

## **LA RADIACIÓN ULTRAVIOLETA COMO MÉTODO EMERGENTE DE CONSERVACIÓN EN FRUTAS Y VEGETALES**

*Daniela Cabrera-Roque<sup>1\*</sup> y Jorge A. Pino<sup>1,2</sup>*

*<sup>1</sup>Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia, Carretera al Guatao  
km 3½, Habana, CP 17100, Cuba.*

*<sup>2</sup>Instituto de Farmacia y Alimentos. Universidad de La Habana, CP 13600,  
La Habana, Cuba. E-mail: [daniela.cabrera@iia.edu.cu](mailto:daniela.cabrera@iia.edu.cu)*

*Recibido: 02-05-2023 / Revisado: 25-05-2023 / Aceptado: 01-06-2023 / Publicado: 03-08-2023*

### **RESUMEN**

Uno de los principales factores que limita la vida útil de las frutas y hortalizas frescas es el crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento refrigerado. El uso de radiación ultravioleta artificial a una longitud de onda de 190 a 280 nm (UV-C) tiene poder germicida y puede ser eficaz para la descontaminación de la superficie de frutas y hortalizas. El trabajo se centró en analizar los datos bibliométricos y objeto de estudio de las publicaciones acerca de la radiación ultravioleta como método emergente. Se tomaron en cuenta parámetros como el número de publicaciones por año, revistas, afiliaciones, países, autores y modalidad del documento científico.

**Palabras clave:** UV, frutas, hortalizas, estudio bibliométrico.

### **ABSTRACT**

**Ultraviolet radiation as an emerging method of preservation in fruits and vegetables.**

One of the main factors limiting the shelf life of fresh fruits and vegetables is the growth of microorganisms during refrigerated storage. The use of artificial ultraviolet radiation at a wavelength of 190 to 280 nm (UV-C) has germicidal power and can be effective for decontaminating the surface of fruits and vegetables. The work focused on analyzing the bibliometric data and the object of study of the publications about ultraviolet radiation as an emerging method. Parameters such as the number of publications per year, journals, affiliations, countries, authors and modality of the scientific document were taken into account.

**Keywords:** UV, fruits, vegetables, bibliometric study.

### **INTRODUCCIÓN**

Actualmente se prefiere el consumo de alimentos frescos, o lo más parecido a los alimentos frescos, pero al mismo tiempo, se pretende que la vida comercial de los productos sea lo más prolongada posible. Estos dos conceptos son contrarios entre sí, puesto que un alimento fresco, por definición, es el que

posee una menor vida comercial. Sin embargo, para poder prolongar la vida de los productos alimentarios se necesitan tratamientos de conservación. La consecuencia es que cada vez se están invirtiendo una mayor cantidad de recursos económicos y humanos, con la finalidad de conseguir otros procedimientos de conservación que mantengan las características de los alimentos frescos (1, 2). Entre la amplia gama de tecnologías emergentes no térmicas que existen, con un alto estatus comercial, se encuentra el uso de la radiación de luz ultravioleta (UV), muy útil en la industria alimentaria (3).

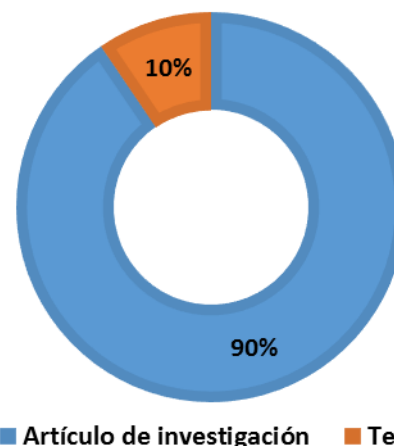
El uso de luz como tratamiento de conservación ha beneficiado en la actualidad a todos los consumidores de alimentos mínimamente procesados. La luz UV es radiación electromagnética que tiene una longitud de onda más corta que la luz visible pero más larga que la de los rayos X. Johann Wilhelm Ritter en 1801 fue quien observó que la radiación fuera del extremo violeta de la luz solar visible podría descomponer el cloruro de plata (4). El tratamiento con luz UV se enfoca en la descontaminación biológica de virus, bacterias, esporas, mohos y levaduras que pudieran atacar a los alimentos (5-8).

