



Irradiación: una revisión exhaustiva de la literatura sobre sus aplicaciones en la producción de mango

Resumen

La irradiación gamma se ha utilizado para descontaminar alimentos, gracias a su actividad microbicida, lo que sugiere una estrategia prometedora para el control microbiano y la estimulación de la producción de compuestos nutraceuticos en frutas y especias. Sin embargo, la información sobre investigaciones relacionadas con la aplicación de la irradiación gamma para la descontaminación de microorganismos patógenos es escasa. El presente estudio comprende una revisión sistemática de la aplicación de la irradiación gamma para la descontaminación de mango y productos derivados del mango. Los resultados indican un número limitado de estudios centrados en la irradiación gamma en diversos cultivares de mango, incluyendo Alphonso, Kent, Keitt, Tommy Atkins, Banginapalli, Mulgoa, Neelam, Katimon y Zebda. Las dosis oscilaron entre 0.25 y 5 kGy, siendo 1.0 y 1.5 kGy las más recomendadas para reducir la carga bacteriana y fúngica en el mango y los productos derivados del mango, lo que prolonga la vida de anaquel de 2 semanas a 60 días. En conclusión, la irradiación gamma puede ser una estrategia viable para descontaminar el mango de bacterias patógenas, gracias a sus propiedades antimicrobianas, que además prolongan la vida de anaquel y preservan las cualidades nutricionales y sensoriales del mango.

Introducción

La irradiación gamma es una potente fuente de energía que se ha utilizado en la industria alimentaria debido a los beneficios que aporta a las propiedades de los alimentos irradiados, lo que permite preservar su calidad (Wang et al., 2018). En este sentido, diversos estudios han evaluado la eficacia de la irradiación gamma en diferentes productos alimenticios, tales como frutos secos, tomate, especias —

incluidos el chile rojo, la cúrcuma, el cilantro, el comino, la pimienta negra, el ajo y el jengibre—, aceites esenciales, así como cereales como el trigo sarraceno, avena, caupí y arroz, para demostrar sus efectos beneficiosos, como la prolongación de la vida de anaquel, la actividad antimicrobiana contra los microbios que causan el deterioro de los alimentos, así como una estrategia de estrés abiótico para la estimulación de compuestos bioactivos; lo que sugiere que la irradiación gamma en dosis bajas confiere efectos beneficiosos a los alimentos irradiados, sin cambios significativos en sus propiedades sensoriales, nutricionales y funcionales (Santos et al., 2011; Alloun et al., 2019; Gyimah et al., 2020; Rahman et al., 2021; Bhat et al., 2024). Se han realizado varios estudios para evaluar el efecto de la irradiación gamma en frutas frescas como medida preventiva contra problemas poscosecha, como el crecimiento de moho (Jeon et al., 2016). En este sentido, la irradiación gamma ha sido evaluada y recomendada como una estrategia de cuarentena eficaz para el mango, dado su efecto contra moscas de la fruta como *Anastrepha ludens*, *Anastrepha obliqua*, *Anastrepha serpentina*, *Ceratitis capitata* y *Bactrocera dorsalis* (Bustos et al., 2004; Srimartpirom et al., 2017; Hernández et al., 2018). Además, algunos estudios indican que la irradiación gamma, utilizada como tratamiento fitosanitario, no afecta la calidad ni las propiedades del mango (Cruz et al., 2012; Gómez-Simuta et al., 2017). En el ámbito de la patogenicidad, la irradiación gamma muestra un efecto microbicida significativo, que se ha demostrado, a nivel de laboratorio, que elimina patógenos críticos transmitidos por los alimentos, como *Escherichia coli*, *Salmonella* y *Listeria* (Begum et al., 2020). Sin embargo, la aplicación de la irradiación gamma para reducir la carga microbiana patógena en el mango es escasa. Por esta razón, esta revisión tuvo como objetivo realizar una revisión sistemática de los datos científicos disponibles relacionados con la irradiación gamma en los alimentos, especialmente en el mango, para determinar si esta medida de control microbiano podría ser adecuada para el mango contra las bacterias patógenas transmitidas por los alimentos asociadas a este importante producto alimenticio.

Metodología

Características del Estudio

Este estudio se basa en una revisión sistemática destinada a determinar la viabilidad del uso de la irradiación gamma en el mango, centrándose específicamente en los estudios que evalúan la actividad antimicrobiana de la irradiación gamma en el mango, tanto en el mango fresco como en los productos derivados del mango (Figura 1).

Estrategia de búsqueda bibliográfica

El presente estudio consiste en una revisión sistemática, siguiendo las directrices establecidas por PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses) (Moher et al., 2009), que consta de varias etapas, incluyendo *estrategias de búsqueda, criterios de selección, extracción de datos y análisis de datos*. La búsqueda de conclusiones se centró en la exploración de bases de datos académicas y científicas, como *Google Scholar, Scopus, Web of Science y PubMed*, para la identificación, cribado y selección de documentos para su posterior análisis (Figura 1).

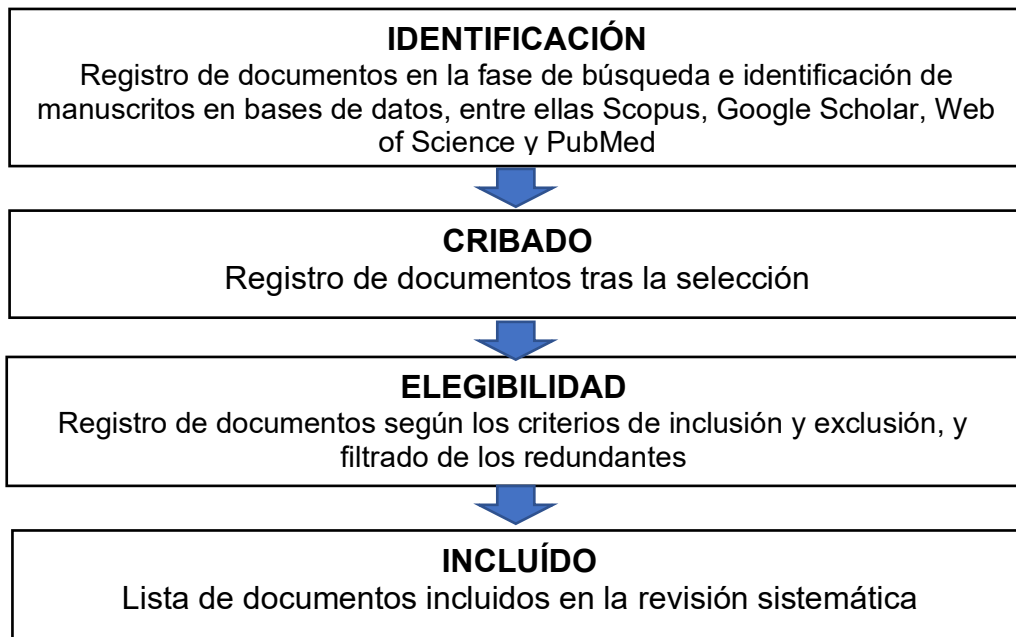


Figura 1. Diagrama de flujo que describe la revisión sistemática de la literatura.

Criterios de Inclusión

La selección de los manuscritos en cada etapa se basó en criterios específicos cuidadosamente elegidos para ajustarse al alcance de esta revisión. Los requisitos que debían cumplir los documentos eran: ser manuscritos de investigación original, tratar sobre la irradiación gamma y hacer hincapié en la evaluación de la actividad antimicrobiana del mango (contra bacterias, incluyendo el recuento bacteriano total, bacterias patógenas, levaduras, mohos y agentes fúngicos patógenos), así como en la vida de anaquel del mango.

Criterios de Exclusión

Se excluyeron del análisis los manuscritos que cumplieran los siguientes criterios: manuscritos de revisiones, manuscritos en preimpresión, manuscritos centrados en otras frutas y productos distintos del mango, manuscritos centrados únicamente en las propiedades sensoriales y nutricionales, así como manuscritos que carecían de detalles metodológicos o de información sobre las combinaciones de fuentes de irradiación y, por último, manuscritos centrados únicamente en la estimulación de la actividad antioxidante de los compuestos presentes en el mango.

