultural Research*, 26(5), 195-218.
- Mercado, E. (2009). *La aplicación de irradiación gamma como tratamiento cuarentenario, y sus efectos sobre la calidad de diferentes variedades y tamaños de mango crecidos en diferentes regiones de México*. Final project report. <https://www.mango.org>
- Mulkay, T. (2023). Cultivo y Comercialización del Mango. En I. de I. en F. Tropical (Ed.), *Cultivo y Comercialización del Mango* (1.ª ed.). Instituto de Investigaciones en Fruticultura Tropical.
- Nguyen, T., Kato, M., Mac, G., Zhang, L., Apiradee, A., Srilaong, V., Laohakunjit, N., & Jitareerat, P. (2021). Up-regulation of plant defense genes in harvested mango using electron beam irradiation. *Agriculture and Natural Resources*, 55(6), 1098-1104.
- Pérez, B., Báez, R., Bringas, E., Mendoza, A., Ojeda, J., Cruz, L., & Núñez, M. (2006). Estudio de la pérdida de peso, permeabilidad y composición cuticular de mangos Tommy Atkins tratados con cera durante su almacenamiento refrigerado. *Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 16(1), 62-68.
- Prieto, E., Chávez, A., Moreno, D., Rodríguez, R., & Pérez, B. (2019). Aplicación de la tecnología de irradiación en Cuba. Actualidad y perspectivas. *Nucleus*, 66, 1-6.
- Rahman, A. (2020). *Effect of gamma irradiation and packaging on quality and shelf life of mango* [Master's Thesis]. Department of Horticulture, Sher-e-bangla Agricultural University.
- Sivakumar, D., Tuna, N., & Romanazzi, G. (2021). A comprehensive review on the impact of edible coatings, essential oils and their nano formulations on postharvest decay anthracnose of avocados, mangoes and papayas. *Frontiers in Microbiology*, 12, 711092.
- Sultana, T., Maraz, K., Ahmed, A., Shultana, S. H., & Khan, R. (2021). Effect of irradiation process on mango. *GSC Advanced Research and Reviews*, 09(1), 108-118.
- Toro, I., & Caro, M. (2021). Comportamiento respiratorio y evolución del color durante la maduración de mango (*Mangifera indica* L.), cosecha 2016, cultivado en el estado Yaracuy, Venezuela. *In Situ*, 4, 146-159.
- Yadav, M., Kirtivardhan, Paramveer, S., & Singh, P. (2017). Irradiation and storage temperature influence the physiological changes and shelf life of mango (*Mangifera indica* L.). *American Journal of Plant Biology*, 2(1), 5-10.
- Yusri, M., & Zulfadli, M. (2019). Investigation the effect of gamma irradiation on mass preservation of the local mango fruit (*Chokanan* sp.). *Health Scope*, 1(1), 147-148.