

TÍTULO

Estrategias de descontaminación microbiológica de frambuesas frescas

ESTUDIANTES

Wendy Bendek Rueda

TUTOR

Liliana Pérez Lavalle
Zamira Soto Varela

SEMESTRE

8vo Semestre Microbiología

FECHA

26-11-2021

RESUMEN

El aumento del consumo de frambuesa (*Rubus idaeus L.*) se relaciona con su calidad organoléptica y los beneficios que trae para la salud debido a su contenido de vitaminas, minerales y compuestos bioactivos. Sin embargo, los múltiples brotes en los que se ha vinculado esta fruta ocasionados principalmente por Norovirus, Virus de la hepatitis A y *Cyclospora* han incrementado la preocupación por su seguridad. Adicionalmente, la frambuesa es altamente susceptible al deterioro debido a su textura frágil y desarrollo de mohos. Estas problemáticas han llevado a la búsqueda y evaluación de diferentes estrategias para mejorar su inocuidad y vida útil. La aplicación de dióxido de cloro gaseoso (gClO_2), ozono (O_3), recubrimientos comestibles y luz pulsada (LP), luz ultravioleta C son métodos potenciales para mejorar la descontaminación microbiana con un mínimo impacto en la calidad de este producto.

PALABRAS CLAVES: frambuesa; estrategias químicas; estrategias físicas; descontaminación microbiana; calidad y seguridad.

ABSTRACT

The increase in the consumption of raspberry (*Rubus idaeus* L.) is related to its organoleptic quality and the benefits it brings to health due to its content of vitamins, minerals and bioactive compounds. However, the multiple outbreaks in which this fruit has been linked, caused mainly by Norovirus, Hepatitis A virus and *Cyclospora* have increased concern for its safety. Additionally, raspberry is highly susceptible to spoilage due to its brittle texture and mold development. These problems have led to the search and evaluation of different strategies to improve its safety and shelf life. The application of gaseous chlorine dioxide (gClO_2), ozone (O_3), edible coatings and pulsed light (LP), ultraviolet C light are potential methods to improve microbial decontamination with minimal impact on the quality of this product.

KEYWORDS: raspberry; chemical strategies; physical strategies; microbial decontamination; quality and safety.

INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud en el año 2019 [1] confirmó que el consumo de frutas y verduras es esencial para una dieta saludable. Es por ello por lo que, su bajo consumo está asociado a una mala salud y a un mayor riesgo de enfermedades no transmisibles.

La frambuesa (*Rubus idaeus* L) es un fruto comestible de color rojo, hace parte de la familia *Rosaceae*, es rico en vitaminas y minerales tales como el magnesio, potasio y calcio, pigmentos vegetales no nitrogenados (flavonoides) y otros compuestos bioactivos beneficiosos para la salud [2]. Es una de las bayas con mayor demanda en el hemisferio sur, siendo Chile el principal país productor-exportador junto con Polonia y Serbia en relación a EE.UU, Rusia y México [3]. Sin embargo, a pesar de sus múltiples beneficios a la salud esta baya ha sido involucrada en diferentes brotes alimentarios. A manera de ejemplo, en diferentes estados de EE.UU se presentaron brotes por *Cyclospora cayetanensis* [4].

Asimismo, en países de la Unión Europea se reportaron distintos brotes por Norovirus y virus de hepatitis A vinculados a frambuesa [5]

Las frambuesas pueden contaminarse en cualquier punto de la cadena de producción. Se ha informado que el uso de agua contaminada y la contaminación microbiana por el personal agricultor, los manipuladores de alimentos o el equipo durante el proceso de cosecha y poscosecha y malas prácticas agrícolas son factores importantes en la contaminación de las bayas [6]. Por otro lado, las frambuesas son muy susceptibles al deterioro ocasionado por mohos como *B. cinérea*, *Cladosporium* spp, *Fusarium* spp, *Penicillium* spp y *Rhizopus* spp, estos pueden ocasionar diferentes tipos de alteración en los frutos, entre estos cabe destacar la pérdida de características organolépticas, la reducción del valor nutritivo, la putrefacción e incluso puede presentar un riesgo potencial para la salud del consumidor como consecuencia de las micotoxinas [7].

Las frambuesas destinadas al mercado fresco generalmente no son sometidas a lavado u otro tratamiento para la eliminación de patógenos debido al riesgo de alteración por mohos. Por lo contrario, las frutas designadas a congelación o elaboración de productos derivados como jugos, purés, entre otros, son lavadas principalmente con agua clorada [8]. El cloro es uno de los desinfectantes más utilizados debido a su bajo precio, simplicidad de uso y acción contra bacterias vegetativas [9]. No obstante, también presenta una serie de desventajas como eficacia limitada debido a la presencia de materia orgánica y la formación de compuestos tóxicos trihalometanos y cloraminas, así como efectos adversos en la calidad sensorial de algunos productos [10]. Esto ha llevado a que varios países como Alemania, Dinamarca, Bélgica prohíban su uso [11].

Teniendo en cuenta las problemáticas anteriores, la presente revisión tuvo como objetivo el análisis de diferentes estudios sobre estrategias químicas y físicas o combinación de estas tecnologías para la descontaminación microbiológica de frambuesas frescas.

Materiales y Métodos:

Revisión de la literatura

Se realizó una búsqueda bibliográfica sistemática utilizando tres de las bases de datos de citas más populares: Web of Science, Pubmed y Scopus. Las palabras de búsqueda fueron (raspberry) AND (*Salmonella* OR *Listeria monocytogenes* OR *Escherichia coli* O157:H7 OR murine norovirus OR norovirus OR hepatitis A OR *Cyclospora* OR total aerobic bacteria OR yeasts and moulds OR virus OR parasites)

AND (chemicals OR solutions OR organic acids OR detergents OR inactivation OR antibacterial effect OR reduction OR decontamination OR sanitation OR disinfection) 2011-2021

Criterios de búsqueda

Se revisaron los resultados de la búsqueda para seleccionar los correspondientes a la aplicación de estrategias de descontaminación microbiológica en frambuesas frescas. Es así como de un total de 37, se seleccionaron 32.

Análisis y extracción de la información

Se realizó la revisión y análisis de cada artículo y se extrajo la información más relevante tal como microorganismo, tecnología aplicada, condiciones, reducción, la cual se organizó en un archivo de Excel. Además de lo mencionado anteriormente, se tuvieron en cuenta otros hallazgos en relación a las características sensoriales y el efecto de la tecnología en compuestos bioactivos de la frambuesa.

Resultados y Discusión

1. Estrategias químicas

Las estrategias químicas se basan en el uso de diferentes desinfectantes u otros compuestos para contribuir a la seguridad, calidad, y vida útil de las frambuesas. En la actualidad, han surgido nuevas tecnologías de descontaminación microbiana a raíz de los problemas ambientales y de salud que causa del cloro. A continuación se describe información relevante sobre dichas estrategias químicas.

1.1 Dióxido de Cloro (ClO_2)

Dióxido de cloro (ClO_2) es un potente agente y ha sido estudiado como alternativa al cloro por su mayor capacidad oxidante, estudios confirman que es 2.5 veces más que el cloro [12]. Asimismo, su efectividad depende menos del pH, lo cual produce menos subproductos de desinfección halogenados (DBP) cancerígenos debido a su baja reacción con la materia orgánica [13,14].

ClO_2 se puede utilizar tanto en forma acuosa como gaseosa. Sin embargo, varios estudios se han centrado en la implementación del dióxido de cloro gaseoso (gClO_2) por su alta penetración, ya que le permite llegar a sitios inaccesibles donde se encuentran adheridos ciertos microorganismos [15]. Entre las limitaciones del

dióxido de cloro (ClO_2), el tiempo es uno de ellos, lo cual favorece los rangos de exposición prolongados necesarios para obtener reducciones microbianas significativas.