Evaluación de los Manuscritos

De acuerdo con las instrucciones y directrices de PRISMA, cada manuscrito se revisó y evaluó de forma individual. En un primer paso, la evaluación inicial consistió en leer cada resumen para identificar el enfoque principal del manuscrito y determinar si se cumplían los criterios de inclusión y exclusión. Además, se realizó una lectura completa de cada manuscrito por separado para identificar todos los elementos relacionados con el propósito del presente estudio, incluyendo el cultivar de mango, los microorganismos evaluados, las dosis de irradiación gamma, la duración del estudio de vida de anaquel, el número de muestras y los resultados obtenidos.

Extracción

A partir de los documentos seleccionados según los criterios de exclusión e inclusión, los autores recopilaron y organizaron los datos relevantes y buscados, incluyendo las dosis de irradiación, los microorganismos estudiados, los resultados de la actividad antimicrobiana y la vida de anaquel de la fruta de mango y/o los productos derivados del mango.

Resultados y discusión

Resultados descriptivos

Como resultado de la búsqueda sistemática, se *identificaron* 147 documentos durante la primera etapa. De estos, la *etapa de selección* dejó solo 37 documentos tras eliminar los registros duplicados y no elegibles. Finalmente, en la *etapa de elegibilidad*, se identificaron un total de 11 manuscritos que cumplían con los criterios de inclusión/exclusión especificados y se incluyeron en la revisión sistemática sobre las aplicaciones de la irradiación gamma para el control microbiano en el mango. A continuación, los resultados se recopilaron y organizaron en función del propósito de la aplicación.

Actividad antimicrobiana de la irradiación gamma

La revisión sistemática de las aplicaciones de la irradiación gamma en el mango, centrada en la actividad antimicrobiana, recoge el uso de la irradiación gamma en 17 variedades, entre las que se incluyen Alphonso, Kent, Keitt, Tommy Atkins, Banginapalli, Mulgoa, Neelam, Raspuri y Katimon (Tabla 1).

En cuanto al uso de diferentes dosis, generalmente consideradas como dosis bajas de irradiación gamma, la revisión sistemática identificó la evaluación de 0, 0.25, 0.35, 0.45, 0.50, 0.75, 1.0, 1.25, 1.50, 2.0, 2.50, 3.0 y 5 kGy para el control de bacterias aeróbicas mesófilas, así como para el control de levaduras y mohos, tanto en la fruta del mango como en los productos derivados del mango. De los 11 manuscritos, 4 sugirieron el uso de 1.5 kGy como el mejor resultado (Chatha et al.,

2019a; Chatha et al., 2019b; Jabin et al., 2023a; Jabin et al., 2023b), mientras que Abdullah et al. (2017) sugirieron el uso de 1.25 kGy y Naresh et al. (2015b) el uso de 5.0 kGy, siendo esta última la dosis más alta utilizada entre los diferentes estudios, lo que dio como resultado un crecimiento bacteriano indetectable, así como de levaduras y mohos en el jugo de mango (Tabla 2).

Tabla 1. Manuscritos identificados e incluidos para el estudio de la actividad antibacteriana de la irradiación gamma en el mango.

Autores	Dosis (kgy)	MICROORGANISMO	PRODUCTO	Cultivar	Concentración inicial	Concentración Final
Naresh et al. (2015^a)	0	Recuento total de bacterias	Jugo de mango	Alphonso	7.2x10 ⁵ CFU/mL	7.2x10 ⁵ CFU/mL
				Banginapalli	6.5x10 ⁵ CFU/mL	6.5x10 ⁵ CFU/mL
				Mulgoa	5.3x10 ⁴ CFU/mL	5.3x10 ⁴ CFU/mL
				Neelam	4.7x10 ⁴ CFU/mL	4.7x10 ⁴ CFU/mL
				Raspuri	6.1x10 ⁵ CFU/mL	6.1x10 ⁵ CFU/mL
				Rumani	7.4x10 ⁴ CFU/mL	7.4x10 ⁴ CFU/mL
				Sindhura	6.3x10 ⁵ CFU/mL	6.3x10 ⁵ CFU/mL
				Totapuri	7.6x10 ⁴ CFU/mL	7.6x10 ⁴ CFU/mL
				0.5	Recuento total de bacterias	Jugo de mango
	Banginapalli	6.5x10 ⁵ CFU/mL	2.6x10 ³ CFU/mL			
	Mulgoa	5.3x10 ⁴ CFU/mL	2.9x10 ² CFU/mL			
	Neelam	4.7x10 ⁴ CFU/mL	3.5x10 ² CFU/mL			
	Raspuri	6.1x10 ⁵ CFU/mL	2.4x10 ³ CFU/mL			
	Rumani	7.4x10 ⁴ CFU/mL	4.2x10 ² CFU/mL			
	Sindhura	6.3x10 ⁵ CFU/mL	2.3x10 ³ CFU/mL			
	Totapuri	7.6x10 ⁴ CFU/mL	4.4x10 ² CFU/mL			
	1	Recuento total de bacterias	Jugo de mango			
				Banginapalli	6.5x10 ⁵ CFU/mL	1.8x10 ⁶ CFU/mL
				Mulgoa	5.3x10 ⁴ CFU/mL	1.3x10 ¹ CFU/mL
				Neelam	4.7x10 ⁴ CFU/mL	1.1x10 ¹ CFU/mL
				Raspuri	6.1x10 ⁵ CFU/mL	1.6x10 ¹ CFU/mL
				Rumani	7.4x10 ⁴ CFU/mL	2.1x10 ¹ CFU/mL
				Sindhura	6.3x10 ⁵ CFU/mL	1.7x10 ¹ CFU/mL
				Totapuri	7.6x10 ⁴ CFU/mL	2.3x10 ¹ CFU/mL
				3	Recuento total de bacterias	Jugo de mango
	Banginapalli	6.5x10 ⁵ CFU/mL	No detectado			
	Mulgoa	5.3x10 ⁴ CFU/mL	No detectado			
	Neelam	4.7x10 ⁴ CFU/mL	No detectado			
Raspuri	6.1x10 ⁵ CFU/mL	No detectado				
Rumani	7.4x10 ⁴ CFU/mL	No detectado				
Sindhura	6.3x10 ⁵ CFU/mL	No detectado				
Totapuri	7.6x10 ⁴ CFU/mL	No detectado				
Banginapalli	4.2x10 ⁴ CFU/mL	4.2x10 ⁴ CFU/mL				
Naresh et al. (2015^b)	0	Total de bacterias aeróbicas	Jugo de mango fresco	Banginapalli	4.2x10 ⁴ CFU/mL	3.4x10 ³ CFU/mL
	1	Total de bacterias aeróbicas	Jugo de mango fresco	Banginapalli	4.2x10 ⁴ CFU/mL	2.6x10 ¹ CFU/mL
	3	Total de bacterias aeróbicas	Jugo de mango fresco	Banginapalli	4.2x10 ⁴ CFU/mL	No detectado
	5	Total de bacterias aeróbicas	Jugo de mango fresco	Banginapalli	4.2x10 ⁴ CFU/mL	No detectado
	0	Total de bacterias aeróbicas	Jugo de mango almacenado	Banginapalli	6.5x10 ⁵ CFU/mL	6.5x10 ⁵ CFU/mL