El objetivo de este trabajo fue una revisión bibliográfica sobre la utilización del método de conservación con radiación UV en frutas y vegetales.

#### **Análisis bibliométrico de la data**

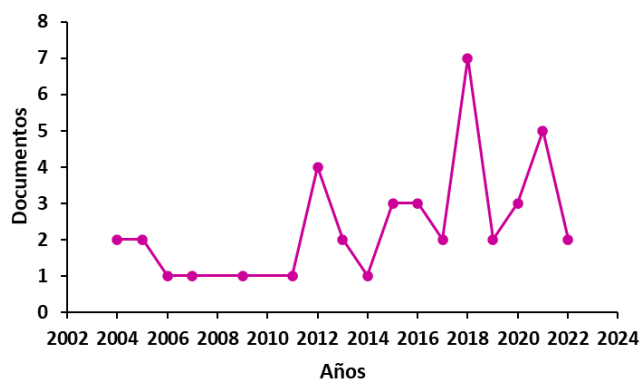
Se desarrollaron estrategias de la búsqueda individual detallada para cada una de las bases de datos bibliográficos siguientes: Scopus (<https://www.scopus.com>), ScienceDirect (<https://www.sciencedirect.com>), Scielo (<https://www.scielo.org>) y Google Scholar (<https://scholar.google.com>). La búsqueda incluyó todos los documentos publicados hasta diciembre de 2022, para todas las bases de datos sin restricciones de tiempo o idioma. Se realizó un análisis bibliométrico que incluyó año, autor, revista, afiliación, país y tipo de documento científico.

Uno de los primeros aspectos que se observan es que la mayor parte de los documentos publicados (cerca del 90 %) son artículos resultados de investigaciones empíricas. El resto (10 %) corresponde a tesis de diploma y maestría (Fig. 1).



**Fig. 1. Porcentaje de publicaciones por tipo de documento científico.**

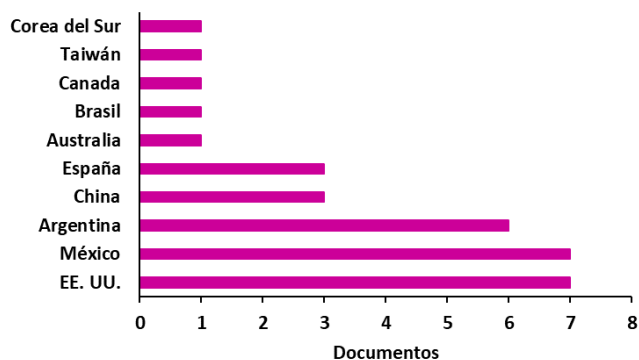
En este período de 18 años aparecen 42 documentos. Los años que sobresalieron en la producción científica fueron 2018 (7 documentos) y 2021 (5 documentos) (Fig. 2).



**Fig. 2. Número de publicaciones por año.**

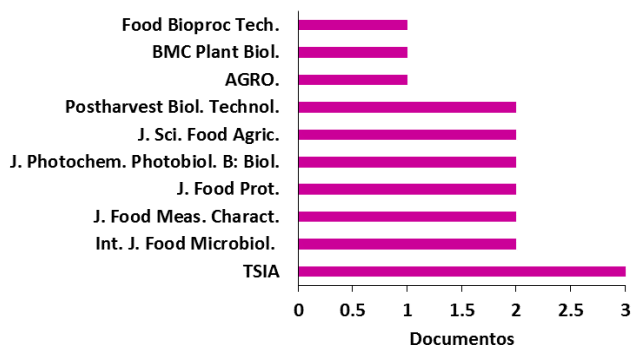
Con el objetivo de tener una mejor visión del panorama mundial de estos documentos se hizo una búsqueda por país donde se hizo la investigación. De esta manera se puede poner de relieve e identificar los mayores contribuyentes en el tema. Del conjunto de países involucrados, los más prolíferos fueron

EE. UU., México y Argentina, seguidos por China y España dentro de un total de 21 países (Fig. 3).



