

## **Aplicaciones de ozono como tecnología postcosecha en fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.): impacto en la calidad microbiológica del fruto**

C.M. Tinajero-Castro<sup>1</sup>, E.P. Trejo-Nava<sup>1</sup>, C.G.M. Barajas-Díaz<sup>2</sup> y  
C. Ozuna\*<sup>1</sup>

**1** Departamento de Alimentos División de Ciencias de la Vida, Campus Irapuato-Salamanca, Universidad de Guanajuato, Carretera Irapuato Silao km 9, 36500, Irapuato, Guanajuato, México. **2** Ozono Carbar's, Av. León 902, Valle del Campestre, 37150, León, Guanajuato, México. \*[cesar.ozuna@ugto.mx](mailto:cesar.ozuna@ugto.mx)

### **RESUMEN**

La fresa es una fruta de gran importancia a nivel global gracias a sus propiedades organolépticas y nutricionales. Sin embargo, su vida útil es corta, incluso en refrigeración, debido a su alta tasa de respiración y susceptibilidad al ataque de hongos. Este hecho dificulta el transporte de la fresa desde el sitio de producción/procesamiento hasta el consumidor. Se ha demostrado que el ozono es un gas con propiedades antimicrobianas que puede prolongar la vida útil de la fresa. El objetivo de esta revisión fue investigar los avances en la aplicación de ozono en fresas como tecnología postcosecha y su impacto en la calidad microbiológica del fruto. Se revisaron artículos publicados en los últimos diez años que investigan la aplicación de ozono para reducir la carga microbiológica en fresa. Los resultados de los trabajos revisados demuestran que el tratamiento postcosecha con ozono puede usarse para prolongar su vida útil y proteger a la fresa de la contaminación microbiana. Se recomienda realizar un estudio previo de las condiciones de tratamiento para cada producto potencialmente tratable con ozono, así como realizar un análisis integral del sistema de gestión del producto para lograr un mayor impacto y factibilidad de aplicación de esta tecnología postcosecha.

**Palabras clave:** Almacenamiento, berries, calidad postcosecha, tecnologías no térmicas.

### **ABSTRACT**

Strawberry is a fruit of great global importance thanks to its organoleptic and nutritional properties. However, its shelf life is short, even in refrigeration, due to its high respiration rate and susceptibility to fungal attack. This fact makes it difficult to transport strawberries from the production/processing site to the consumer. Ozone has been shown to be a gas with antimicrobial properties that can extend the shelf life of strawberries. The objective of this review was to investigate the advances in the application of ozone in strawberries as a postharvest technology and its impact on the microbiological quality of the fruit. Articles published in the last ten years that investigate the application of ozone to reduce the microbiological load in strawberries were reviewed. The results of the reviewed studies show that postharvest treatment of strawberries with ozone can be used to prolong their shelf life and protect them from microbial contamination. It is recommended to carry out a preliminary study of the treatment conditions for each product potentially treatable with ozone, as well as to carry out a comprehensive analysis of the product management system to achieve a greater impact and feasibility of applying this post-harvest technology.

**Keywords:** Storage, berries, postharvest quality, non-thermal technologies.

## INTRODUCCIÓN

La fresa (*Fragaria x ananassa* Duch.) es uno de los cultivos más apreciados y consumidos a nivel mundial (Contiagini *et al.*, 2020; Crowe *et al.*, 2012). Este hecho ha provocado su alta demanda en el mercado global (González-Razo *et al.*, 2019). La fresa es una fruta no climatérica, apreciada por sus propiedades sensoriales y su alto valor nutritivo. Esta fruta posee grandes beneficios para la salud humana debido a su alto contenido de antocianinas, compuestos fenólicos y vitamina C, los cuales están relacionados con su alta capacidad antioxidante (Aday *et al.*, 2014; Nayak *et al.*, 2020; Alexandre *et al.*, 2012; Giampieri *et al.*, 2012).