Kondapalli et al. (2014)	1	Total de bacterias aeróbicas	Jugo de mango almacenado	Banginapalli	6.5x10 ⁵ CFU/mL	2.3x10 ² CFU/mL
	3	Total de bacterias aeróbicas	Jugo de mango almacenado	Banginapalli	6.5x10 ⁵ CFU/mL	1.1x10 ¹ CFU/mL
	5	Total de bacterias aeróbicas	Jugo de mango almacenado	Banginapalli	6.5x10 ⁵ CFU/mL	No detectado
	0	Recuento total de gérmenes	Vino de mango	Alphonso Banginapalli Mulgoa Neelam Raspuri Rumani Sindhura Totapuri	2.8x10 ⁴ CFU/mL 2.6x10 ⁴ CFU/mL 4.2x10 ⁵ CFU/mL 3.8x10 ⁵ CFU/mL 4x10 ⁵ CFU/mL 2.9x10 ⁴ CFU/mL 3.1x10 ⁴ CFU/mL 3.4x10 ⁵ CFU/mL	2.8x10 ⁴ CFU/mL 2.6x10 ⁴ CFU/mL 4.2x10 ⁵ CFU/mL 3.8x10 ⁵ CFU/mL 4.0x10 ⁵ CFU/mL 2.9x10 ⁴ CFU/mL 3.1x10 ⁴ CFU/mL 3.4x10 ⁵ CFU/mL
	0.5	Recuento total de gérmenes	Vino de mango	Alphonso Banginapalli Mulgoa Neelam Raspuri Rumani Sindhura Totapuri	2.8x10 ⁴ CFU/mL 2.6x10 ⁴ CFU/mL 4.2x10 ⁵ CFU/mL 3.8x10 ⁵ CFU/mL 4x10 ⁵ CFU/mL 2.9x10 ⁴ CFU/mL 3.1x10 ⁴ CFU/mL 3.4x10 ⁵ CFU/mL	2.2x10 ⁵ CFU/mL 2.1x10 ² CFU/mL 3.4x10 ³ CFU/mL 2.9x10 ³ CFU/mL 3.2x10 ³ CFU/mL 2.3x10 ² CFU/mL 2.9x10 ² CFU/mL 2.7x10 ³ CFU/mL
	1	Recuento total de gérmenes	Vino de mango	Alphonso Banginapalli Mulgoa Neelam Raspuri Romani Sindhura Totapuri	2.8x10 ⁴ CFU/mL 2.6x10 ⁴ CFU/mL 4.2x10 ⁵ CFU/mL 3.8x10 ⁵ CFU/mL 4x10 ⁵ CFU/mL 2.9x10 ⁴ CFU/mL 3.1x10 ⁴ CFU/mL 3.4x10 ⁵ CFU/mL	1.9x10 ¹ CFU/mL 1.2x10 ¹ CFU/mL 1.6x10 ² CFU/mL 1.3x10 ² CFU/mL 1.7x10 ² CFU/mL 2.1x10 ¹ CFU/mL 2.8x10 ¹ CFU/mL 2.5x10 ⁶ CFU/mL
	3	Recuento total de gérmenes	Vino de mango	Alphonso Banginapalli Mulgoa Neelam Raspuri Romani Sindhura Totapuri	2.8x10 ⁴ CFU/mL 2.6x10 ⁴ CFU/mL 4.2x10 ⁵ CFU/mL 3.8x10 ⁵ CFU/mL 4x10 ⁵ CFU/mL 2.9x10 ⁴ CFU/mL 3.1x10 ⁴ CFU/mL 3.4x10 ⁵ CFU/mL	No detectado No detectado No detectado No detectado No detectado No detectado No detectado No detectado
	0	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	7.9x10 ⁸ CFU/mL 6.9x10 ⁸ CFU/mL
	0.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	4.1x10 ³ CFU/mL 3.8x10 ³ CFU/mL
	1	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	3.8x10 ³ CFU/ml 3.5x10 ² CFU/mL
1.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	2.1x10 ² CFU/mL 2.8x10 ² CFU/mL	
2	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	1.4x10 ² CFU/mL 1.5x10 ² CFU/mL	
Jabin et al. (2023a)	0	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	7.3x10 ⁷ CFU/mL
	0.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	3.4x10 ³ CFU/mL
	1	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	2.8x10 ² CFU/mL
	1.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	2.1x10 ² CFU/mL
Jabin et al. (2023b)	2	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	1.9x10 ² CFU/mL
	0	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	7.3x10 ⁷ CFU/mL
	0.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	3.4x10 ³ CFU/mL
	1	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	2.8x10 ² CFU/mL
Gasu et al. (2012)	1.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	2.1x10 ² CFU/mL
	2	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	1.9x10 ² CFU/mL
	0	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	3.55 Log ₁₀ CFU/10g
	1	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	3.43 Log ₁₀ CFU/10g

Chatha et al. (2019a)	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	3.10 Log ₁₀ CFU/10g
	2	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	3.13 Log ₁₀ CFU/10g
	2.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	1.20 Log ₁₀ CFU/10g
	0	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	3.53 Log ₁₀ CFU/10g
	1	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	3.45 Log ₁₀ CFU/10g
	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	3.43 Log ₁₀ CFU/10g
	2	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	3.37 Log ₁₀ CFU/10g
	2.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	2.45 Log ₁₀ CFU/10g
	0	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	4.7 Log ₁₀ CFU/10g
	1	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	4.3 Log ₁₀ CFU/10g
	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	4.3 Log ₁₀ CFU/10g
	2	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	3.5 Log ₁₀ CFU/10g
	2.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	3.25 Log ₁₀ CFU/10g
	0	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	4.83 Log ₁₀ CFU/10g
	1	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	4.83 Log ₁₀ CFU/10g
1.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	4.5 Log ₁₀ CFU/10g	
2	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	3.17 Log ₁₀ CFU/10g	
2.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	2.60 Log ₁₀ CFU/10g	
Abdullah et al. (2017)	0	Total de células viables (Bacteria)	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	9.9 Log CFU/g	9.9 Log CFU/g
	0.5	Total de células viables (Bacteria)	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	9.9 Log CFU/g	4.1 Log CFU/g
	1	Total de células viables (Bacteria)	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	9.9 Log CFU/g	3.4 Log CFU/g
	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	9.9 Log CFU/g	2.9 Log CFU/g
0	Recuento total de bacterias viables	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1.8x10 ⁵ CFU/mL	1.8x10 ⁵ CFU/mL	

El-samahy et al. (2000)	0.25	Recuento total de bacterias viables	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1.8x10 ⁵ CFU/mL	>1x10 ⁵ CFU/mL
	0.5	Recuento total de bacterias viables	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1.8x10 ⁵ CFU/mL	>1x10 ⁵ CFU/mL
	1.25	Recuento total de bacterias viables	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1.8x10 ⁵ CFU/mL	>1x10 ⁵ CFU/mL
	0	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	2.6 Log CFU/g
	0.5	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	2.4 Log CFU/g
	0.75	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	2.4 Log CFU/g
	1	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	2.1 Log CFU/g
	1.5	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	1.8 Log CFU/g

La presencia de agentes bacterianos y fúngicos en los alimentos puede estar relacionada con la calidad del proceso de producción, lo que puede contribuir a su deterioro y acortar la vida de anaquel de los alimentos procesados y mínimamente procesados, así como de las frutas y verduras. A estos se les conoce como microorganismos indicadores; entre ellos se encuentran las bacterias del ácido láctico, las *Enterobacteriaceae*, las levaduras y los mohos, y las bacterias aeróbicas mesófilas. Su presencia también es un indicio de procesos de contaminación en la cadena de producción y la cadena de suministro (Erkmen y Bozoglu, 2016; Zoelner, 2016; Alegbeleye et al., 2022; Barth et al., 2009). En este sentido, el uso de indicadores microbianos es un aliado en la industria alimentaria, ya sea para determinar la calidad general y microbiológica del producto o para evaluar la eficacia de las buenas prácticas de fabricación seguidas.

