

ARTÍCULO ORIGINAL

Ozono industrial para control de antracnosis y maduración en mango Tommy Atkins de exportación

Industrial ozone for anthracnose control and ripening in tomymy Atkins mango for export

Alberto Gómez Abreu^{1*}, Jesús Suárez Hernández², Antonio Román García³

¹Servicios Técnicos Especializados SERVTES, Morón, Cuba.

²Estación Experimental Indio Hatuey (Universidad de Matanzas), Perico, Matanzas, Cuba.

³ROLESYSTEMS S.L., Sabadell, Cataluña, España.

*Autor para correspondencia: Alberto Gómez Abreu, e-mail: servtes.sa@gmail.com

Resumen

La antracnosis, causada por *Colletotrichum gloeosporioides*, representa un desafío crucial en la postcosecha del mango debido a las cuantiosas pérdidas que genera. Este estudio evaluó la eficacia del agua ozonizada para mitigar esta enfermedad y retrasar la maduración en mango 'Tommy Atkins' en estado preclimaterico. Se utilizó un diseño experimental con dos grupos: mangos lavados con agua sin ozono (control) y lavados con agua ozonizada (2-5 ppm) durante 5 minutos (tratamiento). La severidad de la antracnosis se cuantificó en una escala de 0 a 5 a los 5, 10 y 15 días, y el tiempo de maduración se evaluó mediante color, firmeza y sólidos solubles (^oBrix), con un panel de expertos validado. Los resultados mostraron que el tratamiento con ozono redujo significativamente la severidad de la antracnosis, con diferencias altamente significativas a los 10 días ($p = 1.28E-06$) y extremadamente significativas a los 15 días ($p = 1.33E-09$). Además, el ozono retrasó la maduración, lo que aumentó el tiempo total hasta la madurez óptima de 14.33 ± 0.90 días en el control a 17.80 ± 0.68 días en los frutos tratados. Se concluyó que el lavado con agua ozonizada es una estrategia efectiva para controlar la antracnosis y prolongar significativamente la vida útil del mango 'Tommy Atkins' para exportación, lo que ofrece una alternativa eficaz y de bajo impacto ambiental.

Palabras clave: tratamiento con ozono, postcosecha, sólidos solubles, vidas útil

Abstract

Anthracnose, caused by *Colletotrichum gloeosporioides*, represents a crucial challenge in the post-harvest process of mango due to the significant losses it generates. This study evaluated the effectiveness of ozonated water in mitigating this disease and delaying ripening in preclimacteric 'Tommy Atkins' mangoes. An experimental design was used with two groups: mangoes washed with ozone-free water (control) and those washed with ozonated water (2-5 ppm) for 5 minutes (treatment). Anthracnose severity was quantified on a scale of 0 to 5 at 5, 10, and 15 days, and ripening time was assessed by color, firmness, and soluble solids (^oBrix), with a validated panel of experts. The results showed that ozone treatment significantly reduced anthracnose severity, with highly significant differences at 10 days ($p = 1.28E-06$) and extremely significant differences at 15 days ($p = 1.33E-09$). Furthermore, ozone delayed ripening, increasing the total time to optimal ripeness from 14.33 ± 0.90 days in the control fruit to 17.80 ± 0.68 days in the treated fruit. It was concluded that washing with ozonated water is an effective strategy for controlling anthracnose and significantly extending the shelf life of 'Tommy Atkins' mangoes for export, offering an efficient and low-environmental impact alternative.

Keywords: ozone treatment, postharvest, soluble solids, shelf life

Recibido: 20 de septiembre de 2025

Aceptado: 27 de octubre de 2025

Conflicto de intereses: los autores declaran no poseer conflicto de intereses

Contribuciones de los autores: Conceptualización, Metodología, Investigación, Administración del proyecto, Análisis Formal, Escritura - Borrador original: Alberto Gómez Abreu. Conceptualización, Validación, Análisis formal, Escritura - Revisión y edición, Supervisión: Jesús Suárez Hernández. Adquisición de Financiamiento, Recursos, Validación: Antonio Román García.