A pesar de todos sus beneficios, la fresa tiene como desventaja su corta vida postcosecha, relacionada con sus altas tasas metabólicas, su rápido ablandamiento y pérdida de humedad y color (Aday *et al.*, 2014; Nayak *et al.*, 2020; Crowe *et al.*, 2012). Además, la fresa es altamente susceptible a la infección por hongos, siendo la *Botrytis cinerea* el principal patógeno que afecta al fruto antes y después de la cosecha (Contiagini *et al.*, 2020). Sin embargo, también se ha demostrado que las especies *Mucor*, *Rhizopus*, *Collectotrichum* y *Phytophthora* son responsables de la pudrición postcosecha de este fruto (Contiagini *et al.*, 2018). La incidencia de hongos en la etapa postcosecha de la fresa depende de su grado de maduración, del ablandamiento de la baya y de la susceptibilidad a las lesiones epidérmicas causadas por el manejo postcosecha (Panou *et al.*, 2021). Con todo lo expuesto anteriormente, la industria agroalimentaria está en constante búsqueda de nuevas tecnologías postcosecha que permitan extender la vida útil de la fresa y preservar sus atributos de calidad (Contiagini *et al.*, 2020).

Por tal motivo, el objetivo de esta revisión bibliográfica es revisar los avances que se han tenido en los últimos años en las aplicaciones de ozono como tecnología postcosecha en fresa y su impacto en la calidad microbiológica del fruto. En el siguiente apartado del presente trabajo se revisan las tecnologías postcosecha convencionales comúnmente utilizadas con la fresa, tales como el uso de fungicidas, el almacenamiento en frío, el envasado en atmósfera modificada y atmósfera controlada, y se mencionan sus principales ventajas y desventajas. En apartados posteriores, se presenta el uso de ozono como una tecnología viable, segura e inocua para diversas aplicaciones relacionadas con la industria alimentaria, se explican los principios de inactivación de microorganismos a través de ozono, y se revisan las aplicaciones de esta tecnología postcosecha en fresa y su impacto en la calidad microbiológica del fruto. El trabajo cierra con un apartado de conclusiones y otro de referencias bibliográficas.

### **Tecnologías postcosecha convencionales para evitar la degradación de la fresa durante su almacenamiento**

El uso de fungicidas para prolongar la vida postcosecha en fresa ha sido ampliamente aplicado en la industria de alimentos. Actualmente, se ha demostrado que el uso de fungicidas en frutas y vegetales impacta de manera negativa en el medio ambiente y en la salud humana. Además, existen regulaciones nacionales e internacionales que establecen las concentraciones residuales de pesticidas en productos vegetales, tal es el caso de la fresa (Contiagini *et al.*, 2018, Romanazzi *et al.*, 2016).

Para evitar el uso de fungicidas como tratamiento postcosecha en fresas, el almacenamiento en frío representa una tecnología viable e inocua. El almacenamiento en condiciones de refrigeración reduce el deterioro de la calidad en fresa, ya que las reacciones químicas y bioquímicas y el crecimiento microbiano se ralentizan cuando se reduce la temperatura (Alexandre *et al.*, 2012). Para incrementar la vida útil de la fresa durante refrigeración, se ha empleado la combinación de esta tecnología con ciertos fungicidas (Crowe *et al.*, 2012). Sin embargo, las preocupaciones del consumidor sobre el

impacto de los alimentos en su salud han disminuido la demanda de frutas tratadas con fungicidas (Nayak *et al.*, 2020).