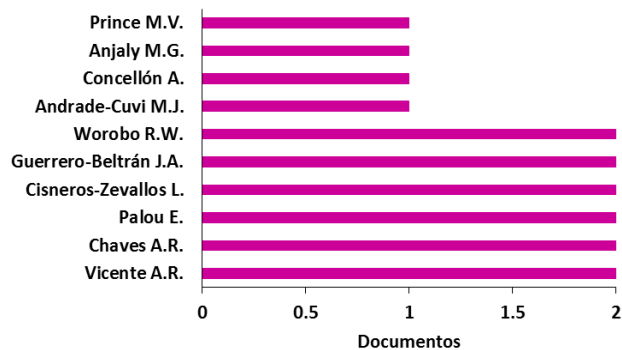
**Fig. 3. Número de publicaciones por países.**

En las revistas científicas sobresalen 10 de un total de 30 revistas registradas en la búsqueda (Fig. 4). De ellas, las más sobresalientes son: *Temas Selectos de Ingeniería de los Alimentos* (editorial UDLAP) e *International Journal of Food Microbiology* (editorial Elsevier).



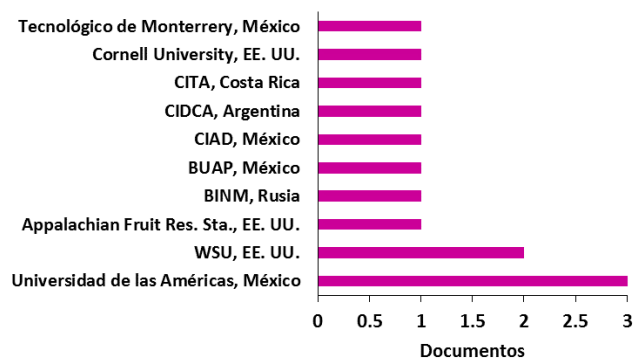
**Fig. 4. Número de publicaciones para las revistas más sobresalientes.**

La Fig. 5 muestra los autores con mayor producción en el tema de estudio, los que representan un total de 131 autores. De ellos, sobresalen seis autores.



**Fig. 5. Número de publicaciones de los autores más notables.**

Un total de 39 instituciones han participado en las investigaciones sobre la radiación UV para la conservación de frutas y vegetales. En la Fig. 6 aparecen 10 de ellas, donde sobresalen la Universidad de las Américas (México) y la Universidad Estatal de Washington (EE. UU.).



**Fig. 6. Número de publicaciones para las instituciones más sobresalientes.**

## RESULTADOS

### Generalidades del método UV

La radiación con luz UV se utiliza como método de desinfección, lo que a su vez aumenta la vida útil de alimentos sólidos y líquidos, este tratamiento se ha utilizado en la industria alimentaria para desinfectar cintas transportadoras, láminas, tapas de cierre, envases, superficie de frutas, verduras, carnes, pescados, jugos de frutas y verduras, agua y

también para el tratamiento de agua utilizada para la producción (1, 9).

La radiación UV se subdivide en cuatro regiones: UV vacío, UV de onda corta, UV de onda media y UV de onda larga; que se utilizan para las normas CIE e ISO (10-12). La luz UV de vacío (100 a 200 nm) es fuertemente absorbida por el oxígeno y lleva a la formación de ozono. La luz UV de onda corta (UV-C), con longitudes de onda de 200 a 280 nm, llamada también rango germicida, que es efectiva por inactivación de las bacterias y virus, específicamente a 254 nm. La luz UV de onda media (UV-B), con longitudes de onda de 280 a 315 nm, está relacionada con quemaduras en la piel provocadas por exposiciones prolongadas. La luz UV de onda larga (UV-A), con longitudes de onda de 315 a 400 nm, causa cambios en la coloración de la piel (13).

Las ondas que se aplican a los productos deben ser en forma de pulsos en lugar de manera constante. Esto es para prevenir que se alteren de manera drástica sus cualidades organolépticas y el tiempo por el que se aplica variará de 1 a 5 min o más en dependencia del tipo de alimento que se exponga al tratamiento. Dentro de los primeros 5 min hay una baja posibilidad de modificar las características del producto; aunque en algunos tratamientos con tiempos más largos no se afectan. Los tratamientos dependen específicamente de la matriz y su composición: en los líquidos transparentes la penetración de la radiación es muy buena por el contrario de líquidos más oscuros que a su vez contengan sólidos en suspensión; los alimentos sólidos solo son afectados de manera superficial por el tratamiento con la disminución de la carga bacteriana (7, 14).