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/>



Introducción

El mango (*Mangifera indica* L.) es una de las frutas tropicales más importantes a nivel global. Esta especie es apreciada por su valor nutricional y sensorial (FAO, 2023). Sin embargo, su producción y comercialización enfrentan limitaciones severas debido a enfermedades fúngicas, entre las cuales destaca la antracnosis. Esta enfermedad es causada principalmente por el hongo *Colletotrichum gloeosporioides* (Freeman et al., 1998; Dufour et al., 2023).

La antracnosis representa el principal desafío fitosanitario para el cultivo de mango. La enfermedad provoca pérdidas devastadoras que pueden alcanzar entre el 30% y el 50% en campo, como consecuencia de la necrosis de flores y frutos jóvenes (Kankam et al., 2022). Durante la etapa postcosecha, las pérdidas pueden ascender hasta un 60% debido a la pudrición que se desarrolla durante el almacenamiento y transporte (Sivakumar et al., 2011). El problema se intensifica en condiciones de clima tropical húmedo, que favorece la esporulación del patógeno. Además, *C. gloeosporioides* ha desarrollado resistencia a fungicidas comunes como los benzimidazoles y las estrobilurinas (Freeman et al., 1998).

El acceso a mercados de alto valor, como Estados Unidos y la Unión Europea, requiere la aplicación obligatoria de tratamientos cuarentenarios. Estos tratamientos, que pueden ser hidrotérmicos o por irradiación, garantizan la eliminación del hongo (EPA, 2021). No obstante, estos procedimientos incrementan los costos de exportación entre un 15% y 20% (González-Aguilar et al., 2020), lo que reduce la competitividad del producto. Esta situación ha motivado la búsqueda de alternativas de control que sean eficaces, seguras y económicas para la gestión postcosecha (Danh et al., 2021).

El ozono industrial se ha posicionado como una tecnología de desinfección prometedora para la postcosecha del mango. Esta alternativa destaca por su eficacia y bajo impacto ambiental (de Souza et al., 2018; Pandiselvam et al., 2019). Su aplicación en estado gaseoso o disuelto en agua (agua ozonizada), ha sido estudiada para el control de patógenos en diversos frutos, incluido el mango (Sivakumar et al., 2011; Bambalele et al., 2021). El mecanismo de acción del ozono consiste en oxidar componentes esenciales de las células fúngicas, lo que conduce a su inactivación. Adicionalmente, este tratamiento puede influir en la fisiología del fruto y retardar sus procesos de maduración.

El objetivo de este trabajo fue evaluar la eficacia del agua ozonizada para mitigar la antracnosis postcosecha en mango 'Tommy Atkins' en estado preclimático. Asimismo, se estudió el efecto de este tratamiento sobre el tiempo de maduración del fruto. Esta estrategia busca favorecer la conservación del mango para exportación sin depender exclusivamente del almacenamiento en frío.

Materiales y Métodos

Diseño del experimento

Los experimentos se realizaron en el Departamento de Ozono-Vida de la Empresa de Servicios Técnicos Especializados, SERVITES, ubicada en Morón, provincia de Ciego de Ávila. Se utilizó un generador de ozono modelo 8G, fabricado por la empresa española ROLESYSTEMS S.L. Este equipo incorpora un mecanismo de disolución de ozono en agua que opera mediante el método de piedra porosa.

El agua potable se depositó en una vasija de plástico con una capacidad de 12 litros. Se aplicó ozono al agua hasta alcanzar una concentración entre 2 y 5 ppm. Esta concentración se midió con un medidor de ozono disuelto en agua modelo CRTL.JUM.SLPV1, fabricado por la empresa española ZonoSistem S.L., el cual posee una pantalla digital, un mecanismo de sonda, y salidas a relé y de 4-20 mA.

La variedad de mango seleccionada para el estudio fue Tommy Atkins. Esta variedad es una de las más populares y de mayor disponibilidad en el mercado mundial. Se caracteriza por una piel gruesa y colorida, que presenta una variación entre tonos rojos, verdes y amarillos, y por una pulpa fibrosa con un sabor dulce y suave.