Al evaluar la irradiación gamma para la descontaminación microbiana en el jugo de mango (*Mangifera indica* L.), Naresh et al. (2015b) lograron reducciones significativas en la carga microbiana con dosis que oscilaron entre 1 y 5.0 kGy. En ese estudio, los resultados para el total de bacterias aeróbicas, levaduras y mohos mostraron una disminución sustancial a medida que aumentaba la dosis de irradiación gamma, y una dosis de 5.0 kGy dio como resultado un crecimiento

indetectable para los tres grupos microbianos. Estos autores sugieren el uso de la irradiación gamma para evaluar la calidad microbiana y mejorar la calidad del jugo de mango, sin cambios significativos en los atributos sensoriales. Jabin et al. (2023b) evaluaron el impacto de la irradiación gamma en mango fresco entero, utilizando diferentes dosis, indicando que 1.5 kGy produjo una prolongación favorable de la vida de anaquel del mango, logrando una reducción del recuento total de bacterias dos semanas después del tratamiento de irradiación, demostrando que el recuento microbiano total fue de 2.1×10^2 UFC/mL y 4.1×10^2 UFC/mL en la primera y segunda semanas después del proceso de irradiación, respectivamente. De manera similar, Chatha et al. (2019b) coinciden en que la aplicación de la irradiación gamma mejora la vida de anaquel y mantiene la calidad microbiológica del mango.

De manera similar, Naresh et al. (2015a) sugirieron que la irradiación gamma en el jugo de mango contribuye a la reducción microbiana, lo que permite mantener el color brillante y la calidad del jugo de mango. Sin embargo, es esencial tener en cuenta que los resultados de la actividad antimicrobiana de la irradiación gamma varían entre los cultivares en los diferentes estudios (Tabla 1), lo que sugiere diferencias en las características de las cáscaras de mango de cada cultivar, así como en la composición de cada mango producido según cada cultivar, lo que explica las diferencias en la actividad antimicrobiana de la irradiación gamma a diferentes dosis.

Tabla 2. Manuscritos identificados e incluidos para el estudio de la actividad antifúngica y anti-levaduras de la irradiación gamma en el mango.

AUTORES	DOSIS (KGY)	MICROORGANISMO	PRODUCTO	CULTIVAR	CONCENTRACIÓN INICIAL	CONCENTRACIÓN FINAL
Naresh et al. (2015 ^a)	0	Recuento de levaduras y mohos	Jugo de mango	Alphonso	2.4x10 ³ CFU/mL	2.4x10 ³ CFU/mL
				Banginapali	2.7x10 ³ CFU/mL	2.7x10 ³ CFU/mL
				Mulgoa	2.1x10 ² CFU/mL	2.1x10 ² CFU/mL
				Neelam	2.6x10 ² CFU/mL	2.6x10 ² CFU/mL
				Raspuri	3.2x10 ² CFU/mL	3.2x10 ² CFU/mL
				Rumani	2.8x10 ² CFU/mL	2.8x10 ² CFU/mL
				Sindhura	2.5x10 ³ CFU/mL	2.5x10 ³ CFU/mL
				Totapuri	3.1x10 ² CFU/mL	3.1x10 ² CFU/mL
	0.5	Recuento de levaduras y mohos	Jugo de mango	Alphonso	2.4x10 ³ CFU/mL	1.5x10 ² CFU/mL
				Banginapali	2.7x10 ³ CFU/mL	1.8x10 ² CFU/mL
				Mulgoa	2.1x10 ² CFU/mL	1.3x10 ¹ CFU/mL
				Neelam	2.6x10 ² CFU/mL	1.4x10 ¹ CFU/mL
				Raspuri	3.2x10 ² CFU/mL	1.7x10 ¹ CFU/mL
				Rumani	2.8x10 ² CFU/mL	1.9x10 ¹ CFU/mL
				Sindhura	2.5x10 ³ CFU/mL	1.6x10 ² CFU/mL
				Totapuri	3.1x10 ² CFU/mL	1.8x10 ¹ CFU/mL
	1	Recuento de levaduras y mohos	Jugo de mango	Alphonso	2.4x10 ³ CFU/mL	<10 ¹ CFU/mL
				Banginapali	2.7x10 ³ CFU/mL	<10 ¹ CFU/mL
				Mulgoa	2.1x10 ² CFU/mL	No detectado
				Neelam	2.6x10 ² CFU/mL	No detectado
				Raspuri	3.2x10 ² CFU/mL	No detectado
				Rumani	2.8x10 ² CFU/mL	No detectado
				Sindhura	2.5x10 ³ CFU/mL	No detectado
				Totapuri	3.1x10 ² CFU/mL	No detectado
3	Recuento de levaduras y mohos	Jugo de mango	Alphonso	2.4x10 ³ CFU/mL	No detectado	
			Banginapali	2.7x10 ³ CFU/mL	No detectado	
			Mulgoa	2.1x10 ² CFU/mL	No detectado	
			Neelam	2.6x10 ² CFU/mL	No detectado	
			Raspuri	3.2x10 ² CFU/mL	No detectado	
			Rumani	2.8x10 ² CFU/mL	No detectado	
			Sindhura	2.5x10 ³ CFU/mL	No detectado	
			Totapuri	3.1x10 ² CFU/mL	No detectado	
Naresh et al. (2015 ^b)	0	Levaduras y mohos	Jugo de mango almacenado	Banginapali	1.4x10 ² CFU/mL	1.4x10 ² CFU/mL
	1	Levaduras y mohos	Jugo de mango fresco	Banginapali	1.4x10 ² CFU/mL	1.2x10 ¹ CFU/mL
	3	Levaduras y mohos	Jugo de mango fresco	Banginapali	1.4x10 ² CFU/mL	No detectado
	5	Levaduras y mohos	Jugo de mango fresco	Banginapali	1.4x10 ² CFU/mL	No detectado
	0	Levaduras y mohos	Jugo de mango almacenado	Banginapali	2.1x10 ² CFU/mL	2.1x10 ² CFU/mL
	1	Levaduras y mohos	Jugo de mango almacenado	Banginapali	2.1x10 ² CFU/mL	<10 ¹ CFU/mL
	3	Levaduras y mohos	Jugo de mango almacenado	Banginapali	2.1x10 ² CFU/mL	No detectado
	5	Levaduras y mohos	Jugo de mango almacenado	Banginapali	2.1x10 ² CFU/mL	No detectado
	0	Recuento total de hongos	Vino de mango	Alphonso	2.2x10 ³ CFU/mL	2.2x10 ³ CFU/mL
					2.1x10 ³ CFU/mL	2.1x10 ³ CFU/mL

Gonçalves et al. (2010)	0.5	Recuento total de hongos	Vino de mango	Banginapali	1.3x10 ³ CFU/mL	1.3x10 ³ CFU/mL
					1.5x10 ³ CFU/mL	1.5x10 ³ CFU/mL
				Mulgoa	1.4x10 ³ CFU/mL	1.4x10 ³ CFU/mL
				Neelam	1.9x10 ³ CFU/mL	1.9x10 ³ CFU/mL
				Raspuri	1.8x10 ³ CFU/mL	1.8x10 ³ CFU/mL
				Romani	1.6x10 ³ CFU/mL	1.6x10 ³ CFU/mL
				Sindhura		
				Totapuri		
				Alphonso	2.2x10 ³ CFU/mL	1.9x10 ² CFU/mL
				Banginapali	2.1x10 ³ CFU/mL	1.7x10 ² CFU/mL
					1.3x10 ³ CFU/mL	1.1x10 ² CFU/mL
				Mulgoa	1.5x10 ³ CFU/mL	1.3x10 ² CFU/mL
				Neelam	1.4x10 ³ CFU/mL	1.2x10 ² CFU/mL
				Raspuri	1.9x10 ³ CFU/mL	1.5x10 ² CFU/mL
				Romani	1.8x10 ³ CFU/mL	1.6x10 ² CFU/mL
				Sindhura	1.6x10 ³ CFU/mL	1.4x10 ² CFU/mL
				Totapuri		
				Chatha et al. (2019b)	0	Recuento de carga fúngica
Banginapali	2.1x10 ³ CFU/mL	<10 ¹ CFU/mL				
	1.3x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Mulgoa	1.5x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Neelam	1.4x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Raspuri	1.9x10 ³ CFU/mL	<10 ¹ CFU/mL				
Romani	1.8x10 ³ CFU/mL	<10 ¹ CFU/mL				
Sindhura	1.6x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Totapuri						
Alphonso	2.2x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Banginapali	2.1x10 ³ CFU/mL	No detectado				
	1.3x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Mulgoa	1.5x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Neelam	1.4x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Raspuri	1.9x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Romani	1.8x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Sindhura	1.6x10 ³ CFU/mL	No detectado				
Totapuri						
Abdullah et al. (2017)	0	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Tommy	16 conidia/mL	9 cm de diámetro
				Atkins	0 cm de diámetro	
				Tommy	16 conidia/mL	8 cm de diámetro
				Atkins	0 cm de diámetro	
				Tommy	16 conidia/mL	7.5 cm de diámetro
				Atkins	0 cm de diámetro	
				Tommy	16 conidia/mL	5.5 cm de diámetro
				Atkins	0 cm de diámetro	
				Kala	195 isolates	195 isolates
				Chunsa		
				Kala	195 isolates	28 isolates
				Chunsa		
				Kala	195 isolates	21 isolates
				Chunsa		
				Kala	195 isolates	4 isolates
				Chunsa		
				Chaunsa	1x10 ⁴ CFU/mL	1x10 ⁴ CFU/mL
				Chaunsa	1x10 ⁴ CFU/mL	1x10 ⁵ CFU/mL
Chaunsa	1x10 ⁴ CFU/mL	<1x10 ⁵ CFU/mL				
Chaunsa	1x10 ⁴ CFU/mL	No detectado				