El tratamiento con UV-C ofrece varias ventajas a los procesadores de alimentos, ya que no deja residuos, no tiene restricciones legales, es fácil de usar y es letal para la mayoría de los tipos de microorganismos. Además, no requiere de medidas de seguridad de alto costo para ser implementado (15, 16).

### **Equipos de radiación UV**

Es debido a las propiedades germicidas de la radiación UV-C que se han creado fuentes de radiación artificiales (lámparas) con fines prácticos, generalmente con propósitos de desinfección. Estas fuentes de radiación son fabricadas con lámparas de mercurio de baja presión, que producen radiación a 254 nm (11).

Por ello, las aplicaciones prácticas de desinfección por UV dependen de fuentes artificiales de UV-C. Las fuentes más comunes son lámparas de arco de mercurio de baja y mediana presión que están disponibles comercialmente (7).

Se han elaborado diversas lámparas de luz UV-C para obtener diferentes condiciones y mejorar los resultados, algunos ejemplos se citan a continuación (10):

Lámparas de mercurio: Ellas están constituidas por un tubo herméticamente cerrado de cuarzo (transmisores de radiación UV-C) con electrodos en ambos extremos. El tubo es llenado con mercurio y un gas inerte (usualmente argón). Un electrodo se localiza en cada extremo del tubo conectado por un sello, estos electrodos son una combinación de tungsteno y mezclas de alcalinotérreos. La radiación UV es emitida por el mercurio que es excitado por una descarga. El argón ayuda para el arranque de la lámpara y reduce las pérdidas térmicas, al igual que extiende la vida de los electrodos.

- a. Lámparas de mercurio de baja presión: Estas son operadas de  $10^2$  a  $10^3$  Pa, presión correspondiente al mercurio líquido a  $40^\circ\text{C}$ . Aproximadamente el 85 % de la radiación emitida con una longitud de onda de 253,7 nm, la que es más eficiente para la destrucción de microorganismos.
- b. Lámparas de mercurio de mediana presión: Estas son operadas entre  $10^4$  y  $10^6$  Pa, alcanzando temperaturas que van entre  $600$  y  $800^\circ\text{C}$ , por lo que se requiere utilizar recubiertos de cuarzo ventiladas, al igual que evitar el contacto directo de la superficie de la lámpara con el fluido a tratar, se producen ondas que van de los 250 nm a los 600 nm, no son útiles como germicida, pero la fuerte radiación en una penetración más profunda.

Lámparas UV de microondas: Estas utilizan un magnetrón, el que produce microondas, la radiación se produce cuando los átomos de mercurio que son excitados regresan a un nivel excitado de menor energía, el uso de esta tecnología para la desinfección de alimentos se encuentra en investigación.

Lámparas de pulsos de UV: Estas generan radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda entre 100 y 1100 nm. La radiación es producida, se almacena energía eléctrica en un capacitor y libera en forma de pulsos de intensa emisión de radiación por microsegundos. Los alimentos deben recibir esta radiación por no más de 2 ms.

### **Mecanismo de desinfección por UV**

Los microorganismos son inactivados por la luz UV como resultado del daño fotoquímico a sus ácidos nucleicos (ADN o ARN). La radiación UV es absorbida por los nucleótidos y promueve la creación de enlaces entre nucleótidos adyacentes, con lo que se crean moléculas dobles o dímeros. Si bien la formación de dímeros de tiamina-tiamina son los más comunes, también suelen ocurrir dímeros de citosina-citosina, citosina-tiamina, y dimerización del uracilo. La formación de un número suficiente de dímeros dentro de un microorganismo impide que este replique su ADN o ARN, lo que impide su reproducción. Debido a la dependencia de la longitud de onda para la absorción de UV por parte del ADN, la inactivación por UV de los microorganismos también está en función de la longitud de onda (7, 15, 17).

### **Usos en la industria alimentaria**

La tecnología UV se ha aplicado en la industria alimentaria para muchos propósitos diferentes.

Esterilización de superficies: uno de los usos más comunes de las lámparas UV-C germicidas es como esterilizadores ambientales en equipos de llenado de alimentos, cintas transportadoras, contenedores y superficies de trabajo. Las lámparas UV esterilizadoras se utilizan con frecuencia para el envasado aséptico, una tecnología que se espera que siga creciendo en los próximos años (18).