Dentro de las técnicas novedosas que ya han sido probadas para prolongar la vida útil de fresas destacan el envasado en atmósfera modificada y atmósfera controlada. Dentro de los principales gases empleados en estas tecnologías están el CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>, y O<sub>2</sub> (Giuggioli *et al.*, 2015; Aday *et al.*, 2014). El envasado en atmósfera modificada representa un método atractivo de conservación de fresas, ya que proporciona una vida útil prolongada con un deterioro mínimo o nulo del sabor, la textura o el valor nutricional del producto. El envasado en atmósfera modificada permite comercializar el producto en mercados internacionales y reducen los costos de distribución (Emblem, 2013; Concha-Meyer *et al.*, 2015). Sin embargo, estas tecnologías tienen como desventaja que requieren mantener el producto a bajas temperaturas durante toda la cadena de suministro, lo que eleva los costos de producción. Además, el uso de algunos gases que comúnmente son empleados en el envasado en atmósfera modificada puede producir cambios físicos y organolépticos negativos las fresas (Emblem, 2013).

Por otro lado, en el envasado en atmósferas controladas, el producto se coloca en un ambiente estanco, donde la atmósfera gaseosa se cambia y se controla de cerca durante el tiempo del almacenamiento. Se ha demostrado que esta tecnología reduce la frecuencia respiratoria en las fresas. Sin embargo, estos efectos sobre la frecuencia respiratoria podrían también afectar la calidad de esta fruta. Generalmente, los productos almacenados en atmósferas controladas tienen una vida útil más larga debido a que la tasa de los procesos metabólicos es más lenta. También se ha demostrado que existen efectos interactivos entre el CO<sub>2</sub> y el O<sub>2</sub>, lo que tiene un efecto en la prolongación de la vida de anaquel de la fresa (Nakata *et al.*, 2020; Thompson, 2018).

### **Ozono: conceptos básicos y aplicaciones en la industria de alimentos**

El ozono es una molécula de oxígeno triatómico (O<sub>3</sub>) que tiene una alta capacidad oxidativa y una potente actividad antimicrobiana contra numerosas especies de microorganismos (Panou *et al.*, 2021; Aday *et al.*, 2014). La molécula del ozono presenta una alta inestabilidad, principalmente en estado de líquido la cual se degrada rápidamente en oxígeno evitando dejar residuos tóxicos o subproductos indeseables en la superficie del producto (Contiagini *et al.*, 2018; Crowe *et al.*, 2012).

El ozono ha sido reconocido como una tecnología segura e inocua para diversas aplicaciones relacionadas con la industria alimentaria, las cuales incluyen la higiene y conservación de la superficie de los alimentos, el saneamiento de equipos y plantas de alimentos y la reutilización de aguas residuales (Alexandre *et al.*, 2011). En 1997, la Administración de Drogas y Alimentos (FDA, por sus siglas en inglés) de los Estados Unidos de América clasificó al ozono como una sustancia generalmente reconocida como segura (Generally Recognized As Safe: GRAS) para su uso como desinfectante en alimentos (Alexandre *et al.*, 2011; Giuggioli *et al.*, 2015). No obstante, fue en 2001 cuando la FDA dio su fallo definitivo y aprobó la normativa del uso de ozono como aditivo de alimentos durante su procesamiento o almacenamiento (Nayak *et al.*, 2020; Crowe *et al.*, 2012; Panou *et al.*, 2021).