Diferentes estudios han demostrado el potencial del gClO_2 para reducir patógenos y microbiota nativa en frambuesas frescas (Tabla 1). Como primer ejemplo, Kingsley, D. H., & Annous, B. A. [16], realizaron la evaluación del tratamiento con gClO_2 en estado estacionario para la inactivación del virus Tulane (VT), un sustituto del norovirus humano. El gClO_2 se mantuvo a 1 mg/L dentro de una caja de 269 L para tratar dos lotes de 50 g de arándanos, frambuesas y moras, y dos lotes de 100 g de fresas que se recubrieron por inmersión con VT. Las concentraciones de tratamiento estandarizadas de ClO_2 se evaluaron en un rango de 0,63 a 4,40 ppm-h/g de baya. Las reducciones logarítmicas superaron en 2.9 UFP/g para los tipos de bayas anteriormente mencionados por lo cual se establece que este tratamiento fue muy eficaz.

Por otra parte, Annous, B. A., Buckley, D. A., & Kingsley, D. H. (2021) [17], mantuvieron el gClO_2 a 1 o 2 mg/L dentro de una guantera de 269 L para tratar un lote de 50 g de frambuesas recubiertos por inmersión con virus de hepatitis A (VHA). Se observó una reducción > de 2 log para las frambuesas tratadas con ≤ 2 ppm-h/g. No obstante, este estudio resaltó la dificultad de inactivación de VHA en la frambuesa debido a su superficie en comparación con otras bayas.

En general, gClO_2 se presenta como una alternativa prometedora para la descontaminación de frambuesas por su amplio rango de acción antimicrobiana. No obstante, se requieren más estudios para evaluar el efecto organoléptico del mismo en esta fruta.

1.2 Ozono (O_3)

Es un agente microbiano fuerte con alta reactividad y penetrabilidad, potente oxidante GRAS (Generally recognized as safe) generalmente reconocido como seguro. Este compuesto ejerce su acción antimicrobiana a través de la oxidación de componentes celulares como proteínas, lípidos y ácidos nucleicos [18]. Al momento de aplicarse en los alimentos se hace de dos maneras, en sus formas gaseosas y en sus formas acuosas [19]. Es importante resaltar que, su uso excesivo puede provocar cambios organolépticos en la baya descomponiendo sus compuestos fisicoquímicos.

Es importante resaltar que una de las aplicaciones del ozono en aire constituye tratamientos de alta desinfección en seco para frambuesas. Para ello, existe la desinfección mediante los túneles de ozono, su diseño resulta ideal para este tipo de fruta especialmente delicada, aplicando dicho tratamiento, inferior a 30 minutos,

la baya resulta perfectamente desinfectada, sin ver alterados su sabor ni color [20]. Alarga la vida útil de los productos ya que el ozono actúa en la superficie de la baya eliminando o impidiendo la multiplicación de los microorganismos responsables de la putrefacción.

Varios investigadores han demostrado que el tratamiento con ozono parece tener un efecto beneficioso al extender la vida útil de almacenamiento de productos frescos no cortados como brócoli, pepino, manzanas, uvas, naranjas, peras, frambuesas y fresas al reducir las poblaciones microbianas y por oxidación de etileno [21]. En relación a esta tecnología se realizaron tres estudios. El primero por Crozier. L., Park. S., Munn. E., Ibanez. D., Holden. N., & Potts. H. (2019) [22] (Tabla 1) en el que demostraron la acción antimicrobiana del ozono en la frambuesa reduciendo significativamente mohos y levaduras en 0,8 log en 0,5-3 s a concentraciones de 100-400ppm. Se sabe que el almacenamiento a bajas temperaturas ralentiza el deterioro de los hongos y prolonga drásticamente la vida útil de los frutos rojos; no obstante, algunos pueden ser resistentes a esas condiciones [23]. La tecnología de ozono en el paquete puede generar ozono dentro de un paquete sellado de alimentos, lo que mitiga este riesgo, constituyéndose en un método novedoso para prolongar la vida útil mediante un tratamiento rápido y seguro debido a su capacidad oxidativa [24].

En el segundo tratamiento realizado por Onopiuk, A., Póltorak, A., Moczowska, M., Szpicer, A., & Wierzbicka, A. (2017) [25] las frambuesas se expusieron a una corriente de ozono en una concentración de 0,3 y 0,9 mg/L durante un período de 60 y 120 min.

La fruta tratada con ozono tenía un nivel más alto de compuestos fenólicos y demostró una actividad antioxidante total (TAA) más alta en comparación con las frambuesas sin tratar. Asimismo, el uso de ozono permitió frenar el desarrollo de levaduras y mohos en la superficie de las frambuesas, en las que la dosis de 0,9 mg/L y el tiempo de tratamiento de 60 min resultaron más eficaces.

En el tercer estudio [26] Brié, A., Boudaud, N., Mssihid, A., Loutreul, J., Bertrand, I., & Gantzer, C. (2018), realizaron una comparación del efecto del ozono gaseoso sobre el norovirus murino (NM) y VHA adsorbido en frambuesas frescas. El NM infeccioso estaba altamente inactivado ($> 3,3 \log_{10}$) por ozono (3 ppm, 1 min). Se concluyó que el tratamiento con ozono (5 ppm, 3 min) no afectó la apariencia de las frambuesas incluso después de tres días luego del tratamiento. No se observó ningún efecto de ozono en los genomas detectados por RT-PCR en ambos virus probados, independientemente de la matriz o las dosis probadas utilizadas. Por lo tanto, el ozono gaseoso podría ser un buen candidato para la inactivación del

norovirus humano en frambuesas, pero se necesitan nuevas condiciones para que tenga efectos significativos sobre la inactivación del VHA.

1.3 Recubrimientos comestibles

Un recubrimiento comestible se define como el revestimiento de un producto vegetal con una o varias capas finas de material natural y comestible elaborados con biopolímeros naturales de alto peso molecular [27]. Es una alternativa para mejorar y prolongar la calidad de las frambuesas durante el manejo post cosecha, así como el procesamiento de los mismos. El uso de esta tecnología evita la pérdida o ganancia de humedad que provoca una modificación en su textura y turgencia, retardan los cambios químicos como el color, aroma y valor nutricional ya que actúa como barrera contra el intercambio de gases que influye en la estabilidad química y microbiológica, además de evitar posibles daños mecánicos por manipulación [28].

Es importante tener en cuenta la manera de aplicación de recubrimientos en frambuesas, estas formas han ido evolucionado con el paso del tiempo y en la actualidad se pueden encontrar varias técnicas de aplicación. No obstante, hay que tener en cuenta algunos aspectos a la hora de su aplicación, tienen que ser de rápido secado, no producir espuma y ser de fácil remoción. Luego de su aplicación se debe asegurar que el recubrimiento no se acidifique, coagule y desarrolle olores desagradables [29].

Gomes, M. et al 2016 [30] demostró que la utilización de recubrimientos comestibles con aceites esenciales de cítricos brasileños (limón, lima y naranja) (Tabla 1) permitió la reducción de mohos y levaduras y bacterias aerobias durante el almacenamiento. Aunque los recubrimientos no influyeron significativamente en la pérdida de firmeza, el contenido de sólidos solubles (SCC) y el brillo de los frutos a lo largo del tiempo, en comparación con el control; se presentó una mayor pérdida de peso que aquellas muestras con aceites esenciales. Asimismo, el tratamiento de aceite esencial de naranja (0.1%) y limón (0.2%) afectaron el contenido de antocianinas.