Para la valoración de las características de los frutos según el proceso de maduración, se seleccionaron expertos con un coeficiente de competencia experta (Kc) adecuado. Este coeficiente se basó en criterios clave como la formación académica y la experiencia en áreas de fitopatología, postcosecha, biotecnología, química de alimentos y agronomía. También se consideró su experiencia en investigación aplicada para el tratamiento de enfermedades postcosecha, el uso de tecnologías innovadoras en frutas tropicales, el conocimiento en estadística aplicada y análisis de datos científicos, así como su experiencia en la producción y exportación de mango, lo que asegura que las recomendaciones sean viables a nivel industrial.

Tratamientos

La concentración de ozono en agua seleccionada, que oscila entre 2 y 5 ppm, se basó en literatura científica previa. Este rango específico reporta una eficacia antifúngica sin causar daños fisiológicos en la fruta. Se ha demostrado que es óptimo para la desinfección de frutas tropicales de piel gruesa como el mango, ya que garantiza una penetración suficiente para inhibir patógenos como *Colletotrichum gloeosporioides*, a la vez que preserva la calidad del fruto (Pandiselvam et al., 2019).

Se seleccionó al azar una muestra de 30 mangos de la variedad Tommy Atkins. Todos los frutos se encontraban en estado preclimático, es decir, verdes. La muestra presentó una homogeneidad aparente en cuanto a tamaño y peso.

Para el grupo 1 (control), se lavaron 15 mangos con agua sin ozono durante cinco minutos. Se aplicó una limpieza mecánica con un cepillo suave que eliminó la suciedad y los patógenos superficiales, entre los cuales *C. gloeosporioides* fue el más generalizado. Luego los mangos se secaron al ambiente; en cambio, para el grupo experimental, se lavaron otros 15 mangos mediante el mismo procedimiento y tiempo, pero con agua ozonizada a una concentración de 2 a 5 ppm.

Evaluaciones

1. Reducción de antracnosis:

- Parámetro: Evaluación de síntomas de antracnosis a los 5, 10 y 15 días post-tratamiento.
- Método: Clasificación de severidad en una escala (Ley: 0 = sin daño, 5 = daño severo).

Se evaluó la severidad de la antracnosis en tres momentos distintos después de la aplicación de los tratamientos. La cuantificación del daño se realizó con una escala predefinida que varía desde la ausencia de síntomas hasta un daño severo. Esta metodología permitió monitorear la progresión de la enfermedad a lo largo del tiempo.

2. Tiempo de maduración:

- Parámetro: Número de días hasta que el mango alcanza madurez óptima.
- Método: Evaluación de color, firmeza y contenido de sólidos solubles (°Brix).

El seguimiento del tiempo de maduración del mango se realizó sin almacenamiento en frío. La observación fue diaria durante 15 días, hasta que las muestras alcanzaron su madurez óptima. Evaluadores validados realizaron las valoraciones cada día a la misma hora, con base en criterios de color y firmeza, que son cualitativos, y en la medición de sólidos solubles (°Brix), que es un parámetro cuantitativo.

3. Evaluación de los expertos:

La selección de los evaluadores se realizó mediante un método cuantitativo para determinar su idoneidad. Este método se basó en el cálculo del Coeficiente de competencia experta (Kc). Dos de los expertos presentaron un nivel de competencia alto ($Kc > 0.8$), mientras que los otros dos obtuvieron una competencia aceptable (Kc entre 0.5 y 0.8). Con estos resultados, se consideró que no era necesario incorporar a otro especialista para aumentar la exactitud del panel.

Para garantizar la idoneidad de los evaluadores, la selección se basó en un método cuantitativo que considera el Coeficiente de competencia experta (Kc). Este coeficiente pondera el nivel de conocimiento y la experiencia de cada candidato (Cabero-Almenara et al., 2021). Los criterios de

valoración incluyeron los años de experiencia en postcosecha de frutas tropicales, las publicaciones previas en el área y el conocimiento específico en la fisiopatología del mango. Este enfoque sistemático asegura la confiabilidad de las evaluaciones cualitativas realizadas.