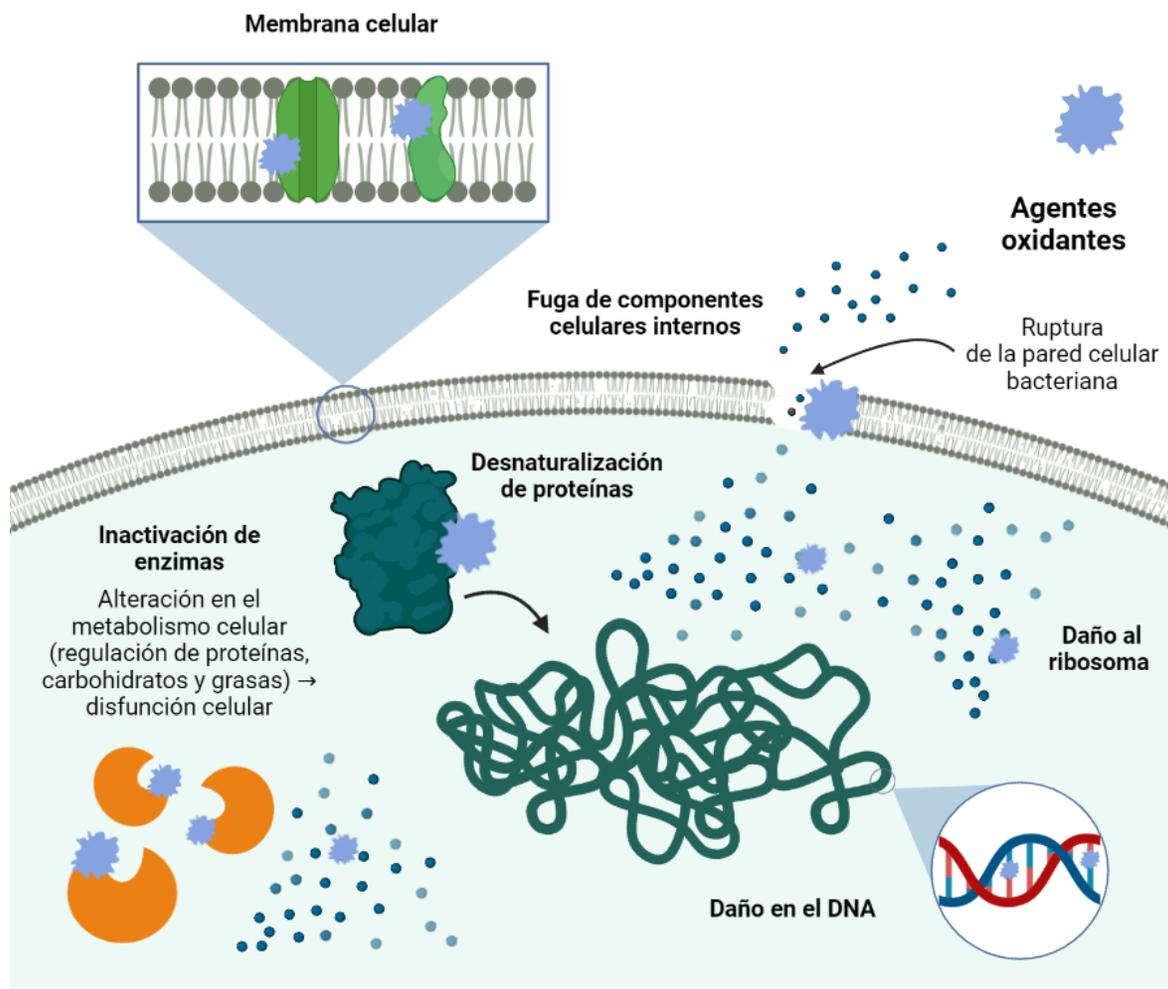
El ozono ha demostrado ser un desinfectante económico y ecológico con un amplio espectro de actividades antimicrobianas (incluidos virus, bacterias gram negativas y gram positivas, esporas y hongos), debido a su poderoso efecto oxidante (Horvitz y Cantalejo, 2014). Además de su poder antimicrobiano, el ozono representa una tecnología atractiva para el consumidor y respetuosa con el medio ambiente (Alexandre *et al.*, 2011).

El ozono también induce la síntesis de antioxidantes, creando estrés oxidativo en las frutas frescas. Las moléculas de ozono ralentizan la acumulación de radicales libres con una mayor actividad enzimática antioxidante (Aday *et al.*, 2014). Por lo tanto, el ozono es considerado un reemplazo potencial del cloro, ya que tiene un potencial oxidante 1.5 veces mayor que el del cloro y, por lo tanto, puede controlar un espectro más amplio de microorganismos sin dejar residuos nocivos (Nayak *et al.*, 2020; Zhu, 2018).