Los recubrimientos comestibles constituyen una alternativa potencial para mejorar la calidad de las frambuesas extendiendo su vida útil y proporcionando un valor agregado en el producto. No obstante, más estudios son necesarios para seleccionar formulaciones adecuadas en cuanto a la inocuidad y calidad físico-química de las frambuesas, así como la superación de obstáculos operacionales en el recubrimiento.

1.4 Agua electrolizada (AE)

El agua electrolizada es solución oxidante contiene alrededor de un 95% de ácido hipocloroso, con un poder desinfectante mucho más elevado que el hipoclorito de sodio [31]. Es eficaz contra una amplia gama de patógenos incluyendo bacterias, virus, algas y mohos [32]. Tiene la ventaja que puede producirse “*in situ*” inmediatamente después de su uso, y no hace falta manejar soluciones concentradas de productos tóxicos [33]. La producción se realiza *in situ*, a partir de agua, sal y electricidad. Se puede producir agua electrolizada pura, ácida o neutra, dependiendo del uso al que se destine.

En relación a esta tecnología, se revisó un estudio elaborado por TIAN, P., YANG, D., & MANDRELL, R. (2011) [34], en el cual se evaluó la efectividad de eliminar el norovirus humano inoculado de las superficies de frambuesas y lechuga romana mediante diferentes formas de agua electrolizada, mostrando el agua electrolizada ácida una mayor eliminación en productos contaminados que con el agua de lavado.

Tabla 1. Estrategias químicas para el control de microorganismos en frambuesas.

Químicos evaluados	Condiciones de tratamiento	Microorganismo	Eficacia del tratamiento (reducción logarítmica)	Referencia
Mezcla de cloro con tensoactivo (SDS, NP-40, Triton X-100 y Tween 20)	Cloro (200 ppm) y surfactante (50 ppm)	NM	200 ppm y SDS 50 ppm: 2,6 log.	[64]
gClO ₂	0,63 -4,40 ppm-h /g de baya	VT	<u>gClO₂: 0.63 ppm-h/g:</u> 3.40 log UFP/g	[16]
gClO ₂	1,00-6,27 ppm-h/g ClO ₂ (1 mg/L o 2 mg/L)	VHA	<u>1,00 ppm-h/g ClO₂ (1 mg/L):</u> 2,49 Log UFP. <u>6,27 ppm-h/g ClO₂ (2 mg/L):</u> 3,97 Log UFP.	[17]
O ₃	0,3 mg/L y 0,9 mg/L	Mohos y levaduras.	0,9 mg/L x 60 min:	[25]

	Tiempo de tratamiento: 60 y 120 min		0,16 log UFC/g	
O ₃	O ₃ : 100-1000 ppm Tiempo de tratamiento: 0,5-3 s	Mohos y levaduras.	<u>0,5-3 s [100-400ppm]</u> : 0,8 log.	[22]
EAM, gO ₃	gO ₃ : 13 mg m ⁻³ (alrededor de 6 ppm) durante 16 h a 1 °C (± 0,5°C) EAM: 15 días en almacenamiento P (10 kPa O ₂ y 40 kPa CO ₂) o en el aire a 4 °C	Mohos y levaduras.	<u>gO₃ + EAM</u> : Mohos: ~0.7 log UFC/g Levaduras: 2.5 log UFC/g	[65]
O ₃	Para NM (1 ppm, 3 min; 3 ppm, 1 min y 4 ppm, 2 min) para VHA (3 ppm, 1 min; 3 ppm, 2 min; 4 ppm, 2 min, 5 ppm; 3 min)	NM y VHA	<u>3 ppm por 1 min</u> : > 3.3 log ₁₀ TCID ₅₀ para MNV-1. La descontaminación del VHA no fue eficaz en términos de Inactivación (<0,6 log ₁₀) en las condiciones evaluadas.	[26]
Agua electrolizada	Agua electrolizada ácida, neutra y básica	NH	Remoción del 95%	[34]
Recubrimiento comestible	Recubrimiento de alginato/ácido oleico conteniendo extracto de té verde.	VHA y NM	<u>A 10 °C</u> : NM: 1.25 log TCID ₅₀ /mL VHA: ~1.8 log TCID ₅₀ /mL <u>A 25 °C</u> : NM: 1.96 log	[66]

	Incubación de las frambuesas a 10 y 25 °C		TCID ₅₀ /mL. VHA: <1 log TCID ₅₀ /mL	
Recubrimientos comestibles.	Recubrimiento de alginato con aceite esencial de lima, limón y aceite de naranja (0,1% y 0.2%). Almacenamiento o 15 días a 4°C.	Mohos y levaduras y bacterias aeróbicas totales	Alginato con aceite esencial de naranja 0,2% fue el mejor tratamiento. Mohos y levaduras: 1.1 log UFC. bacterias aeróbicas totales: 0.4 log UFC.	[30]

2. Estrategias físicas

Las tecnologías de descontaminación microbiana por medios físicos son aquellas que se logran sin la adición de desinfectantes químicos o biopreservantes. Sin embargo, muchas de las tecnologías físicas se utilizan acompañado con otros métodos químicos para poder lograr un aumento en su eficacia antimicrobiana con el fin de preservar mejor la calidad de los productos alimenticios [35].

Entre las tecnologías físicas logramos encontrar dos tipos los cuales son conocidos con el nombre de tecnologías térmicas y no térmicas. Las tecnologías térmicas se basan en el control de condiciones específicas, estas se basan en la aplicación de sistemas de calentamiento para la descontaminación microbiana de frutas y verduras las cuales se van a procesar en la industria. Sin embargo, estas tecnologías no son adecuadas para la desinfección de frutas y hortalizas destinadas a ser consumidas frescas debido a la degradación de sus características organolépticas como lo son el sabor, olor, textura, etc. Por otro lado, las tecnologías no térmicas se utilizan de forma más frecuentes ya que no afectan en gran medida las propiedades estructurales y organolépticas de las frutas y verduras [36, 37].

La mayoría de los estudios publicados sobre descontaminación física de frambuesas se basan en el uso de las tecnologías no térmicas por ende, a continuación se describirá aspectos relevantes en relación a dichas tecnologías de descontaminación de frambuesas.

2.1 Luz pulsada (LP)

La luz pulsada (LP) es una tecnología física en la que la inactivación de microorganismos patógenos se logra mediante pulsos de luz de corta y alta intensidad. Esta tecnología consiste en la liberación de energía intensa de radiación electromagnética de amplio espectro (200-1100nm) promoviendo una mayor capacidad de descontaminación que la radiación convencional de luz ultravioleta [38]. Es importante tener en cuenta en que la fluencia se considera uno de los factores más importantes en los tratamientos de luz pulsada. [39]

Bialka y Demirci (2008) [40] indicaron que la luz ultravioleta pulsada tiene el potencial de usarse como método de descontaminación de frambuesas. Ya que si bien, la luz ultravioleta pulsada tiene un potencial considerable para ser implementado en la industria alimentaria, es necesario evitar el sobrecalentamiento de los alimentos así como lograr una mejor penetración y homogeneidad del tratamiento.

Uno de los principales beneficios de la luz pulsada es el logro de reducciones microbianas significativas en tiempos de exposición cortos. Xu y Wu (2016) [41] demostraron la eficacia de la luz pulsada en patógenos bacterianos y microbiota natural (Tabla 2). No obstante, tratamientos superiores a 30 s afectaron la textura y color de las frambuesas. Por otra parte, el uso de LP mostró ser eficaz en la reducción de *Cryptosporidium parvum*, un protozooario resistencia a la mayoría de agentes químicos desinfectantes a fluencia de (4 J/cm²) [42]. Esta dosis no afectó las características colorimétricas u organolépticas de los frutos

Los resultados obtenidos en estos estudios indican que la luz pulsada tiene el potencial de ser utilizada como método de descontaminación de frambuesas.