Análisis Estadístico

El análisis estadístico se basó en el cálculo de promedios y de la desviación estándar de los datos. Para la comparación de los grupos control y de tratamiento, se aplicó una prueba T de Student para muestras independientes, la cual fue de tipo unilateral y asumió varianzas iguales. Se estableció un nivel de significación de $p < 0.05$ para todos los análisis.

Esta prueba estadística resultó la más adecuada para determinar si las diferencias observadas entre los dos grupos eran estadísticamente significativas. Específicamente, se evaluó la reducción en la incidencia de antracnosis y la variación en el tiempo de maduración. La elección de este método se sustenta en la literatura especializada (Kim, 2015).

Resultados y Discusión

La evaluación de los síntomas de antracnosis demostró una efectividad gradual del tratamiento con ozono. A los 5 días post-tratamiento, la prueba T de Student para muestras independientes no reveló diferencias significativas ($p = 0.0552$) entre el grupo control y el grupo tratado, como se observa en la figura 1. Este resultado sugiere que el efecto antifúngico del ozono requiere un período de acción más prolongado para manifestarse.

La tendencia inicial cambió de forma radical en las evaluaciones posteriores. A los 10 días post-tratamiento, la diferencia en la severidad de la antracnosis entre ambos grupos se volvió altamente significativa. El valor estadístico obtenido ($p = 1.28E-06$) confirma la eficacia del tratamiento en ese periodo.

A los quince días, la diferencia en la severidad de la antracnosis alcanzó un nivel extremadamente significativo ($p = 1.33E-09$). Estos resultados concuerdan con lo informado por Dhillon et al. (2020), quienes lograron una reducción del 70% en la incidencia de antracnosis en mango 'Dashchari' tratados con igual concentración de ozono.

Paralelamente, el tratamiento con ozono mostró un efecto notable sobre la maduración del fruto. En el día 15 de evaluación, se observó una clara diferencia entre ambos grupos, como se aprecia en la tabla 1. En el grupo control predominaba el color naranja y una firmeza reducida, lo cual es indicativo de una maduración avanzada. Por el contrario, los frutos tratados se mantuvieron verdes y con una consistencia firme.

Esta observación cualitativa recibió corroboración cuantitativa mediante el análisis de sólidos solubles (°Brix).

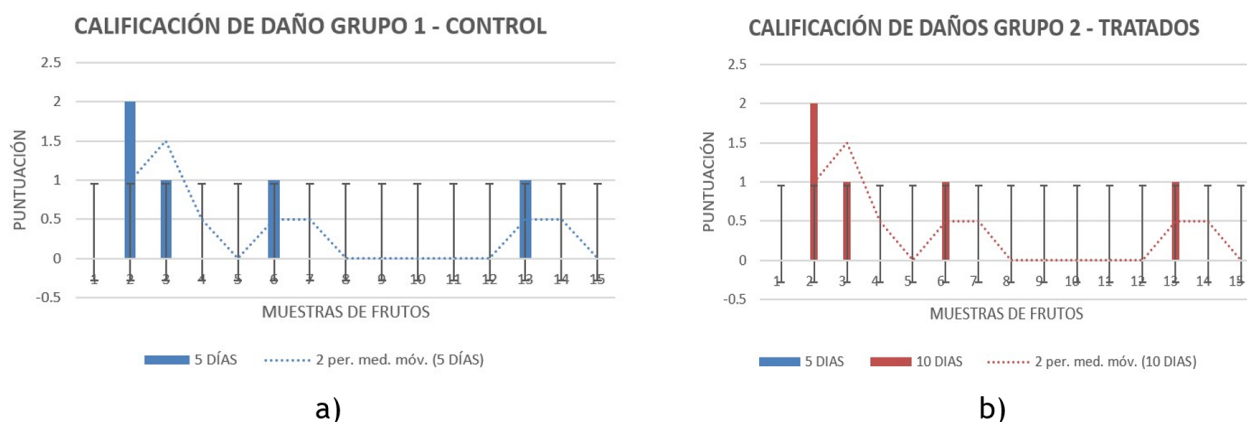


Figura 1. Calificación de los daños por antracnosis en los frutos. a) Grupo 1 Control, b) Grupo 2 Tratamiento con ozono.