### **Principios de inactivación de microorganismos a través de ozono**

El ozono representa una buena alternativa para la desinfección de frutas y verduras frescas, ya que puede descomponer el etileno y destruir los microorganismos mediante la oxidación progresiva de las moléculas de fosfolípidos y proteínas, vitales para el funcionamiento de su membrana celular (Han *et al.*, 2017). El ozono inactiva las células como resultado del estrés oxidativo causado por especies reactivas de oxígeno (ROS) como OOH-, OH- y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> que son producidas por el ozono durante su descomposición (Nayak *et al.*, 2020).

De acuerdo con la Figura 1, el efecto del ozono sobre las células de los microorganismos provoca una estructura celular irregular debido a los efectos de oxidación del ozono y de las ROS, inducidas en las moléculas de lípidos y proteínas incrustadas en la membrana celular bacteriana. La producción de peróxidos de lípidos y la oxidación de los grupos sulfhidrilo de la proteína aumenta la fluidez y permeabilidad de la membrana celular del microorganismo. Este hecho provoca la reducción de la integridad celular y provoca la ruptura de la pared celular. En consecuencia, estos cambios estructurales permiten la fuga del contenido celular, la pérdida excesiva de nutrientes y finalmente, conduce a la muerte de los microorganismos (Han *et al.*, 2017; Nayak *et al.*, 2020).



**Figura 1.** Mecanismos de inactivación de microorganismos por efecto del ozono (Creado con BioRender.com; consultado el 29 de mayo de 2022).

### Aplicaciones de ozono como tecnología postcosecha en fresa y su impacto en la calidad microbiológica del fruto

El uso de ozono, tanto en forma gaseosa como acuosa, ha sido ampliamente estudiado como desinfectante potencial contra patógenos en berries como arándanos, frambuesas y fresas (Alexandre *et al.*, 2011; Contigiani *et al.*, 2018; Aday *et al.*, 2014; Bialka *et al.*, 2008; Contiagini *et al.*, 2020; Onopiuk *et al.*, 2017). El ozono gaseoso ha sido capaz de inactivar en berries su microbiota nativa y microorganismos inoculados artificialmente como *Escherichia coli* O157: H7, *Salmonella* y *Botrytis cinerea* (Alexandre *et al.*, 2011; Contigiani *et al.*, 2018; Aday *et al.*, 2014; Bialka *et al.*, 2008; Contiagini *et al.*, 2020). Dentro de las aplicaciones de ozono como tecnología postcosecha en berries, los generadores de ozono acoplados a cámaras frigoríficas han permitido prolongar su vida útil a lo largo de toda la cadena de suministro (Giuggioli *et al.*, 2015).

Dentro de las aplicaciones de ozono en la calidad microbiológica en fresas (Tabla 1), Zhou *et al.* (2018) reportaron que con la exposición de las fresas al ozono gaseoso se lograron reducciones de 2.1, 1.5, 1.8 y 3.3 log UFC/g para *Salmonella*, *E. faecium*, MNV-1 y MS2, respectivamente, y no se detectaron diferencias sensoriales tras el tratamiento con ozono. Por otra parte, Alexandre *et al.* (2011) estudiaron el efecto de los lavados de fresa con ozono sobre la inhibición de microorganismos mesófilos totales. Los autores encontraron las mayores reducciones microbianas cuando se utilizó la concentración más alta de ozono (2 mg/L). Estas reducciones fueron equivalentes a las alcanzadas con procesos de escaldado a 50 °C durante 3 min. Alexandre *et al.* (2012) observaron que el ozono redujo el crecimiento de microorganismos mesófilos totales en fresas a  $15 \pm 2^\circ\text{C}$ .