2.2 Luz ultravioleta C

La luz ultravioleta C es un tipo de tecnología física la cual ha sido utilizada como una alternativa a los tratamientos mediante sustancias químicas. Se emplea para desinfectar superficies de frutos ya que esta luz es incapaz de penetrar dentro de los mismos; es aplicable en las etapas de postcosecha, reduciendo la descomposición y alargando la vida útil [43]. Se fundamenta en la muerte de los microorganismos mediante la desnaturalización de su DNA. El uso de esta tecnología tiene tres propósitos, los cuales son; el primero es reducir el contaje inicial de células viables de bacterias, mohos y levaduras; segundo, promover la síntesis de fenilpropanoides y la expresión de proteínas como mecanismos de defensa; y, tercero, conservar la calidad organoléptica, al ralentizar la actividad

enzimática ligada con el ablandamiento de tejidos, daños por frío y oscurecimientos [44].

En relación a superficies rugosas como la frambuesa, la radiación ultravioleta C inactiva el 90% de los agentes patógenos presentes en tales superficies ya que estas ofrecen puntos donde los agentes patógenos se pueden resguardar, lo que reduce los efectos germicidas de la luz ultravioleta C [45].

Liao, Y.-T et al (2017) [46] realizaron un estudio (Tabla 2) en donde se determinó la eficacia del tratamiento con UV-C sobre la reducción de patógenos transmitidos por los alimentos en superficies de alimentos congelados contaminados artificialmente. En este se usó una intensidad de 780 mJ/cm² por 10-720 s lográndose una reducción de 1.5 log UFC/g en frambuesas congeladas. Otras mediciones realizadas fueron las antocianinas totales, los fenólicos totales y la actividad antioxidante pero no se observaron diferencias significativas entre las bayas congeladas tratadas con UV C y las no tratadas inmediatamente después del tratamiento; sin embargo, al final de 9 meses de almacenamiento, las bayas tratadas con UV-C tenían fenólicos totales estadísticamente más bajos, antocianinas totales más altas y una actividad antioxidante total similar en comparación con las bayas no tratadas. Este estudio muestra que la luz UV-C se puede utilizar para reducir población de *L. monocytogenes* de frambuesas congeladas teniendo en cuenta que la mayoría de los métodos de control bacteriano no son adecuados para la desinfección de superficies de alimentos congelados.

En otro estudio, se evaluó el efecto de esta luz ultravioleta-C sobre *Penicillium expansum* en la superficie de frutas como la frambuesa [47] en condiciones de dosis de 0.28-3.3 KJ/m² por tiempo de 10-360 s a partir de la cual se evidenciaron reducciones de 2.8 Log a 3.3 KJ/m² por 360 s. Otros parámetros como el color no difirieron significativamente antes y después del tratamiento con UV-C, con lo anterior se demuestra que la luz ultravioleta es un método eficaz para descontaminar las superficies de los alimentos [48].

Así mismo, se implementó la tecnología de luz ultravioleta sobre las bacterias *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes* en superficies de frutas orgánicas [49], dentro de ellas frambuesas inoculadas con un cóctel de *E. coli* O157: H7 y *L. monocytogenes* y expuesta posteriormente a dosis de UV-C de hasta 11,9 kJ/m² a 23°C. En este trabajo se determinó que la rugosidad de la superficie de la fruta, el ángulo de contacto y la energía de la superficie se correlacionaron con la cinética de inactivación de UV-C y en síntesis se llega a la conclusión que luz UV-C puede reducir eficazmente *E. coli* O157: H7 y *L. monocytogenes* en superficies de frutas y bayas; sin embargo, las características de la superficie influyen en la eficacia de la luz UV-C.

2.3 Radiación gamma y haz de electrones

La radiación de los alimentos es una tecnología física y no térmica, también es conocida con el nombre de pasteurización en frío que está basada en la emisión de rayos gammas directamente sobre la fruta a temperatura ambiente durante el envasado final, lo que reduce el riesgo de contaminación cruzada. Esta tecnología es una de las pocas capaces de conservar la calidad y la seguridad de la fruta; es un modo de control de patógenos sin alterar de forma significativa las propiedades sensoriales, la composición o valor nutricional del fruto [50].

Diversos estudios han determinado el efecto de la radiación gamma en las frambuesas, en uno de ellos [51] se implementó esta tecnología con dosis de 0,5, 1 o 1,5 kGy para evidenciar su efecto sobre los recuentos de microorganismos mesófilos totales. Como resultado, se obtuvieron reducciones de 1 log a 1,5 KGy. Así mismo, se evaluó el efecto sobre las propiedades fisicoquímicas de la frambuesa, determinándose que la irradiación indujo una disminución significativa de la firmeza en comparación con la fruta no irradiada; sin embargo, la fruta irradiada y no irradiada presentó propiedades fisicoquímicas y sensoriales similares durante el tiempo de almacenamiento.

Por otra parte, Pimenta, A. I *et al* (2019) [52] hicieron igualmente uso de esta tecnología para demostrar la actividad virucida en fresas y frambuesas, específicamente en norovirus murino y adenovirus humano, obteniéndose una reducción de 2 log UFP/g en los títulos de norovirus murino y virus de hepatitis A después del tratamiento con una dosis de 4 kGy para ambos frutos. El proceso de irradiación indicó un potencial virucida, aunque la dosis estimada de radiación gamma para lograr la seguridad alimentaria (>7 kGy) comprometería la preservación de la calidad de los alimentos. Con los anteriores trabajos se demuestra que entre los métodos de tratamiento no térmico, la radiación ionizante se reconoce como un medio de desinfección útil y eficaz.

En relación a la naturaleza de los rayos, aunque el haz de electrones tiene menos capacidad de penetración en comparación con los rayos gamma, los irradiadores de haz de electrones tienen la ventaja de ser de naturaleza electrónica, lo que significa una alternativa potencial ya que los problemas de seguridad no son comparables a los del cobalto-60, siendo este último implicados en la tecnología de rayos gamma. Asimismo, la irradiación con haz de electrones permite el uso de altas dosis con gran precisión. La combinación de la irradiación con otras tecnologías podría ser considerada en futuras investigaciones para lograr una mayor eficiencia en la desinfección de arándanos frescos [53, 54].

2.4 Ultrasonido

El ultrasonido se define como ondas de sonido con frecuencia que exceden el límite auditivo del oído humano. Es una de las tecnologías emergentes que se ha desarrollado con el fin de minimizar el tiempo de procesamiento, maximizar la calidad y garantizar la seguridad de los productos alimenticios tales como las frambuesas. Esta tecnología de potencia o de baja frecuencia, provoca el fenómeno de cavitación, el cual puede alterar las propiedades físicas y químicas de las frambuesas, en relación a la cristalización de los azúcares, inhibición de enzimas, alteraciones de reacciones químicas, oxidaciones, congelación y ablandamiento de la carne de esta. Otro efecto sumamente importante, es que causa daños en la pared celular de los microorganismos patógenos, logrando inhibirlos o de cierta manera destruirlos [55].