Tabla 1. Color y firmeza de los frutos a los 15 días. a) Grupo 1 Control, b) Grupo 2 Tratamiento con ozono.

		a) Día 15	
Mango_id	Grupo	Color	Firmeza
1	Control	Naranja	Dureza no consistente más de 2/3 suave
2	Control	Naranja	Dureza no consistente más de 2/3 suave
3	Control	Naranja claro 1 parte naranja	Dureza media consistente 1 parte pequeña suave
4	Control	Naranja	Dureza no consistente más de 2/3 suave
5	Control	-	-
6	Control	Naranja	Dureza no consistente más de 2/3 suave
7	Control	Naranja	Dureza no consistente más de 2/3 suave
8	Control	-	-
9	Control	-	Dureza no consistente más de 2/3 suave
10	Control	Naranja claro 1 parte naranja	Dureza media consistente 1 parte pequeña suave
11	Control	Naranja claro 1 parte naranja	Dureza media consistente 1 parte pequeña suave
12	Control	Naranja	Dureza no consistente más de 2/3 suave
13	Control	-	-
14	Control	Naranja	Dureza no consistente más de 2/3 suave
15	Control	-	-
		b) Día 15	
Mango_id	Grupo	Color	Firmeza
16	Tratado	Verde	Dureza consistente
17	Tratado	Verde/2 partes pequeñas naranja claro	Dureza consistente
18	Tratado	Verde/2 partes pequeñas naranja claro	Dureza consistente
19	Tratado	Verde	Dureza consistente
20	Tratado	Verde/1 parte pequeña naranja claro	Dureza consistente
21	Tratado	Verde/1 parte pequeña naranja claro	Dureza consistente
22	Tratado	Verde/1 parte pequeña naranja claro	Dureza consistente
23	Tratado	Verde/1 parte pequeña naranja claro	Dureza consistente
24	Tratado	Verde	Dureza consistente
25	Tratado	Verde	Dureza consistente
26	Tratado	Verde	Dureza consistente
27	Tratado	Verde/1 parte pequeña naranja claro	Dureza consistente
28	Tratado	Verde/2 partes pequeñas naranja claro	Dureza consistente
29	Tratado	Verde	Dureza consistente
30	Tratado	Verde/2 partes pequeñas naranja claro	Dureza consistente

El grupo control alcanzó valores de 14.1 °Brix al día 15, un valor que se considera óptimo para la maduración. Sin embargo, el grupo tratado con ozono se mantuvo en aproximadamente 10.1 °Brix (Figura 2). Este resultado indica un retraso evidente en el proceso metabólico del fruto.

El análisis integrado del tiempo total de maduración (Figura 3) confirmó que el grupo tratado con ozono presentó un período significativamente mayor. Este grupo registró una duración de 17.80 ± 0.68 días, en comparación con los 14.33 ± 0.90 días del grupo control. La diferencia de 3,5 días, unida a la menor desviación estándar del grupo tratado, indicó que el ozono no solo prolonga la vida útil del mango, sino que lo hace de una manera consistente y predecible.

El retardo en la maduración se asoció directamente con la supresión de patógenos. Esta relación posiciona al ozono como una alternativa viable para mejorar la calidad fitosanitaria de la fruta. Además, su aplicación permite extender la vida de anaquel del mango que está destinado a la exportación. Esta

ventaja es particularmente valiosa en condiciones logísticas donde el uso de la cadena de frío es limitado.