**Tabla 1.** Efecto del ozono sobre la inactivación de microorganismos en fresa.

Condiciones del tratamiento con ozono	Microorganismos estudiados	Reducciones en la carga microbiológica	Referencia
Ozono acuoso, 3.5 mg/L, t: 5 min, 95% HR, T: 5°C	<i>Botrytis cinerea</i>	17% menos que la control	Contiagini <i>et al.</i> (2020)
Ozono gaseoso, 18 mg/L, t: 30 min, 95% HR, T: 5°C	Levaduras y mohos	1 log UFC/g	Alves <i>et al.</i> (2019)
Ozono gaseoso, 18 mg/L, t: 30 min, 95% HR, T: 5°C	Bacterias aerobias mesófilas	3.5 log UFC/g	Alves <i>et al.</i> (2019)
Ozono acuoso, 3.5 mg/L, t: 5 min, 95% HR, T: 5°C	Hongos	22-25% menos que la control	Contiagini <i>et al.</i> (2018)
Ozono gaseoso, 80 mg/L, t: 30 min, T: 4°C	<i>Salmonella</i> , <i>E. faecium</i> , MNV-1 y MS2	2.1, 1.5, 1.8 y 3.3 log UFC/g	Zhou <i>et al.</i> (2018)
Ozono acuoso, 0.25 mg/L, t: 5 min, 95% HR, T: 4°C	Hongos	Inhibición completa	Aday <i>et al.</i> (2014)
Ozono acuoso, 3 ppm, t: 12 días, 95% HR, T: $15 \pm 2^\circ\text{C}$	Bacterias aerobias mesófilas	$1.21 \pm 0.33$ log UFC/g	Alexandre <i>et al.</i> (2012)
Ozono acuoso, 2 mg/L, t: 3 min, T: 15°C	Bacterias aerobias mesófilas	$2.3 \pm 0.4$ log UFC/g	Alexandre <i>et al.</i> (2011)

\* HR: humedad relativa, ppm: partes por millón, t: tiempo, T: temperatura, UFC: unidades formadoras de colonia.

Contiagini *et al.* (2020) evaluaron la eficacia de los tratamientos con ozono acuoso para controlar la infección por *B. cinerea* en fresas almacenadas a 5 °C. El retraso en el inicio de la infección con respecto al control fue de 2 días para las fresas tratadas durante 15 min y de 4 días para las muestras ozonizadas durante 5 min. En este último tiempo de ozonización, se redujo significativamente su incidencia a medida que avanzaba el almacenamiento (17 % menos que en el control en el día 8) sin afectar los parámetros fisicoquímicos o la calidad sensorial. Por otro lado, Contigiani *et al.* (2018) observaron que el ozono es capaz de disminuir el crecimiento de hongos (22-25%) en fresas almacenadas a 5 °C durante 12 días. Aday *et al.* (2014) encontraron una inhibición completa del crecimiento fúngico durante 3 semanas de almacenamiento a 4 °C. Alves *et al.* (2019) reportaron que la exposición de las fresas al ozono gaseoso redujo el crecimiento de mohos y levaduras y el total de bacterias mesófilas en 1 y 3.5 log UFC/g, respectivamente, después de 6 días de almacenamiento en frío.

Con base en los artículos revisados, el ozono es una tecnología no térmica que ha demostrado ser eficaz para inhibir el crecimiento de microorganismos deterioradores en la fresa durante su almacenamiento y así incrementar su vida en anaquel. En los estudios publicados, el uso de ozono a temperaturas de refrigeración durante tiempos cortos (5 min) y bajas concentraciones (1-2 mg/L) permite reducir significativamente la carga microbiológica en la fresa. Sin embargo, es importante establecer parámetros óptimos de tiempo de exposición al ozono y su concentración con base en las propiedades fisicoquímicas, microbiológicas y nutricionales de las diferentes variedades de fresa.