Desinfección de fluidos: La radiación UV en la zona C se ha utilizado para la desinfección del agua desde 1909. También se ha aplicado para la pasteurización de jugos. La UV-C no genera subproductos indeseables, ni aporta capacidad residual de desinfección, por lo que se aplica para reducir el uso de cloro (19).

Tratamiento del aire: la desinfección del aire se puede lograr a través de diferentes estrategias, que van desde irradiar solo el aire en la región superior hasta tratar todo el aire, ya sea cuando la habitación está vacía o durante la circulación a través de los sistemas de aire acondicionado. El hecho de que dosis de radiación UV-C relativamente bajas (0,1 a 0,3 kJ/m<sup>2</sup> para reducciones de dos ciclos logarítmicos) puedan inactivar los coronavirus del SARS humanos ha aumentado el interés reciente en el uso de la radiación UV para el tratamiento del aire (20).

Tratamiento de residuos: otra aplicación de la radiación UV ha sido la eliminación de compuestos orgánicos volátiles (COV) indeseables en los escapes industriales. Esto se ha logrado mediante procesos de oxidación avanzados que combinan la radiación UV con fotocatalizadores, como el TiO<sub>2</sub>. Esta estrategia genera ambientes altamente oxidativos, lo que facilita la degradación de moléculas no deseadas (4).

Trampas para insectos: desde hace mucho tiempo se sabe que la radiación UV puede atraer insectos; por lo tanto, se utiliza con fines de captura. Las trampas de luz para insectos más comunes utilizan tubos fluorescentes de "luz negra" que emiten luz UV-A como atrayentes de insectos tanto antes como después de la cosecha. Además, los insectos pueden quedar atrapados en materiales pegados o morir en rejillas cargadas eléctricamente (4).

### **Usos en postcosecha de frutas y vegetales con UV**

La tecnología UV puede ser de interés para el tratamiento postcosecha de frutas y hortalizas para muchos propósitos diferentes (9, 21).

Selección de la materia prima: La presencia de defectos o heridas en la piel es uno de los factores que más están

afectando la aceptabilidad del consumidor y las decisiones de compra. En consecuencia, una de las actividades intensivas de las empacadoras es separar la fruta con estos defectos. Normalmente, esto se realiza mediante inspección visual o clasificación óptica mecánica cuando la fruta está iluminada bajo una luz blanca apropiada (4, 22). En cítricos, el uso de lámparas UV durante la primera clasificación puede facilitar la identificación de daños físicos. UVA “luz negra” ilumina la fruta, mostrando que las pequeñas grietas de la cáscara emiten una fluorescencia intensa, lo que permite la segregación en los primeros pasos de clasificación (23). Las cintas que transportan la fruta atraviesan estas salas, donde los operarios deben llevar gafas y guantes de protección.

#### Control de microorganismos patógenos y de deterioro:

Confianza en las propiedades germicidas de UV-C, un gran cuerpo de investigación evaluó esta tecnología en frutas y verduras para controlar los microorganismos superficiales (2, 24). La muerte microbiana inducida por UV-C se ha atribuido a las mutaciones del ADN, incluida la formación de dímeros de tipo ciclobutilo (dímeros de pirimidina) y aductos de pirimidina (25). Es probable que la mayoría de las enzimas que contienen aminoácidos aromáticos sean sensibles a la radiación UV hasta cierto punto debido a su absorción en esta región. Debido a su mayor energía, UV-C es el más efectivo para matar microorganismos (26). Sucesivos estudios demostraron que la radiación UV es más eficiente para inactivar bacterias Gram-negativas que Gram-positivas. Este efecto se ha asociado con la diferencia en la estructura del péptido glucano de la pared celular, que puede afectar la penetración de la radiación (27). Además, los organismos eucariotas normalmente son más resistentes a los rayos UV que las bacterias debido a su mayor tamaño celular, complejidad y redundancia genética (28). La resistencia relativamente alta de la levadura a la radiación UV también se ha asociado con un contenido más bajo de pirimidina de ADN en relación con las bacterias, lo que puede aumentar la probabilidad de que otros compuestos absorban los fotones.