Esta tecnología puede ser utilizada sola o en combinación con tratamientos químicos y físicos. Se evaluó la eficacia de un tratamiento de superficie vapor-ultrasonido para inactivar colifago (MS2) en frambuesas frescas; lográndose una reducción de 1 log después de 1 s de tratamiento a 130 °C, momento en el cual el daño a la textura de las frambuesas frescas fue evidente [56]. En este sentido, los tratamientos cortos (1 s) con ultrasonido a vapor de alta temperatura no parece ser un método apropiado para lograr una descontaminación suficiente de las frambuesas contaminadas con norovirus. Sin embargo, puede ser utilizado para descontaminar áreas de superficies lisas y utensilios en entornos de producción y procesamiento de alimentos. En contraste, tratamientos mayores (4 s) a 95 °C mantuvieron la textura natural y atractivo visual de las frambuesas similar a los controles sin tratar mientras se monitoreaban durante 7 días. Asimismo, permitió la reducción de NM y VHA [57].

Tabla 2. Estrategias físicas para el control de microorganismos en frambuesas.

Tecnología	Condiciones de tratamiento	Microorganismos	Eficiencia del tratamiento (reducción logarítmica)	Referencia
LP	LP: 5 s (5.0 J/cm ²). 15 s (14.3 J/cm ²). 30 s (28.2 J/cm ²).	<i>Salmonella</i> , <i>Escherichia coli</i> O157: H7	PL con fluencia de 5.0 J/cm ² fue el mejor tratamiento en relación a la seguridad microbiológica y calidad de las frambuesas. <u>PL 5 s:</u>	[41]

			<p><i>Salmonella</i>: 3.4 log UFC/g. <i>Escherichia coli</i> O157:H7: 3.3 log UFC/g</p>	
LP	300 μ s (4 J/cm ²)	<i>Cryptosporidium parvum</i>	3 log.	[42]
LPAA	PL combinado o no con 1% H ₂ O ₂ y bajo diferentes condiciones de carga orgánica. PL Alta: 0.225–0.298 J/cm ² -pulso. PL baja: 0.102–0.140 J/cm ² -pulso. Tiempos de tratamiento: 0.5–1 min.	<i>Salmonella</i>	No hubo diferencias significativas entre los tratamientos PL de baja y alta fluencia. LP + 1% H ₂ O ₂ fue el tratamiento más eficaz y la alta carga orgánica no tuvo influencia en el mismo. Alta carga orgánica: 4.2 log UFC/g	[58]
LPAA	LPAA durante 5-60 s.	<i>Escherichia coli</i> O157:H7, <i>Salmonella</i> y NM	<p>LPAA de 60 s que redujeron <i>E. coli</i> O157:H7 en 2,4 y 4,5 log UFC/g.</p> <p>Reducciones mayores de <i>E. coli</i> O157:H7 con WPL de 60 s que lavando con 10 ppm de cloro.</p> <p>WPL con 1% H₂O₂ -60s > <i>E. coli</i> O157:H7 en frambuesas frescas en 3,3-5,3 log.</p> <p>WPL redujo <i>Salmonella</i> en 2,1 log UFC / g.</p> <p>WPL logró una reducción de 3.6 log UFC/g de MNV-1 significativamente mayor que el lavado con cloro (MNV-1 en 2,2 log UFC/g)</p>	[59]

<p>AC + SDS. AC + timol. LP. LP asistida por agua. LP + SDS.</p>	<p>2 mg/mL de AC + 4% de SDS 2mg/mL de AC + 0.2 mg/mL de timol Tiempo de tratamiento: 1 min. LP (15 s). LP asistida por agua. LP + SDS (100 ppm). Tiempo de tratamiento: 60 s. Fluencia: 14.3 J/cm²</p>	<p><i>Salmonella</i> Newport, <i>E. coli</i> O157:H7, Bacterias totales y mohos y levaduras.</p>	<p><u>AC+ SDS</u>: S Newport: 3.6 Log UFC/g. <i>E. coli</i> O157:H7: 4.1 Log UFC/g. <u>AC + timol</u>: S Newport: 3.2 Log UFC/g. <i>E. coli</i> O157:H7: 3.7 Log UFC/g. LP asistida por agua fue el tratamiento más ineficaz comparado con los otros tratamiento de LP <u>LP</u>: S Newport: 3.4 Log UFC/g. <i>E. coli</i> O157:H7: 3.3 Log UFC/g. <u>LP + SDS</u>: S Newport: 3.2 Log UFC/g. *<i>E. coli</i> O157:H7: 3.1 Log UFC/g. Todos los tratamientos: Bacterias totales: 0.4-1.2 Log UFC/g. Mohos y levaduras: 1.0-1.4 Log UFC/g</p>	<p>[60]</p>
<p>APH</p>	<p>APH a 450, 500 y 550 MPa x 2 min. Temperatura de la muestra de 0, 4 y 20 ° C. Purés: APH de 250 a 650 Mpa x 2 min. T(i): 0°C APH: 500 MPa x 15min T= 45°C</p>	<p>NH</p>	<p>APH a 650 Mpa: 1,7 y 2,5 log de la cepa GI.1 15min APH 500 MPa a 45 ° C redujo el ARN de HuNoV en 0.5 log</p>	<p>[61]</p>
<p>Luz Ultravioleta C</p>	<p>Intensidad: 780 mJ / cm². Tiempo de tratamiento: 10- 720 s.</p>	<p><i>Listeria monocytogenes</i></p>	<p>1.5 log UFC/g en frambuesas congeladas.</p>	<p>[46]</p>

Luz Ultravioleta C	Dosis: 0.28-3.3 KJ/m ² . Tiempo de tratamiento: 10-360 s	<i>Penicillium expansum</i>	3.3 KJ/m ² por 360 s: 2.8 Log	[47]
Luz Ultravioleta C	Las dosis de UV-C variaron de 0,14 a 11,87 kJ/m ² en tiempos de tratamiento de 10–840 s	<i>Escherichia coli O157:H7</i> y <i>Listeria monocytogenes</i>	Una reducción total de 1,0 ± 0.1 log UFC / g se logró en frambuesas después de 8 min de tratamiento (dosis promedio 7,17 kJ/m ²).	[49]
Radiación gamma	0,9-11,3 kGy	NM y AH	4 kGy: 2 log UFP/g	[52]
Radiación Gamma	dosis de 0,5, 1 o 1,5 kGy	Recuento de microorganismos mesófilos totales	1,5 KGy: 1 log	[51]
Radiación con haz de electrones	0,5-3KGy	Bacterias totales, Mohos y levaduras, <i>Salmonella Typhimurium</i> , <i>Escherichia coli</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> .	<u>3kGy</u> Bacterias totales: 2 Log UFC/g. Mohos y levaduras: 3 Log UFC/g. <i>S. Typhimurium</i> : 3.4 Log UFC/g. <i>E. coli</i> : 3 Log UFC/g. <i>L. monocytogenes</i> : 3.1 Log UFC/g.	[62]
Vapor presurizado y US	Vapor: 130°C US: 30-40 kHz. Tiempo de tratamiento: 0.25 - 1s	Colifago (MS2)	Tratamiento 1 s seguido de congelación a -20 °C por 3 semanas: 1 Log.	[54]
Vapor presurizado y US	Vapor: 85-95 °C. US: 20–40 kHz. Tiempo de tratamiento: 0-4 s.	NM y VHA	<u>95°C por 4 s</u> NM: 3.3 log UFP. <u>95 °C por 3 s</u> VHA: 1.5 log UFP.	[57]
Fotosensibilización	Remojo en clorofila durante 1h, secado y luz LED con $\lambda = 400$ nm e intensidad de 20	<i>Botrytis cinerea</i>	7% más de fresas sanas en comparación con el control después de 3 días de almacenamiento en refrigeración.	[63]

	mW cm ⁻² por 30 min			
--	--------------------------------	--	--	--

CONCLUSIONES

En los últimos años, se han evaluado diferentes estrategias químicas y físicas las cuales ayudan a la descontaminación microbiana de las frambuesas. De acuerdo a las investigaciones descritas anteriormente, las tecnologías de luz pulsada (LP) y luz ultravioleta (UV) muestran resultados convenientes para su uso en la descontaminación de frambuesas frescas. Cabe resaltar que, se ha informado que LP tiene un mayor efecto antimicrobiano que la luz ultravioleta. Por ende, la implementación de equipos para dicho tratamiento es más costoso. Ahora bien, en relación con las estrategias químicas tales como el O₃, gClO₂ y los recubrimientos comestibles presentan gran ventaja para las frambuesas destinadas al mercado en fresco.