El-samahy et al. (2000)	0	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 logCFU/g	4.4 Log CFU/g
	0.5	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 logCFU/g	3.8 Log CFU/g
	0.75	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 logCFU/g	3.6 Log CFU/g
	1	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 logCFU/g	2.4 Log CFU/g
	1.5	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 logCFU/g	2.5 Log CFU/g
El-samahy et al. (2000)	0	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	2.3 logCFU/g	4.2 Log CFU/g
	0.5	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	2.3 logCFU/g	3.6 Log CFU/g
	0.75	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	2.2 logCFU/g	3.2 Log CFU/g
	1	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	2 logCFU/g	2.7 Log CFU/g
	1.5	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 logCFU/g	2.4 Log CFU/g

La irradiación gamma en el mango, los productos derivados del mango y su impacto en la vida de anaquel

Curiosamente, de los 11 documentos incluidos en la revisión sistemática, un subgrupo de estudios se centró en la vida de anaquel del mango y de los productos derivados del mango (Tabla 3), lo cual constituye un aspecto esencial de los beneficios de la irradiación gamma, según la bibliografía que sugiere la prolongación de la vida de anaquel de los alimentos irradiados.

En este sentido, Yadav et al. (2014) evaluaron dosis de irradiación gamma, incluyendo 0.2, 0.4 y 0.6 kGy, revelando que la irradiación gamma de 0.2 y 0.4 kGy tuvo un efecto positivo en la vida de anaquel de la fruta de mango, la cual se extendió por más de 38 días, retrasando la maduración y la aceptabilidad del mango Alphonso.

En cuanto al mango Tommy Atkins, varias dosis de irradiación gamma (0.24, 0.35 y 0.45 kGy) evaluadas contra *Fusicoccum parvum* demostraron que 0.45 kGy no

afectaba negativamente las propiedades fisicoquímicas del mango y disminuía la gravedad de la pudrición causada por *Fusicoccum parvum* (Gonçalves Santos et al., 2010). Por otro lado, Chatha et al. 2019(a) evaluaron el uso de la irradiación gamma en dosis de 0.5, 1.0 y 1.5 kGy como medida preventiva contra el crecimiento fúngico en el mango (Safaid Chunsa, Kala Chunsa) durante 60 días; en este escenario, la irradiación gamma a 1.5 kGy por hora mostró los mejores resultados en actividad antifúngica, reduciendo la presencia de 13 especies de hongos (en mango no irradiado) a solo cuatro pertenecientes a *Aspergillus*, *Penicillium*, *Cladosporium* y *Fusarium*, lo que favorece la vida de anaquel al prevenir el deterioro causado por estos agentes fúngicos.

Tabla 3. Aplicación de la irradiación gamma en el mango y los productos derivados del mango; evaluación de la actividad antimicrobiana y la vida de anaquel.

Autores	Dosis (kgy)	MICROORGANISMO	PRODUCTO	Cultivar	Concentración inicial	Concentración Final at shelf life
Jabin et al. (2023a)	0	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	7.9x10 ⁸ CFU/mL, a las dos semanas 6.9x10 ⁸ CFU/mL, a las dos semanas
	0.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	3.4x10 ³ CFU/mL, a las dos semanas 4.1x10 ⁴ CFU/mL, a las dos semanas
	1	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	4.2x10 ³ CFU/mL, a las dos semanas 5.6x10 ² CFU/mL, a las dos semanas
	1.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	3.7x10 ² CFU/mL, a las dos semanas 3.8x10 ² CFU/mL, a las dos semanas
	2	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Amrapalli BARI-11	6.8x10 ⁵ CFU/mL 6.4x10 ⁴ CFU/mL	2.1x10 ³ CFU/mL, a las dos semanas 4.5x10 ³ CFU/mL, a las dos semanas
Jabin et al. (2023b)	0	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	7.3x10 ⁷ CFU/mL, a las dos semanas
	0.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	4.4x10 ⁴ CFU/mL, a las dos semanas
	1	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	2.7x10 ³ CFU/mL, a las dos semanas
	1.5	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	4.1x10 ² CFU/mL, a las dos semanas

Gonçalves et al. (2017)	2	Recuento microbiano total	Cáscaras de mango	Katimon	5.3x10 ⁵ CFU/mL	3.6x10 ² CFU/mL, a las dos semanas
	0	<i>Fusicoccum parvum</i>	Fruta de mango	Tommy Atkins	16 connidia/mL 0 cm de diámetro	9 cm de diámetro, al día 7
	0.25	<i>Fusicoccum parvum</i>	Fruta de mango	Tommy Atkins	16 connidia/mL 0 cm de diámetro	8 cm de diámetro, al día 7
	0.35	<i>Fusicoccum parvum</i>	Fruta de mango	Tommy Atkins	16 connidia/mL 0 cm de diámetro	7.5 cm de diámetro, al día 7
	0.45	<i>Fusicoccum parvum</i>	Fruta de mango	Tommy Atkins	16 connidia/mL 0 cm de diámetro	5.5 cm de diámetro, al día 7
Gasu et al. (2012)	0	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	2.95 Log ₁₀ CFU/10g, al día 12
	1	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 12
	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 9
	2	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 9
	2.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 6°C	3.55 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 3
	0	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	3.45 Log ₁₀ CFU/10g, al día 15
	1	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 12
	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 12
	2	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 12
	2.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Kent a 10°C	3.53 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 9
	0	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	2.28 Log ₁₀ CFU/10g al día 15
	1	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 12
	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 9
	2	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 9
	2.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 6°C	4.7 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 9
0	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	3.20 Log ₁₀ CFU/10g al día 15	
1	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 12	