En estudios de jugo de tomate recién extraído (29) y jugos de frutas y hortalizas (6, 11, 30, 31), se enfocan en destacar la capacidad de mejorar o preservar parámetros vitales de calidad, fundamentalmente para el control microbiológico y deterioro de bacterias.

La tecnología UV-C es no solo más barato sino también más seguro ya que no genera ningún peligro productos químicos. La radiación UV-C es una técnica con un gran potencial en la destrucción de bacterias y esporas en diferentes jugos de frutas. La radiación actúa provocando reacciones químicas inducidas por la luz en el ADN de los microorganismos, lo que lleva a su destrucción (16).

La radiación UV-C ha demostrado una gran capacidad para estimular la producción de antioxidantes en los vegetales. La irradiación causa el inicio de un mecanismo de defensa de los vegetales, ya que reciben la energía de la radiación como una agresión. De esta manera, se activan los mecanismos metabólicos responsables de generar los compuestos antioxidantes. Esto supone una mejora por la estimulación en la producción de antioxidantes. Sin embargo, debe evitarse que la luz emitida dañe el alimento y es preciso medir con exactitud la dosis de radiación que se aplica al producto. Esta dosis varía en función de la composición, tamaño y características del alimento (30).

Además de los efectos sobre los compuestos fenólicos, los carotenoides y el ácido ascórbico, se ha demostrado que los tratamientos UV aumentan el contenido de vitamina D. Exposición a la luz solar y los alimentos dietéticos son las formas más importantes para que los humanos obtengan vitamina D. Los hongos son ricos en ergosterol, un precursor de la vitamina D<sub>2</sub>, que puede ser convertido en dicha vitamina bajo una exposición adecuada a los rayos UV. Este efecto de la luz UV-A, UV-B, y UV-C ha sido probado en diferentes tipos de hongos comestibles. La zona de radiación UV-B muestra el mayor efecto inductivo, siendo otros factores importantes la dosis de radiación aplicada, el contenido de agua del producto y el grado de procesamiento (32).

Retraso de la maduración y senescencia: En algunos productos y bajo el tratamiento adecuado, la radiación UV puede retrasar la maduración y senescencia. Estos efectos podrían entenderse al reconocer que ambos procesos de desarrollo son genéticamente regulados y requieren programas de transcripción específicos para ser inducidos. Bajo la radiación UV, las células redirigen sus programas de desarrollo normales para responder principalmente a estímulos estresantes (33, 34). La aclimatación al estrés favorece la inducción de genes sensibles a los rayos UV a expensas de los genes relacionados con la maduración o la senescencia. La eficacia de los tratamientos UV para retrasar la maduración depende del programa de irradiación UV utilizado y, en gran medida, del estado de maduración inicial del producto (35). Un efecto benéfico se observó en la aplicación de frutas enteras y cortadas, donde el tratamiento con irradiación UV puede aumentar la vida útil de productos como fresas, manzanas y melocotones por su efecto en la reducción de la tasa de respiración. Este retrasa la maduración, activa las defensas naturales de los productos, la fuga de electrolitos y mantiene la firmeza y calidad por tiempos más prolongados (14)

Por tanto, la aplicación de luz UV como método de conservación tiene beneficios en cuanto a calidad y seguridad alimentaria para el consumo de producto tratados con este método.

Inducción de resistencia a esfuerzos cruzados y respuestas sinérgicas: actualmente se conoce que las respuestas al estrés biótico y abiótico utilizan señales, vías y desencadenantes comunes. Esta superposición incluye cambios comunes en el estado redox celular, especies reactivas de oxígeno, hormonas, cascadas de proteína quinasa y gradientes de calcio como elementos comunes y ayuda a explicar los fenómenos de tolerancia cruzada, en los que la exposición a un tipo de estrés puede mejorar la tolerancia a varios tipos diferentes de estrés (4). Con los tratamientos UV que preceden al frío se ha informado que el almacenamiento mejora la tolerancia al frío

de productos sensibles como: durazno (36), pimiento dulce (37) y tomate (38). Algunos de los cambios metabólicos detrás de la tolerancia cruzada incluyen la inducción de la biosíntesis de poliaminas en frutas de hueso y un aumento de las enzimas antioxidantes en el caso del pimiento (39). Otro efecto observado de la combinación de tensiones es una respuesta sinérgica en los tejidos vegetales, como en los alimentos con heridas que se exponen a la luz UV. Este sinergismo entre esfuerzos aplicados simultáneamente es debido a la activación de moléculas y vías de señalización similares. Esto se ha informado en la biosíntesis de polifenoles y betalaínas (40). El procesamiento de alimentos por luz UV ha tenido éxito en una variedad de matrices, incluyendo uva, arándano, toronja, mango, jugos de naranja y zanahoria, así como sidra de manzana. La longitud de onda germicida de los rayos UV (254 nm) ha demostrado ser bastante eficaz por un aumento de la vida útil, estabilidad y seguridad de muchos de estos productos (41).