Por último, es necesario la realización de nuevas investigaciones las cuales sea necesario centrarse en el efecto que trae consigo estas estrategias en la inactivación microbiana como en la calidad sensorial y al valor nutricional de las frambuesas durante su vida útil.

ABREVIATURAS

AC: Ácido cítrico, **AH:** Adenovirus humano, **APH:** Alta presión hidrostática, **gClO₂:** Dióxido de Cloro gaseoso, **SDS:** dodecilsulfato sódico, **TCID₅₀:** dosis infectiva del 50% en cultivo de tejidos, **EAM:** Envasado en atmósfera modificada, **LP:** Luz pulsada, **LPAA:** Luz pulsada asistida por agua, **NH:** Norovirus Humano, **NM:** Norovirus Murino, **O₃:** Ozono, **gO₃:** Ozono gaseoso, **US:** Ultrasonido, **UFC:** Unidades formadoras de colonia, **UFP:** Unidades formadoras de placa, **VHA:** Virus de la hepatitis A, **VT:** Virus Tulane.

REFERENCIAS

[1] procapslaboratorios. (2021). Procaps - Es importante consumir frutas y verduras | Es importante consumir frutas y verduras. [https://www.procapslaboratorios.com/blog/salud-y-bienestar/es-importante-consumir-frutas-y-verduras#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Organizaci%C3%B3n%20Mundial%20de,enfermedades%20no%20transmisibles%20\(ENT\)](https://www.procapslaboratorios.com/blog/salud-y-bienestar/es-importante-consumir-frutas-y-verduras#:~:text=Seg%C3%BAn%20la%20Organizaci%C3%B3n%20Mundial%20de,enfermedades%20no%20transmisibles%20(ENT))

[2] S. (2020, 4 agosto). Frambuesas: los beneficios del fruto antioxidante que es un tesoro en los postres. ABC. https://www.abc.es/bienestar/alimentacion/abci-frambuesas-202008040843_noticia.html

[3] Manzano Mantilla, M. J. (2013, enero). Proyecto de factibilidad para la creación de una empresa productora y comercializadora de frambuesas para su exportación a los Estados Unidos de América, ubicada en Puumbo, provincia de Pichincha. Universidad Politécnica Salesiana Sede-Quito. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5202/1/UPS-QT03827.pdf>

[4] Centers for Disease Control and Prevention National outbreak reporting system (NORS) <https://wwwn.cdc.gov/norsdashboard/> (2018)

[5] Brotes en países europeos: Le Guyader, 2004 Detection of noroviruses in raspberries associated with a gastroenteritis outbreak.

[6] RASFF, foodborne outbreak caused by and norovirus (2 out of 3 samples) in frozen raspberries from Serbia 2015 https://webgate.ec.europa.eu/rasff-window/portal/?event=notificationDetail&NOTIF_REFERENCE=2015.0571.

[7] Hernández Herrero., M., & Rodríguez Jerez., J. (2007, octubre). Aplicación de diferentes técnicas analíticas para evaluar la contaminación fúngica de alimentos y superficies. Universidad Autónoma de Barcelona. <https://www.tdx.cat/bitstream/handle/10803/5690/bevd1de1.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

[8] European Food Safety Authority Scientific Opinion on the risk posed by pathogens in food of non-animal origin. Part 2 Salmonella and Norovirus in berries, 12 (6) (2014), pp. 1-95, 10.2903/j.efsa.2014.3706

[9] Ölmez, H., Kretzschmar, U., 2009. Potential alternative disinfection methods for organic fresh-cut industry for minimizing water consumption and environmental impact. LWT - Food Sci. Technol. 42 (3), 686–693. <https://doi:10.1016/j.lwt.2008.08.001>

[10] Crowe, K.M.; Bushway, A.A.; Bushway, R.J.; Crowe, K.M.; Bushway, A.A. Effects of Alternative Postharvest Treatments on the Microbiological Quality of Lowbush Blueberries. Small Fruits Rev.2005, 4, 29–39. Lafarga, T.; Colás-medà, P.; Abadías, M.; Aguiló-aguayo, I.; Bobo, G. Strategies to reduce microbial risk and improve quality of fresh and processed strawberries: A review. Innov. Food Sci. Emerg. Technol.2019, 52,197–212.

[11] Meireles, A.; Giaouris, E.; Simões, M. Alternative disinfection methods to chlorine for use in the fresh-cut industry. *FRIN2016*, 82, 71–85

[12] Beuchat, LR; Pettigrew, CA; Tremblay, ME; Roselle, BJ; Scouten, AJ La letalidad del cloro, el dióxido de cloro y un desinfectante comercial de frutas y verduras para las células vegetativas y las esporas de *Bacillus cereus* y las esporas de *bacilo turingiensis*. *J. Food Prot.* 2004, 67, 1702-1708. [CrossRef] [PubMed]

[13] Olmez, H.; Kretzschmar, U. Métodos de desinfección alternativos potenciales para la industria de productos frescos orgánicos para minimizar el consumo de agua y el impacto ambiental. *LWT Food Sci. Technol.* 2009, 42, 686–693. [CrossRef]

[14] Wu, VCH; Kim, B. Efecto de un método simple de dióxido de cloro para controlar cinco patógenos, levaduras y mohos transmitidos por los alimentos en los arándanos. *Microbiol de alimentos.* 2007, 24, 794–800. [CrossRef] [PubMed]

[15] Annous, BA; Buckley, D. Burke, A. Evaluación del gas dióxido de cloro contra cuatro *Salmonella entérica* Serovares contaminados artificialmente en arándanos enteros. *J. Food Prot.* 2020, 83, 412–417. [CrossRef]

[16] Kingsley, D. H., & Annous, B. A. (2019b). Evaluation of Steady-State Gaseous Chlorine Dioxide Treatment for the Inactivation of Tulane virus on Berry Fruits. *Food and Environmental Virology*, 11(3), 214–219. <https://doi.org/10.1007/s12560-019-09382-4>

[17] Annous, B. A., Buckley, D. A., & Kingsley, D. H. (2021). Efficacy of Chlorine Dioxide Gas Against Hepatitis A Virus on Blueberries, Blackberries, Raspberries, and Strawberries. *Food and Environmental Virology*, 13(2), 241–247. <https://doi.org/10.1007/s12560-021-09465-1>

[18]. Deng, LZ; Mujumdar, AS; Pan, Z. Vidyarthi, SK; Xu, J. Zielinska, M. Xiao, H.-W. Tecnologías emergentes de desinfección química y física de frutas y verduras: una revisión completa. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 2020, 60, 2481–2508. [CrossRef]

[19]. Feliziani, E. Lichter, A. Smilanick, JL; Ippolito, A. Desinfectantes para el control de enfermedades de frutas y hortalizas después de la cosecha. *Postcosecha Biol. Technol.* 2016, 122, 53–69. [CrossRef]

[20] Tratamientos con ozono en post-cosecha | Tratamiento de desinfección con ozono | CosemarOzono.com. (2019, 16 mayo). *Cosemar Ozono*.