### CONCLUSIONES

Los datos recopilados en la presente revisión respaldan el uso potencial del ozono gaseoso como tecnología postcosecha en fresa y como método de desinfección sostenible en su procesamiento. Los microorganismos estudiados en los distintos estudios muestran susceptibilidad al ozono gaseoso, la cual es atribuida a la reacción de oxidación de diferentes componentes celulares del microorganismo. Las moléculas de ozono entran principalmente en contacto con la superficie celular del microorganismo y pueden atacar varios componentes de la membrana celular, dañando los constituyentes del contenido celular con el aumento del tiempo de exposición. Los resultados reportados en los avances revisados muestran que aumentar la duración y la concentración del tratamiento con ozono gaseoso puede mejorar el efecto de inactivación microbiana. Sin embargo, en los estudios publicados se utilizan diferentes configuraciones experimentales y dosis de ozono, lo que dificulta comparar de manera más precisa su efecto como tecnología postcosecha en la calidad microbiológica de la fresa, tanto con otras tecnologías postcosecha como con otros tratamientos de ozono.

En conjunto, el ozono ha demostrado tener un efecto de inhibición e inactivación del crecimiento de microorganismos patógenos y de levaduras y hongos de descomposición en la fresa. Considerando que el ozono se genera fácilmente y tiene la ventaja de ser un tratamiento que no genera residuos químicos, puede considerarse una tecnología de procesamiento muy prometedora y sostenible. Además, el ozono es aplicable a fresas frescas para controlar la cantidad de patógenos transmitidos por este alimento y para aumentar su vida postcosecha. Se recomienda realizar un estudio previo de las condiciones de tratamiento para cada producto potencialmente tratable con ozono, así como realizar un análisis integral del sistema de gestión del producto para lograr un mayor impacto y factibilidad de aplicación de esta tecnología postcosecha.

## BIBLIOGRAFÍA

- Aday, M. S., Büyükcan, M. B., Temizkan, R., Caner, C. (2014). Role of ozone concentrations and exposure times in extending shelf-life of strawberry. *Ozone: Science & Engineering*, 36 (1), 43–56.
- Alexandre, E., Santos-Pedro, D. M., Brandão, T., Silva, C. (2011). Influence of aqueous ozone, scalding and treatments combined in the microbial load of red bell peppers, strawberries and watercress. *Journal of Food Engineering*, 105 (2), 277–282.
- Alexandre, E., Brandão, T., Silva, C. (2012). Efficacy of non-thermal technologies and sanitizer solutions on microbial load reduction and quality retention of strawberries. *Journal of Food Engineering*, 108: 417–426.
- Alves, H., Alencar, E. R., Ferreira, W. F. S., Silva, C. R., & Ribeiro, J. L. (2019). Microbiological and physical-chemical aspects of strawberry exposed to ozone gas at different concentrations during storage. *Brazilian Journal of Food Technology*, 22, 1-12.
- Bialka, K. L., Demirci, A., & Puri, V. M. (2008). Modeling the inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella enterica* on raspberries and strawberries resulting from exposure to ozone or pulsed UV light. *Journal of Food Engineering*, 85(3): 444-449.
- Concha-Meyer, A., Eifert, J. D., Williams, R. C., Marcy, J. E., Welbaum, G. E. (2015). Shelf-life determination of fresh blueberries (*Vaccinium corymbosum*) stored under controlled atmosphere and ozone. *International Journal of Food Science*, 1-9.
- Contigiani, E. V., Jaramillo-Sánchez, G. M. Castro, M. A., Gómez, P. L., Alzamora, S. M. (2018). Postharvest quality of strawberry fruit (*Fragaria x Ananassa* Duch cv. Albion) as affected by ozone washing: fungal spoilage, mechanical properties, and structure. *Food and Bioprocess Technology*, 11 (9), 1639-1650.
- Contigiani, E. V., Kronberg, M. F., Jaramillo-Sánchez, G., Gómez, P. L., García-Loredo, A. B., Munarriz, E., Alzamora, S. M. (2020). Ozone washing decreases strawberry susceptibility to *Botrytis cinerea* while maintaining antioxidant, optical and sensory quality. *Heliyon*, 6 (11).
- Crowe, K. M., Bushway, A., Davis-Dentici, K. (2012). Impact of postharvest treatments, chlorine and ozone, coupled with low-temperature frozen storage on the antimicrobial quality of lowbush blueberries (*Vaccinium angustifolium*). *Food Science and Technology*, 47 (1), 213-215.
- Giampieri, F., Tulipani, S., Alvarez-Suarez, J. M., Quiles, J. L., Mezzetti, B., Battino, M. (2012). The strawberry: composition, nutritional quality, and impact on human health. *Nutrition*, 28 (1), 9-19.
- Giuggioli, N., Briano, R., Girgenti, V., Peano, C. (2015). Quality effect of ozone treatment for the red raspberries storage. *Chemical Engineering Transactions*, 44, 25-30.
- González-Razo, F. D. J., Rebollar-Rebollar, S., Hernández-Martínez, J., Morales-Hernández, J. L., Abarca-Ramírez, O. (2019). Situación actual y perspectivas de la producción de berries en México. *Revista Mexicana de Agronegocios*, 44 (1), 260-272.
- Han, Q., Gao, H., Chen, H., Fang, X., Wu, W. (2017). Precooling and ozone treatments affects postharvest quality of black mulberry (*Morus nigra*) fruits. *Food Chemistry*, 221, 1947-1953.
- Horvitz, S., Cantalejo, M. J. (2014). Application of ozone for the postharvest treatment of fruits and vegetables. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 54 (3), 312–339.
- Jaramillo-Sánchez, G., Contigiani, E. V., Castro, M. A., Hodara, K., Alzamora, S. M., García-Loredo, A., Nieto, A. B. Nieto. (2019). Freshness maintenance of blueberries (*Vaccinium corymbosum* L.) during postharvest using ozone in aqueous phase: microbiological, structure, and mechanical issues. *Food and bioprocess technology*, 12, 2136-2147.
- Nakata, J., Uzimi, H. (2020). Microbiological and quality responses of strawberry fruit to high CO<sub>2</sub>, CA and MA storage. *HortScience*, 55 (3), 649-690.