Conclusiones

- El ozono mitiga de manera efectiva la antracnosis postcosecha en el mango Tommy Atkins, con diferencias estadísticamente significativas a partir del día 10 y extremadamente significativas en el día 15 de la evaluación.
- El tratamiento postcosecha con ozono aumenta significativamente el tiempo de maduración del mango Tommy Atkins, sin almacenamiento en frío (3,5 días adicionales, como promedio). La desviación estándar menor en el grupo tratado indica que la prolongación de la maduración es un efecto consistente.
- El ozono puede ser una herramienta clave en la postcosecha de mango para la exportación, al mejorar, tanto la vida útil como la calidad fitosanitaria del fruto.

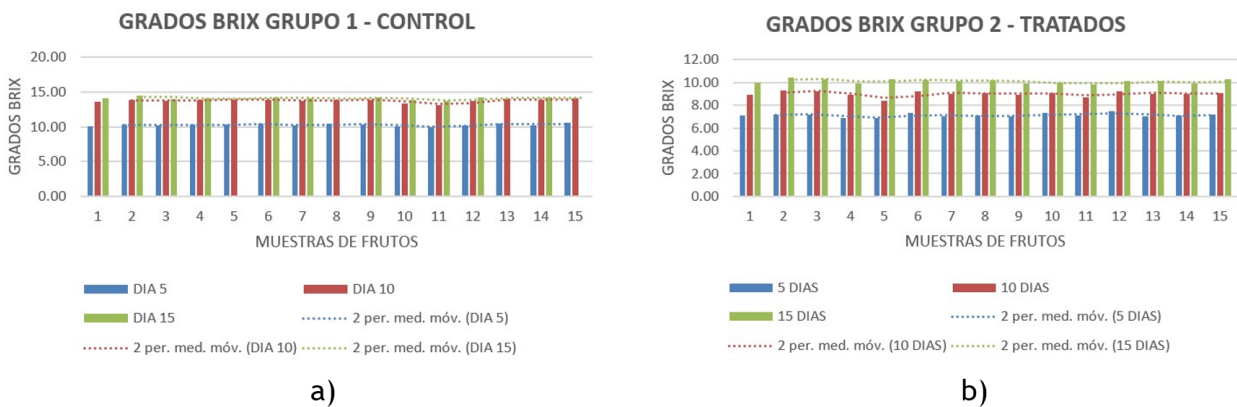


Figura 2. Grados Brix en el proceso de maduración de los frutos. Días 5, 10 y 15. a) Grupo 1 Control, b) Grupo 2 Tratamiento con ozono.

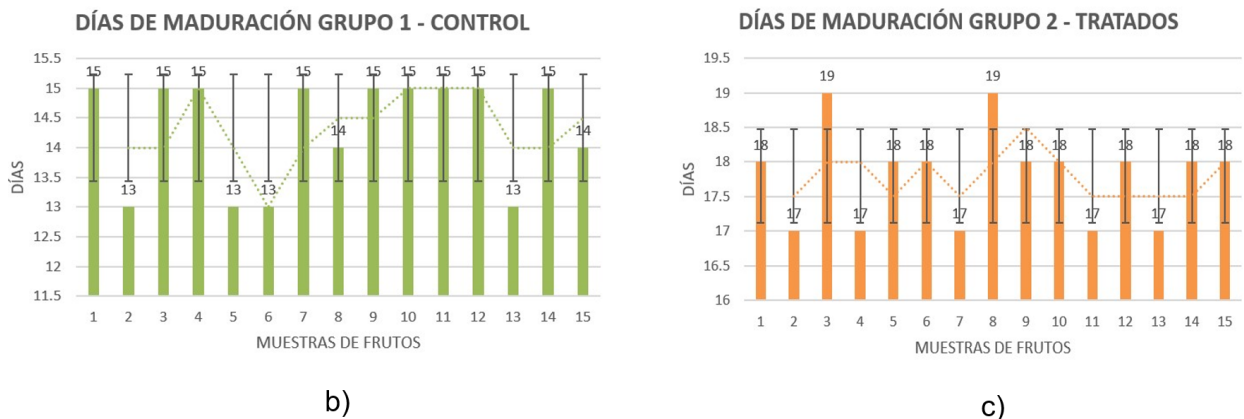


Figura 3. Días de maduración de los frutos. a) Grupo 1 Control, b) Grupo 2 Tratados con ozono.