Chatha et al. (2019a)	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 12
	2	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 12
	2.5	Total de células viables (Bacteria)	Mango fresco cortado	Keitt a 10°C	4.83 Log ₁₀ CFU/10g	No detectable al día 6
	0	Total de células viables (Bacteria)	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	9.9 Log CFU/g	10.2 Log CFU/g al día 14
	0.5	Total de células viables (Bacteria)	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	9.9 Log CFU/g	4.9 Log CFU/g al día 56
	1	Total de células viables (Bacteria)	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	9.9 Log CFU/g	3.7 Log CFU/g al día 56
Chatha et al. (2019b)	1.5	Total de células viables (Bacteria)	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	9.9 Log CFU/g	3.3 Log CFU/g al día 56
	0	Recuento de carga fúngica	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	195 isolates	195 aislados al día 60
	0.5	Recuento de carga fúngica	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	195 isolates	28 aislados al día 60
	1	Recuento de carga fúngica	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	195 isolates	21 aislados al día 60
Abdullah et al. (2017)	1.5	Recuento de carga fúngica	Fruta de mango fresco	Kala Chunsa	195 isolates	4 aislados al día 60
	0	Recuento total de bacterias viables	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1.8x10 ⁵ CFU/mL	>1x10 ⁵ CFU/mL al día 14
	0.25	Recuento total de bacterias viables	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1.8x10 ⁵ CFU/mL	>1x10 ⁵ CFU/mL al día 21
	0.5	Recuento total de bacterias viables	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1.8x10 ⁵ CFU/mL	>1x10 ⁵ CFU/mL al día 21
Abdullah et al. (2017)	1.25	Recuento total de bacterias viables	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1.8x10 ⁵ CFU/mL	No detectable al día 21
	0	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1x10 ⁴ CFU/mL	>1x10 ⁴ CFU/mL al día 14
	0.25	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1x10 ⁴ CFU/mL	No detectable al día 21
	0.5	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1x10 ⁴ CFU/mL	<1x10 ⁴ CFU/mL al día 21
Ei-samahy et al. (2000)	1.25	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Chaunsa	1x10 ⁴ CFU/mL	No detectado desde el día 1
	0	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	4.8 Log CFU/mL al día 30
	0.5	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	4.8 Log CFU/g al día 60
	0.75	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	4.6 Log CFU/mL al día 60
	1	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	3.4 Log CFU/mL al día 60

EI-samahy et al. (2000)	1.5	Recuento total de bacterias	Fruta de mango fresco	Zebda	3.7 LogCFU/g	3.2 Log CFU/mL al día 60
	0	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 LogCFU/g	4.4 Log CFU/mL al día 30
	0.5	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 LogCFU/g	3.8 Log CFU/g al día 60
	0.75	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 LogCFU/g	3.6 Log CFU/mL al día 60
	1	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 LogCFU/g	2.4 Log CFU/mL al día 60
EI-samahy et al. (2000)	1.5	Recuento total de levaduras	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 LogCFU/g	2.5 Log CFU/mL al día 60
	0	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	2.3 LogCFU/g	4.2 Log CFU/mL al día 30
	0.5	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	2.3 LogCFU/g	3.6 Log CFU/g al día 60
	0.75	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	2.2 LogCFU/g	3.2 Log CFU/mL al día 60
	1	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	2 LogCFU/g	2.7 Log CFU/mL al día 60
	1.5	Recuento total de hongos	Fruta de mango fresco	Zebda	1.9 LogCFU/g	2.4 Log CFU/mL al día 60

La actividad microbicida de la irradiación gamma se ha correlacionado positivamente con la vida de anaquel del mango. Jabin et al. (2023b) evaluaron la actividad antimicrobiana de la irradiación gamma a dosis de 0.5, 1.0, 1.5 y 2.0 kGy. El uso de la irradiación gamma mejoró la textura y la firmeza, al tiempo que redujo el crecimiento microbiano de 6.8×10^5 UFC/mL a 2.1×10^2 y 1.4×10^2 UFC/mL utilizando 1.5 y 2.0 kGy, respectivamente. Curiosamente, en el grupo de control, el recuento total de bacterias aumentó con el tiempo, pasando de 6.8×10^5 UFC/mL en la semana 1 a 7.9×10^8 UFC/mL durante la semana 2. Por el contrario, el mango irradiados con 1,5 kGy mostraron resultados de $2,1 \times 10^2$ UFC/mL en la semana 1 y $3,7 \times 10^2$ UFC/mL durante la semana 2. Estos resultados sugieren que las bacterias supervivientes en el mango irradiados tienen una tasa de crecimiento limitada durante la vida de anaquel del mango.

Discusión y oportunidades

Como resultado de la revisión sistemática, se identificaron lagunas específicas en los datos presentados en estos estudios analizados, lo que podría dar lugar a nuevas oportunidades de investigación. Entre los estudios, la actividad antibacteriana y antifúngica de la irradiación gamma en el mango y los productos derivados del mango se ha evaluado comúnmente utilizando la población microbiana natural, que generalmente está presente en bajas concentraciones y es difícil de identificar específicamente, así como los respectivos niveles presentes en la superficie del mango y en los productos derivados del mango, que pueden variar considerablemente. Al carecer de control sobre la carga microbiana inicial y, por el contrario, ante las concentraciones muy bajas de bacterias de origen natural en la superficie del mango o en los productos, resulta difícil estimar con precisión la capacidad real de reducción de cualquier medida antimicrobiana que se esté evaluando.

Otra cuestión relevante identificada en la información publicada es la falta de especificaciones precisas sobre el tamaño de la muestra, que no se proporcionaron de manera consistente en los estudios considerados. Por ejemplo, El-Samahy et al. (2000) informaron de un tamaño de muestra de 5 mangos para el análisis microbiológico; sin embargo, no se informó del tamaño de la muestra para el proceso de irradiación. Por otro lado, Abdullah et al. (2017) indicaron que las muestras de mango se dividieron en dos grupos, denominados experimental y de control. Aun así, no se describió el tamaño real de la muestra de cada grupo ni el tamaño de la muestra utilizada para el análisis microbiano. Conocer el alcance de la investigación realizada nos permite establecer una base sólida para futuros experimentos e investigaciones en profundidad, ampliando así nuestro conocimiento sobre el mismo tema.

En lo que respecta a los microorganismos, ninguno de los manuscritos aquí analizados, según los criterios establecidos, ha centrado su investigación en las bacterias patógenas transmitidas por los alimentos. Por lo tanto, sería conveniente realizar estudios centrados en patógenos específicos, como *Salmonella*, *Listeria monocytogenes*, *Staphylococcus aureus* y cepas patógenas de *Escherichia coli*, que se encuentran entre los principales patógenos transmitidos a través de los alimentos, asegurando el uso de bacterias patógenas reales. En relación con este tema, se han realizado varios estudios utilizando medios de cultivo como el agar MacConkey para investigar la presencia de bacterias entéricas, incluyendo coliformes, *E. coli* y *Salmonella*. Sin embargo, los resultados obtenidos a partir de este enfoque metodológico siguen siendo presuntivos y podrían diferir de aquellos obtenidos al utilizar concentraciones conocidas de patógenos específicos añadidos.

Para evaluar más a fondo la actividad antimicrobiana de la irradiación gamma, existen algunos estudios que utilizan rayos X y que podrían servir para sentar las bases de la experimentación, como el de Mahmoud (2010), quien evaluó la aplicación de irradiación con rayos X (0.1, 0.5, 0.75, 1.0 y 1.5 kGy) contra *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* y *Shigella flexneri* en tomates Roma, logrando reducciones totales de *E. coli* O157:H7 a 1 kGy, *Listeria monocytogenes*, *Shigella flexneri* y *Salmonella enterica* a una dosis de 1.5 kGy. Particularmente en frutos enteros de mango, Mahmoud et al. (2015) evaluaron la aplicación de irradiación con rayos X contra *E. coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Shigella flexneri* y *Salmonella* en frutos enteros inoculados; con una dosis de 0.1 kGy, se lograron reducciones de 2.2, 0.8, 1.9 y 3 Log UFC/cm², respectivamente. A 0.5 kGy, se lograron 2.9, 1.8, 2.1 y 5.2 log CFU/cm², y a 1.0 kGy se lograron reducciones de 4.8, 3.4, 4.0 y 5.7 Log UFC/cm² para *E. coli* O157:H7, así como niveles indetectables de *Listeria monocytogenes*, *Shigella flexneri* y *Salmonella* a 1.5 kGy en la superficie del mango inoculados.