## CONCLUSIONES

Se realizó una revisión bibliográfica sobre la radiación UV como método efectivo para reducir la carga microbiana en frutas, vegetales y sus derivados. A partir de la información brindada en gran parte de los artículos revisados, se comprueba que el rango de las longitudes de onda de 200 a 280 nm, que corresponde al UV-C, es el tratamiento idóneo para aumentar la durabilidad y seguridad de matrices como frutas y vegetales de cuarta gama, así como jugos y otros procesados con dicha materia prima. La radiación UV promueve variadas ventajas y además, no solo a los alimentos, sino también, a los equipos, utensilios, agua de procesamiento y el medio en general de la industria.

Se recomienda ampliar los ensayos *in vivo* para verificar la eficacia y seguridad del uso de luz UV en alimentos hortofrutícolas. La información reportada en esta revisión puede contribuir científicamente a guiar futuras

investigaciones o producciones que se desarrollen como un método eficaz para la desinfección microbiana.

## REFERENCIAS

1. Martín V. Rediseño y evaluación de un equipo de radiación UV-C para alimentos de origen vegetal. [Tesis de Grado]. Universidad Nacional de Cuyo; 2019.
2. Fenoglio D, Ferrario M, Schenk M, Guerrero S. Effect of pilot-scale UV-C light treatment assisted by mild heat on *E. coli*, *L. plantarum* and *S. cerevisiae* inactivation in clear and turbid fruit juices. Storage study of surviving populations. *Int J Food Microbiol* 2020; 332:e108767.
3. Short BD, Janisiewicz W, Takeda F, Leskey TC. UV-C irradiation as a management tool for *Tetranychus urticae* on strawberries. *Pest Manag Sci* 2018; 74(11):2419-23.
4. Darré M, Vicente AR, Cisneros-Zevallos L, Artés-Hernández F. Postharvest ultraviolet radiation in fruit and vegetables: applications and factors modulating its efficacy on bioactive compounds and microbial growth. *Foods* 2022; 11(5):1-19.
5. Haro-Maza JF, Guerrero-Beltrán JA. Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras. *TSIA* 2013; 7(1):68-77.
6. Unluturk S, Atilgan MR. Microbial safety and shelf life of UV-C treated freshly squeezed white grape juice. *J Food Sci* 2015; 80(8):1831-41.
7. Reyes-Arcos EA. Evaluación de la luz ultravioleta de onda corta (UV-C) y luz azul sobre las características fisicoquímicas y microbiológicas en tejocote (*Crataegus mexicana*) durante el almacenamiento. [Tesis de postgrado]. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla; 2016.
8. Diao E, Chu X, Hou H, Dong H, Gao D. Improving the safety of apple juice by UV irradiation. *J Food Meas Charact* 2018; 12(3):2005-11.
9. Ribeiro C, Canada J, Alvarenga B. Prospects of UV radiation for application in postharvest technology. *J Food Agric* 2012; 24(6):586-97.
10. Antonio-Gutiérrez OT, Palou E, López-Malo A. Equipos para tratamientos de alimentos con radiación UV-C. *TSIA* 2012; 12(1):149-59.
11. Feliciano RJ, Estilo EEC, Nakano H, Gabriel AA. Ultraviolet-C resistance of selected spoilage yeasts in orange juice. *Food Microbiol* 2019; 78:73-81.
12. Costa-Menezes NM, Tremarin A, Furigo-Junior A, Falcão de Aragão GM. Effect of soluble solids concentration on *Neosartorya fischeri* inactivation using UV-C light. *Int J Food Microbiol* 2019; 296:43-7.
13. González-Déctor D. Desinfección de semillas de alfalfa con luz ultravioleta de onda corta (UV-C). [Tesis de postgrado]. Universidad de las Américas Puebla; 2006.
14. Vázquez-Correa A. Innovación tecnológica en los métodos de conservación de alimentos [Tesis de postgrado]. Universidad Autónoma Metropolitana Unidad Xochimilco; 2021.
15. Gutiérrez D, Ruiz-López G, Sgroppo S, Rodríguez S. Uso de la radiación UV-C en el proceso de elaboración de hortalizas de IV gama. *Agrocienc Urug* 2016; 20(2):7-13.
16. Anjaly MG, Prince MV, Warriar AS, Nandhu-Lal AM, Mahanti NK, Pandiselvam R, Thirumdas R, Sreeja R, Rusu AV, Trif M, Kothakota A. Design consideration and modelling studies of ultrasound and ultraviolet combined approach for shelf-life enhancement of pineapple juice. *Ultrason Sonochem* 2022; 90(3): 1-12.
17. Guerrero-Beltrán JA, Barbosa-Cánovas GV. Advantages and limitations on processing foods by UV light. *Food Sci Technol Int* 2004; 10(3):137-47.
18. Koutchma T. (2009). Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food Bioprocess Technol*; 2(2):138-55.