<https://www.cosemarozono.com/soluciones/higiene-alimentaria/tratamientos-ozono-post-cosecha/>

[21] Beuchat, LR, Nail, BV, Adler, BB y Clavero, MRS (1998). Eficacia de la aplicación de cloro por aspersion para matar bacterias patógenas en manzanas, tomates y lechugas crudas. *Journal of Food Protection*, 61, 1305-1311

[22] Crozier. L., Park. S., Munn. E., Ibanez. D., Holden. N., & Potts. H. (2019). SHELF LIFE EXTENSION OF BERRIES USING IN-PACK OZONE. ProQuest. <https://www.proquest.com/openview/94716fd8c783b9476b4e8c7da82b67f9/1?pq-origsite=gscholar&cbl=406340>

[23] Morales, ML et al. (2014) 'Efecto del tiempo de almacenamiento a baja temperatura sobre la composición de compuestos volátiles de Frambuesas Sevillana y Maravilla. *Biología y tecnología poscosecha*. Elsevier BV, 96: 128-134. DOI: doi.org/10.1016/j.postharvbio.2014.05.013.

[24] De Candia, S., Morea, M. y Baruzzi, F. 2015. Erradicación de altas cargas viables de *Listeria monocytogenes* contaminando las superficies en contacto con los alimentos. *Frontiers in Microbiology* 6 (julio): 1-12. DOI: doi.org/10.3389/fmicb.2015.00733

[25] 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. <https://doi.org/10.1080/19476337.2017.1317669>

[26] Brié, A., Boudaud, N., Mssihid, A., Loutreul, J., Bertrand, I., & Gantzer, C. (2018). Inactivation of murine norovirus and hepatitis A virus on fresh raspberries by gaseous ozone treatment. *Food Microbiology*, 70, 1–6. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2017.08.010>

[27] Sol, X. Baldwin, E. Bai, J. Aplicaciones del dióxido de cloro gaseoso en el manejo y almacenamiento poscosecha de frutas y verduras: una revisión. *Control de alimentos* 2019, 95, 18-26. [CrossRef]

[28] McHugh, T. H. (2000). Protein-lipid interactions in edible films and coatings. *Nahrung/Food*, 44(3), 148–151. [https://doi.org/10.1002/1521-3803\(20000501\)](https://doi.org/10.1002/1521-3803(20000501))

[29] MARCELA FERNANDEZ, N., ECHEVERRIA, D. C., ANDRES MOSQUERA, S. A., & PAZ, S. P. (2017). ESTADO ACTUAL DEL USO DE RECUBRIMIENTOS

COMESTIBLES EN FRUTAS Y HORTALIZAS. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 15(2), 134. [https://doi.org/10.18684/bsaa\(15\)134-141](https://doi.org/10.18684/bsaa(15)134-141)

[30] Gomes, M. D. S., Cardoso, M. D. G., Guimarães, A. C. G., Guerreiro, A. C., Gago, C. M. L., Vilas Boas, E. V. D. B., Días, C. M. B., Manhita, A. C. C., Faleiro, M. L., Miguel, M. G. C., & Antunes, M. D. C. (2016). Effect of edible coatings with essential oils on the quality of red raspberries over shelf-life. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 97(3), 929–938. <https://doi.org/10.1002/jsfa.7817>

[31] Agua electrolizada para la desinfección y limpieza de instalaciones, una alternativa innovadora y respetuosa con el medio ambiente. (2015, 23 octubre). Interempresas. <https://www.interempresas.net/Alimentaria/Articulos/146038-Agua-electrolizada-desinfeccion-limpieza-instalaciones-alternativa-innovadora-respetuosa.html>

[32] Espinoza, R. D. D. L. C. (2015, octubre). Biocidas vegetales. Slideshare. <https://es.slideshare.net/renzodaviddelacruz/biocidas-vegetales>

[33] Baixauli, H. (2007, mayo). Patógenos de transmisión alimentaria en frutas y hortalizas mínimamente procesadas: incidencia, capacidad de crecimiento y nuevos métodos de control. PHYTOMA. <https://www.phytoma.com/la-revista/phytohemeroteca/189-mayo-2007/patogenos-de-transmision-alimentaria-en-frutas-y-hortalizas-minimamente-procesadas-incidencia-capacidad-de-crecimiento-y-nuevos-metodos-de-control>

[34] TIAN, P., YANG, D., & MANDRELL, R. (2011). Differences in the Binding of Human Norovirus to and from Romaine Lettuce and Raspberries by Water and Electrolyzed Waters. *Journal of Food Protection*, 74(8), 1364–1369. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-10-494>

[35] Pérez-Lavalle, L., Carrasco, E., & Valero, A. (2020). Strategies for Microbial Decontamination of Fresh Blueberries and Derived Products. *Foods*, 9(11), 1558. <https://doi.org/10.3390/foods9111558>

[36] Lafarga, T. ; Columnaas-meda, PAG.; Un malolcomo, M. ; Aguiló-aguayo, I. ; Bobo, G. Estrategias para reducir el riesgo microbiano y mejorar la calidad de las fresas frescas y procesadas: una revisión. *Innov. Ciencia de los alimentos. Emerg. Technol.* 2019, 52, 197– 212. [CrossRef]

[37] Zhang, ZH; Wang, LH; Zeng, XA; Han, Z .; Brennan, CS Tecnologías no térmicas y su aplicación actual y futura en la industria alimentaria: una revisión. *En t. J. Food Sci. Technol.* 2019, 54, 1-13. [CrossRef]

[38] Oms-Oliu, G., Martín-Belloso, O. and Soliva-Fortuny, R. 2010. Pulsed light treatments for food preservation. A review. *Food and Bioprocess Technology*, 3:13-23. DOI: 10.1007/s11947-008-0147-x

[39] Gómez-López, VM; Ragaert, P; Debevere, J. Devlieghere, F. Luz pulsada para descontaminación de alimentos: una revisión. *Trends Food Sci. Technol.* 2007, 18, 464–473. [CrossRef]

[40] Bialka, K., & Demirci, A. (2008). Efficacy of Pulsed UV-Light for the Decontamination of *Escherichia coli* O157:H7 and *Salmonella* spp. on Raspberries and Strawberries. *Journal of Food Science*, 73(5), M201-M207. <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00743.x>

[41] Xu, W., & Wu, C. (2016). The impact of pulsed light on decontamination, quality, and bacterial attachment of fresh raspberries. *Food Microbiology*, 57, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.fm.2016.02.009>

[42] le GOFF, L., HUBERT, B., FAVENNEC, L., VILLENA, I., BALLEET, J. J., AGOULON, A., ORANGE, N., & GARGALA, G. (2015). Pilot-Scale Pulsed UV Light Irradiation of Experimentally Infected Raspberries Suppresses *Cryptosporidium parvum* Infectivity in Immunocompetent Suckling Mice. *Journal of Food Protection*, 78(12), 2247–2252. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-15-062>

[43] Lara-Oviedo, G.A.L., Navarro, M.C., Altamiranda, J.A. 2018. Estudio de fotoreactivación en cultivos microbiológicos obtenidos de carga microbiana de la superficie de fresas sometidas a diferentes dosis de luz ultravioleta de onda corta UV-C. *Rev. Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 5:32-40. DOI: 10.23850/24220582.1148

[44] Quintero-Cerón, J.P.P., Bohórquez-Pérez, Y., Valenzuela-Real, C. 2013. Avances en la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UVC) en frutas y vegetales enteros y mínimamente procesados: revisión. *Rev. Tumbaga* 1:29-60. Recuperado de: t.ly/YCn8

[45] De la Ciencia, N. (2015, 30 julio). Luz ultravioleta para eliminar patógenos de la superficie de la fruta. *Noticias de la Ciencia y la Tecnología (Amazings® / NCYT®)*.