- Nayak, S. L., Sethi, S., Sharma, R. R., Sharma, R. M., Singh, S., Singh, D. (2020). Aqueous ozone controls decay and maintains quality attributes of strawberry (*Fragaria × ananassa* Duch.). *Journal of Food Science and Technology*, 57 (1), 319-326.
- Onopiuk, A., Póltorak, A., Moczowska, M., Szpicer, A., & Wierzbicka, A. (2017). The impact of ozone on health-promoting, microbiological, and colour properties of *Rubus ideaus* raspberries. *CyTA-Journal of Food*, 15 (4), 563-573.
- Panou, A. A., Akrida-Demertzi, K., Demertzis, P., Riganakos, K. A. (2021). Effect of gaseous ozone and heat treatment on the quality and shelf life of fresh strawberries during cold storage. *International Journal of Fruit Science*, 21 (1), 218 -231.
- Romanazzi, G., Smilanick, J. L., Feliziani, E., Droby, S. (2016). Integrated management of postharvest gray mold on fruit crops. *Postharvest Biology and Technology*, 113, 69-76.
- Thompson, A. K. (2018). Effects and interactions of CA storage. En A. K. Thompson, Controlled atmosphere storage of fruits and vegetables (pp. 11-24). Londres: CABI.
- Xu, Y., Charles, M.T., Luo, Z., Mimee, B., Chao, T, Veronneau, P.Y., Rolland, D., Roussel, D. (2019). Ultraviolet-C priming of strawberry leaves against subsequent *Mycosphaerella fragariae* infection involves the action of reactive oxygen species, plant hormones, and terpenes. *Plant Cell Environ*, 42, 815–831.
- Zhu, F. (2018). Effect of ozone treatment on the quality of grain products. *Food Chemistry*, 264, 358-366.