A raíz de esta revisión sistemática, el uso de la irradiación gamma en dosis bajas podría constituir una opción segura para la descontaminación de frutas como el mango, gracias a su actividad insecticida y antifúngica, que retrasa el proceso de maduración, favorece la firmeza de los frutos y prolonga la vida de anaquel (Horton, 1976; Mahto y Das, 2013). No obstante, para resumir en relación con los microorganismos que se evaluarán en futuros estudios, es esencial considerar el diseño de estrategias metodológicas centradas en muestras inoculadas artificialmente, a fin de conocer el agente microbiano específico y su respectiva concentración en el mango antes de la aplicación de la irradiación gamma, indicando el total de frutas incluidas en el estudio, el número de frutas por grupo de tratamientos, el tamaño de la muestra para el análisis microbiológico, las réplicas, las repeticiones, así como el diseño estadístico de los experimentos realizados.

Conclusión

En conclusión, basándose en el conocimiento científico, el uso de la irradiación gamma para la descontaminación del mango surge como una estrategia viable debido a su actividad antimicrobiana contra agentes bacterianos y fúngicos, lo que también prolonga la vida de anaquel hasta 60 días al tiempo que preserva las propiedades nutricionales y sensoriales del mango y los productos derivados del mango. No obstante, es necesario realizar más estudios centrados en evaluar la irradiación gamma contra células vegetativas y comunidades microbianas de patógenos específicos transmitidos por los alimentos en escenarios y variables experimentales y reales controlados, a fin de evaluar la reducción real de la carga patógena y la supervivencia durante la vida de anaquel del mango. Además, es esencial ampliar la investigación a otros cultivares y variedades de mango, garantizando así la eficacia y la fiabilidad del uso de la irradiación gamma en este importante producto alimenticio, al tiempo que se proporciona mango seguros a los consumidores

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 (*Evaluación del potencial microbiano y de la calidad sensorial y nutricional del mango tras la irradiación con rayos gamma.*) Progress in Nutrition, 9(4):477-483, DOI:10.23751/pn.v19i4.5200

Alegbeleye O., Odeyemi O.A., Strateva M., Stratev D. (2022). Microbial spoilage of vegetables, fruits, and cereals (*Deterioro microbiano de verduras, frutas y cereales*). Applied Food Research, 2: 100122, <https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100122>

Alloun K., Benchabane O., Hazzit M., Mouhouche F., Baaliouamer A., Chikhouné A., Benchabane A. (2019). Effect of gamma-ray irradiation on the chemical composition, antioxidant, antimicrobial, and insecticidal activities of *Thymus pallescens* essential oil (*Efecto de la irradiación con rayos gamma sobre la composición química y las propiedades antioxidantes, antimicrobianas e insecticidas del aceite esencial de Thymus pallescens*). Acta Chromatographica 31 (1): 57-62, <https://doi.org/10.1556/1326.2017.00346>

Barth M., Hankinson T.R., Zhuang H., Breidt H. (2009). Microbiological Spoilage of foods and vegetables (*Deterioro microbiológico de los alimentos y las hortalizas*). Compendium of the Microbiological Spoilage of Foods and Beverages, pages 135-174. ISBN 978-1-4419-0826-1

Bhat S.A., Singla M., Goraya R.K., Kumar Y., Jan K., Bashir K. (2024). Dose-dependent effects of gamma irradiation on microbiological, antioxidant, and functional properties of buckwheat, cowpea, oat, and Brown rice flour (*Efectos dependientes de la dosis de la irradiación gamma sobre las propiedades microbiológicas, antioxidantes y funcionales de las harinas de trigo sarraceno, caupí, avena y arroz integral*). Journal of Food Processing and Preservation, 2024, 1196594, <https://doi.org/10.1155/2024/1196594>

Begum T., Follett PA., Hossain F., Christopher L., Salmieri S., Lacroix M. (2020) Microbicidal effectiveness of irradiation from Gamma and X-ray sources at different dose rates against the foodborne illness pathogens *Escherichia coli*, *Salmonella* Typhimurium, and *Listeria monocytogenes* in rice (*Eficacia microbicida de la irradiación procedente de fuentes de rayos gamma y rayos X a diferentes tasas de dosis contra los patógenos causantes de enfermedades transmitidas por los alimentos Escherichia coli, Salmonella Typhimurium y Listeria monocytogenes en el arroz*). LWT-Food Science and Technology 132: 109841, <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109841>

Bustos M.E., Enkerlin W., Reyes J., Toledo J. (2004). Irradiation of mangoes as a postharvest quarantine treatment for fruit flies (*La irradiación del mango como tratamiento cuarentenario de poscosecha contra la mosca de la fruta*). Journal of Economic Entomology, 97, 2: 286-292.

Chatha Z.A., Usman M., Faiyaz F., Raza A. (2019). Microbial study of mangoes and its control by non-thermal treatments (*Estudio microbiano del mango y su control*

mediante tratamientos no térmicos). Pakistan Journal of Phytopathology, 31(02):207-210, [DOI: 10.33866/phytopathol.. 031.02.0507](https://doi.org/10.33866/phytopathol..031.02.0507)

Chatha Z.A., Usman M., Faiyaz F., Raza A. (2019). Effect of gamma irradiation on fungal growth of mango (*Mangifera indica*) to enhance the shelf life (*Efecto de la irradiación gamma sobre el crecimiento fúngico del mango (Mangifera indica) para prolongar su vida de anaquel*). Pakistan Journal of Phytopathology, 31 (02): 217-220, DOI: 10.33866/phytopathol.. 031.02.0508

Cruz J.N., Soares C.A., Fabbri A.D.T., Cordenunsi B.R., Sabato S.F. (2012). Effect of quarantine treatments on the carbohydrate and organic acid content of mangoes (cv. Tommy Atkins) (*Efecto de los tratamientos de cuarentena sobre el contenido de carbohidratos y ácidos orgánicos en los mangos (variedad Tommy Atkins)*). Radiation Physics and Chemistry, 81: 1059-1063, <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2012.02.026>

El-Samahy S.K., Youssef B.M., Askar A.A., Swailam H.M.M. (2000). Microbiological and chemical properties of irradiated mango (*Propiedades microbiológicas y químicas del mango irradiado*). Journal of Food Safety, 20:139-156.

Erkmen O., Bozoglu F. (2016). Indicators of food spoilage. Food Microbiology: Principles into Practice, First Edition, Chapter 25, pages 407-412.

Gasu E.K., Appiah V., Gyamfi A.A., Nketsia-Tabiri J. (2012). Effects of irradiation and chemical preservatives on the microbiological quality of refrigerated fresh-cut mangoes (*Efectos de la irradiación y los conservantes químicos en la calidad microbiológica de los mangos frescos cortados y refrigerados*). European Journal of Food Research & Review 2(4): 101-110

Gómez-Simuta Y., Hernández E., Aceituno-Medina M., Liedo P., Escobar-López A., Montoya P., Bravo B., Hallman G.J., Bustos E., Toledo J. (2017). Tolerance of mango cv. Ataulfo to irradiation with Co-60 vs hydrothermal phytosanitary treatment (*Tolerancia de la variedad de mango «Ataulfo» a la irradiación con Co-60 frente al tratamiento fitosanitario hidrotérmico*). Radiation Physics and Chemistry, 139: 27-32, <http://dx.doi.org/10.1016/j.radphyschem.2017.05.015>

Gonçalves Santos A.M., Alves de Oliveira S.M., da Silva J.M., Terao D. (2010). Fusicoccum rot in mangoes submitted to low doses of gamma irradiation (*La pudrición causada por Fusicoccum en mangos sometidos a bajas dosis de irradiación gamma*). Pesq. Agropec. Bras., 45 (10): 1066-1072

Gyimah L.A., Amoatey H.M., Boatın R., Appiah V., Odai B.T. (2020). The impact of gamma irradiation and storage on the physicochemical properties of tomato fruits in Ghana (*El impacto de la irradiación gamma y el almacenamiento en las propiedades fisicoquímicas de los tomates en Ghana*). Food Quality and Safety, 4, 151-157, doi:10.1093/fqsafe/fyaa017

Hernández E., Aceituno-Medina M., Toledo J., Gómez-Simuta Y., Villarreal-Fuentes J., Carrasco M., Liedo P., Hallman G.J., Montoya P. (2018). Generic irradiation and hot water phytosanitary treatments for mango fruits cv. Ataulfo niño infested by *Anastrepha ludens* and *Anastrepha obliqua* (Diptera:Tephritidae) (*Tratamientos fitosanitarios genéricos mediante irradiación y agua caliente para frutos de mango de la variedad Ataulfo Niño infestados por Anastrepha ludens y Anastrepha obliqua (Diptera: Tephritidae)*). Journal of Economic Entomology, doi:10.1093/jee/toy198.