Referencias

- Bambalele, N. L., Mditshwa, A., & Tesfay, S. Z. (2021). Recent Advances on Postharvest Technologies of Mango Fruit: A Review. *International Journal of Fruit Science*, 21(1), 596-611. <https://doi.org/10.1080/15538362.2021.1918690>
- Cabero-Almenara, J., Barroso-Osuna, J., Palacios-Rodríguez, A., & Llorente-Cejudo, C. (2021). La Competencia Digital Docente. Una Revisión Sistemática de Los Modelos de Evaluación. *Revista Española de Pedagogía*, 79(278), 129-151. <https://doi.org/10.22550/REP79-1-2021-09>
- Danh, L. T., Truong, P. T., Van, T. T., & Nguyen, H. T. (2021). Use of Essential Oils for the Control of Anthracnose Disease Caused by *Colletotrichum Acutatum* on Post-Harvest Mangoes of Cat Hoa Loc Variety. *Membranes*, 11(9), 719. <https://doi.org/10.3390/membranes11090719>
- de Souza, P. M., de A. Silva, J., & de O. Silva, M. T. (2018). Ozone Application in the Postharvest Treatment of Mangoes: A Review. *Food Science and Technology*, 38(Suppl. 1), 1-10. <https://doi.org/10.1590/fst.20018>
- Dhillon, M., Kumar, S., & Kaur, G. (2020). Efficacy of Aqueous Ozone in Controlling Postharvest Anthracnose and Stem-End Rot in Mangoes. *Scientia Horticulturae*, 265, 109432. <https://doi.org/10.1016/j.scienta.2020.109432>
- Dufour, A. K., Quartey, N., Osabutey, A. F., & Antwi-Agyakwa, A. K. (2023). Mango Anthracnose Disease: The Current Situation and Direction for Future Research. *Frontiers in Microbiology*, 14, 1168203. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1168203>
- EPA. (2021). *Quarantine Treatments Against Anthracnose*. Environment Protection Agency.
- FAO. (2023). *Principales Frutas Tropicales: Análisis del mercado 2022* (Food and Agriculture Organization of the United Nations). FAO.
- Freeman, S., Katan, T., & Shabi, E. (1998). Characterization of *Colletotrichum Gloeosporioides* Species Responsible for Anthracnose Diseases of Various Fruits. *Plant Disease*, 82(6), 596-605. <https://doi.org/10.1094/PDIS.1998.82.6.596>
- González-Aguilar, G. A., Ayala, J. E., Álvarez, E., & de la Rosa, L. A. (2020). Control of Anthracnose in Mango Fruit Using Combinations of Natural Antimicrobials and Heat Treatments. *Postharvest Biology and Technology*, 163, 111147. <https://doi.org/10.1016/j.postharvbio.2020.111147>
- Kankam, F., Larbi-Koranteng, S., Adomako, J., Kwodaga, J. K., Akpatsu, I. B., Danso, Y., & Sowley, E. N. K. (2022). Anthracnose Disease of Mango: Epidemiology, Impact and Management Options. En C. Belic (Ed.), *Current and Emerging Challenges in the Diseases of Trees* (pp. 1-15). IntechOpen. <https://doi.org/10.5772/intechopen.105934>
- Kim, T. K. (2015). T Test as a Parametric Statistic. *Korean Journal of Anesthesiology*, 68(6), 540-546. <https://doi.org/10.4097/kjae.2015.68.6.540>
- Pandiselvam, R., Subhashini, S., Priya, E. P. B., Kothakota, A., Ramesh, S. V., & Shahir, S. (2019). Ozone Based Food Preservation: A Promising Green Technology for Enhanced Food Safety. *Annual Review of Food Science and Technology*, 10, 105-129. <https://doi.org/10.1146/annurev-food-032818-121443>
- Sivakumar, D., Jiang, Y., & Yahia, E. M. (2011). Maintaining Mango (*Mangifera Indica* L.) Fruit Quality During the Export Chain. *Food Research International*, 44(5), 1254-1263. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.01.018>