<https://noticiasdela ciencia.com/art/15425/luz-ultravioleta-para-eliminar-patogenos-de-la-superficie-de-la-fruta>

[46] Liao, Y. T., Syamaladevi, R. M., Zhang, H., Killinger, K., & Sablani, S. (2017). Inactivation of *Listeria monocytogenes* on Frozen Red Raspberries by Using UV-C Light. *Journal of Food Protection*, 80(4), 545–550. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-16-245>

[47] Syamaladevi, R. M., Adhikari, A., Lupien, S. L., Dugan, F., Bhunia, K., Dhingra, A., & Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Penicillium expansum* on fruit surfaces. *Food Control*, 50, 297–303. <https://doi.org/10.1016/j.foodcont.2014.09.006>

[48] Schirra, M., D'Aquino, S., Cabras, P. y Angioni, A. (2011). Control de poscosecha enfermedades de la fruta por calor y fungicidas: eficacia, niveles de residuos y persistencia de residuos. Una revisión. *Revista de química agrícola y alimentaria*, 59 (16), 8531mi8542. <http://dx.doi.org/10.1021/jf201899t>.

[49] Adhikari, A., Syamaladevi, R. M., Killinger, K., & Sablani, S. S. (2015). Ultraviolet-C light inactivation of *Escherichia coli* O157:H7 and *Listeria monocytogenes* on organic fruit surfaces. *International Journal of Food Microbiology*, 210, 136–142. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.06.018>

[50] Cabo Verde S., Trigo M.J., Sousa M.B., Ferreira A., Ramos A.C., Nunes I., Junqueira C., Melo R., Santos P.M.P., Botelho M.L., Effects of gamma radiation on raspberries: safety and quality issues, 2013, *Journal of Toxicology and Environmental Health, parte A*, vol. 76, págs. 291-303. Más información (en inglés): <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23514071>

[51] Verde, S. C., Trigo, M. J., Sousa, M. B., Ferreira, A., Ramos, A. C., Nunes, I., Junqueira, C., Melo, R., Santos, P. M. P., & Botelho, M. L. (2013). Effects of Gamma Radiation on Raspberries: Safety and Quality Issues. *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 76(4–5), 291–303. <https://doi.org/10.1080/15287394.2013.757256>

[52] Pimenta, A. I., Margaça, F. M., & Cabo Verde, S. (2019). Virucidal activity of gamma radiation on strawberries and raspberries. *International Journal of Food Microbiology*, 304, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.011>

[53] Kong, Q .; Wu, A .; Qi, W .; Qi, R .; Mark, J .; Rasooly, R .; He, X. Efectos de la irradiación con haz de electrones en arándanos inoculados con *Escherichia coli* y su

calidad nutricional y vida útil. *Postcosecha Biol. Technol.*2014, 95, 28–35. [CrossRef]

[54] Nambeesan, SU; Doyle, JW; Capps, HD; Starns, C.; Scherm, H. Efecto de la pasteurización electrónica en frío TM (ECPTM) sobre la calidad de la fruta y las enfermedades poscosecha durante el almacenamiento de arándanos. *Horticulturae* 2018, 4, 25. [CrossRef]

[55] Rajiuddin, S. M., Vigre, H., Musavian, H. S., Kohle, S., Krebs, N., Hansen, T. B., Gantzer, C., & Schultz, A. C. (2020). Inactivation of hepatitis A virus and murine norovirus on surfaces of plastic, steel and raspberries using steam-ultrasound treatment. *Food and Environmental Virology*, 12(4), 295–309. <https://doi.org/10.1007/s12560-020-09441-1>

[56] Hirneisen, KA, Negro, EP, Cascarino, JL, Fino, VR, Hoover, D. G. y Kniel, KE (2010). Inactivación viral en los alimentos: una revisión de las Tecnologías tradicionales y novedosas de procesamiento de alimentos. *Revisiones integrales en ciencia de los alimentos y seguridad alimentaria*, 9(1), 3-20. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2009.00092.x>

[57] Rajiuddin, S. M., Vigre, H., Musavian, H. S., Kohle, S., Krebs, N., Hansen, T. B., Gantzer, C., & Schultz, A. C. (2020). Inactivation of hepatitis A virus and murine norovirus on surfaces of plastic, steel and raspberries using steam-ultrasound treatment. *Food and Environmental Virology*, 12(4), 295–309. <https://doi.org/10.1007/s12560-020-09441-1>

[58] Huang, Y., Sido, R., Huang, R., & Chen, H. (2015). Application of water-assisted pulsed light treatment to decontaminate raspberries and blueberries from Salmonella. *International Journal of Food Microbiology*, 208, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2015.05.016>

[59] Huang, Y., & Chen, H. (2015). Inactivation of Escherichia coli O157:H7, Salmonella and human norovirus surrogate on artificially contaminated strawberries and raspberries by water-assisted pulsed light treatment. *Food Research International*, 72, 1–7. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.03.013>

[60] XU, W., CHEN, H., & WU, C. (2016). Salmonella and Escherichia coli O157:H7 Inactivation, Color, and Bioactive Compounds Enhancement on Raspberries during Frozen Storage after Decontamination Using New Formula Sanitizer Washing or Pulsed Light. *Journal of Food Protection*, 79(7), 1107–1114. <https://doi.org/10.4315/0362-028x.jfp-15-379>

[61] Huang, R., Ye, M., Li, X., Ji, L., Karwe, M., & Chen, H. (2016). Evaluation of high hydrostatic pressure inactivation of human norovirus on strawberries, blueberries, raspberries and in their purees. *International Journal of Food Microbiology*, 223, 17–24. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2016.02.002>

[62] Pimenta, A. I., Margaça, F. M., & Cabo Verde, S. (2019). Virucidal activity of gamma radiation on strawberries and raspberries. *International Journal of Food Microbiology*, 304, 89–96. <https://doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2019.05.011>

[63] Rasiukevičiūtė, N., Valiuškaitė, A., Uselis, N., Buskienė, L., Viškelis, J., & Lukšienė, I. (2015). New non-chemical postharvest technologies reducing berry contamination. *Zemdirbyste-Agriculture*, 102(4), 411–416. <https://doi.org/10.13080/z-a.2015.102.052>

[64] Predmore, A., & Li, J. (2011). Enhanced Removal of a Human Norovirus Surrogate from Fresh Vegetables and Fruits by a Combination of Surfactants and Sanitizers. *Applied and Environmental Microbiology*, 77(14), 4829–4838. <https://doi.org/10.1128/aem.00174-11>

[65] Pinto, L., Palma, A., Cefola, M., Pace, B., D'Aquino, S., Carboni, C., & Baruzzi, F. (2020). Effect of modified atmosphere packaging (MAP) and gaseous ozone pre-packaging treatment on the physico-chemical, microbiological and sensory quality of small berry fruit. *Food Packaging and Shelf Life*, 26, 100573. <https://doi.org/10.1016/j.fpsl.2020.100573>

[66] Falcó, I., Flores-Meraz, P. L., Randazzo, W., Sánchez, G., López-Rubio, A., & Fabra, M. J. (2019). Antiviral activity of alginate-oleic acid based coatings incorporating green tea extract on strawberries and raspberries. *Food Hydrocolloids*, 87, 611–618. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.08.055>