Horton GM. (1976) The effects of low-dose gamma-irradiation on the wholesomeness of mangoes (*Mangifera indica*) as determined by short-term feeding studies using rats (*Efectos de la irradiación gamma en dosis bajas sobre la salubridad de los mangos (Mangifera indica), según lo determinado en estudios de alimentación a corto plazo con ratas*).

Jabin T., Kamal S., Islam S., Razu M.H., Paul G.K., Karmaker P., Huda M., Rahman M., Moniruzzaman Md., Uddin S., Saleh A., Khan M., Zaman S. (2023a). Effect of gamma irradiation on chemical composition, antioxidant activity, antibacterial activity, shelf life, and cytotoxicity in the peels of two mango varieties grown in Bangladesh (*Efecto de la irradiación gamma sobre la composición química, la actividad antioxidante, la actividad antibacteriana, la vida útil y la citotoxicidad en las cáscaras de dos variedades de mango cultivadas en Bangladés*). Arabian Journal of Chemistry, 16, 104708, <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2023.104708>

Jabin T., Biswas S., Islam S., Sarker S., Aforze M., Paul G.K., Razu M.H., Moniruzzaman Md., Huda M., Rahman M., Kundu N.K., Kamal S., Karmakar P.,

Islam A., Saleh A., Khan M., Zaman S. (2023b). Effects of gamma-irradiation on microbial, and functional properties of Katimon mango peels: A combined biochemical and in silico studies (*Efectos de la irradiación gamma sobre las propiedades microbianas y funcionales de las cáscaras de mango Katimon: un estudio combinado bioquímico e in silico*). Heliyon, 9: e21556, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e21556>

Jeong R.D., Chu E-H., Lee G.W., Chho C., Park h.J. (2016) Inhibitory effect of gamma irradiation and its application for control of postharvest green mold decay of Satsuma mandarins (*Efecto inhibidor de la irradiación gamma y su aplicación para el control de la pudrición por moho verde poscosecha en las mandarinas Satsuma*). International Journal of Food Microbiology, 234, 1-8, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.06.026>

Kondapalli N., Sadineni V., Variyar P.S., Sharma A., Obulam V.S.R. (2014). Impact of gamma-irradiation on antioxidant capacity of mango (*Mangifera indica* L.) wine from eight Indian cultivars and the protection of Vino de mango against DNA damage caused by irradiation (*Efecto de la irradiación gamma sobre la capacidad antioxidante del vino de mango (Mangifera indica L.) procedente de ocho variedades indias y la protección del vino de mango frente al daño en el ADN causado por la irradiación*). Process Biochemistry, 49:1819-1830, <http://dx.doi.org/10.1016/j.procbio.2014.07.015>

Mahmoud B.S. (2010). The effects of X-ray radiation on *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica*, and *Shigella Flexneri* inoculated on whole Roma tomatoes (Los efectos de la radiación de rayos X sobre *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* y *Shigella flexneri* inoculadas en tomates Roma enteros). Food Microbiology, 27(8):1057-63, doi:10.1016/j.fm.2010.07.009

Mahmoud B.S.M., Nannapaneni R., Chang S., Coker R. (2015). Effect of X-ray treatments on *Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Shigella flexneri* *Salmonella enterica* and inherent microbiota on whole mangoes (*Efecto de los tratamientos con rayos X sobre Escherichia coli* O157:H7, *Listeria monocytogenes*, *Shigella flexneri* y *Salmonella enterica*, así como sobre la microbiota natural del mango entero). Letters in Applied Microbiology, doi:10.1111/lam.12518

Mahto R., Das M. (2013) Effect of gamma irradiation on the physico-chemical and visual properties of mango (*Mangifera indica* L.) cv. Dusheri and Fazli stored at 20°C (*Efecto de la irradiación gamma sobre las propiedades fisicoquímicas y visuales del mango (Mangifera indica L.) de las variedades Dusheri y Fazli almacenado a 20 °C*). Postharvest Biology and Technology 86: 447-455, <https://dx.doi.org/10.1016/j.postharvbio.2013.07.018>

Naresh K., Varakumar S., Variyar P.S., Sharma A., Vijara O., Reddy S. (2015a). Effect of gamma-irradiation on physico-chemical and microbiological properties of mango (*Mangifera indica* L.) juice from eight Indian cultivars (*Efecto de la irradiación gamma sobre las propiedades fisicoquímicas y microbiológicas del jugo de mango*

(*Mangifera indica* L.) procedente de ocho variedades indias). Food Bioscience, 12:1-9, <http://dx.doi.org/10.1016/j.fbio.2015.06.003>

Naresh K., Varakumar S., Variyar P.S., Sharma A., Vijaya O., Reddy S. (2015b). Enhancing antioxidant activity, antimicrobial and sensory quality of mango (*Mangifera indica* L.) juice by gamma-irradiation and its in vitro radioprotective potential (*Mejora de la actividad antioxidante, las propiedades antimicrobianas y la calidad sensorial del jugo de mango (Mangifera indica L.) mediante irradiación gamma y su potencial radioprotector in vitro*). Journal of Food Science and Technology 52 (7): 4054-4065, <https://doi.org/10.1007/s13197-014-1502-8>

Rahman M., Islam MA., Das KC., Salimullah Md., Mollah MZI., Khan RA. (2021) Effect of gamma irradiation in microbial load, physico-chemical and sensory characteristics of common spices for storage (*Efecto de la irradiación gamma en la carga microbiana y las características fisicoquímicas y sensoriales de las especias comunes destinadas al almacenamiento*). Journal of Food Science Technology 58 (9): 3579-3588, <https://doi.org/10.1007/s13197-021-05087-4>

Srimartpirom M., Burikam I., Limohpasmanee W., Kongratarporn T., Thannarin T., Bunsiri A., Follett P.A. (2017). Low-dose irradiation with modified atmosphere packaging for mando against the oriental fruit fly (Diptera:Tephritidae) (*Irradiación a baja dosis combinada con envasado en atmósfera modificada para el mando contra la mosca oriental de la fruta (Diptera: Tephritidae)*). Journal of Economic Entomology, doi:10.1093/jee/tox335

Santos GH., Silva EB., Silva BL., Sena K., Lima C. (2011) Influence of gamma irradiation on the antimicrobial activity of crude extracts of *Anacardium occidentale* rich in tannins (*Influencia de la irradiación gamma en la actividad antimicrobiana de extractos brutos de Anacardium occidentale ricos en taninos*). Brazilian Journal of Pharmacology, 21(3): 444-449, <https://doi.org/10.1590/S0102-695X2011005000045>

Wang X.B., Wang C.N., Zhang Y.C., Liu T.T., Lv J.P., Shen X., Guo M.R. (2018). Effects of gamma irradiation on microbial, physicochemical, and structural properties of whey protein model system (*Efectos de la irradiación gamma sobre las propiedades microbianas, fisicoquímicas y estructurales de un sistema modelo de proteína de suero*). Journal of Dairy Science 101:4879-4890, <https://doi.org/10.3168/jds.2017-14085>

Zoellner C., Venegas F., Churey J.J., Dávila-Aviña J., Grohn Y.T., García S., Heredia N., Worobo, R.W. (2016). Microbial dynamics of indicator microorganisms on fresh tomatoes in the supply chain. From Mexico to the USA (*Dinámica microbiana de los microorganismos indicadores en los tomates frescos a lo largo de la cadena de suministro. De México a EE. UU.*). International Journal of Food Microbiology, 238: 202-207, <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.09.013>