19. Wang CP, Chang CS, Lin WC. Efficiency improvement of a flow-through water disinfection reactor using UV-C light emitting diodes. *J Water Process Eng* 2021; 40: e101819.
20. Matafonov G, Batoev V. Recent advances in application of UV light-emitting diodes for degrading organic pollutants in water through advanced oxidation processes: A review. *Water Research* 2018; 132:177-89.
21. Turtoi M. Ultraviolet light treatment of fresh fruits and vegetables surface: A review. *J Agroalimnt Processes Technol* 2013; 19:325-37.
22. Blasco J, Aleixos N, Gómez J, Molto E. Citrus sorting by identification of the most common defects using multispectral computer vision. *J Food Eng* 2007; 83(3):384-93.
23. Firouzjaei RA, Minaei S, Beheshti B. Sweet lemon mechanical damage detection using image processing technique and UV radiation. *J Food Meas Charact* 2018; 12(3):1513-8.
24. Charles F. Current challenges of physical treatments to control quality and postharvest diseases of fresh fruits and vegetables. *IOP Conf Ser: Earth Environ Sci* 2018; 309: e012003.
25. Leung WY, Murray V. The influence of DNA methylation on the sequence specificity of UVB-and UVC-induced DNA damage. *J Photochem Photobiol B: Biol* 2021; 221: e112225.
26. Hoerter JD, Arnold AA, Kuczynska DA, Shibuya A, Ward CS, Sauer MG, Gizachew A, Hotchkiss TM, Fleming TJ, Johnson S. Effects of sublethal UVA irradiation on activity levels of oxidative defense enzymes and protein oxidation in *Escherichia coli*. *J Photochem Photobiol B: Biol* 2005; 81(1):171-80.
27. Kim DK, Kim SJ, Kang DH. Bactericidal effect of 266 to 279 nm wavelength UVC-LEDs for inactivation of Gram positive and Gram negative foodborne pathogenic bacteria and yeasts. *Food Res Int* 2017; 97:280-7.
28. Soler P, Moreno-Mesonero L, Zornoza A, Macián VJ, Moreno Y. Characterization of eukaryotic microbiome and associated bacteria communities in a drinking water treatment plant. *Sci Total Environ* 2021; 797: e149070.
29. Bhat R. Impact of ultraviolet radiation treatments on the quality of freshly prepared tomato (*Solanum lycopersicum*) juice. *Food Chem* 2016; 213:635-40.
30. Gause S, Chauhan A. UV-blocking potential of oils and juices. *Int J Cosmet Sci* 2015; 38(4):354-63.
31. Usaga J, Worobo RW. Microbial safety and quality evaluation of uv-treated, cold-pressed colored and turbid juices and beverages. *J Food Prot* 2018; 81:1549-56.
32. Jiang Q, Zhang M, Mujumdar AS. UV induced conversion during drying of ergosterol to vitamin D in various mushrooms: Effect of different drying conditions. *Trends Food Sci Tech* 2020; 105:200-10.
33. Carbonell-Bejerano P, Diago MP, Martínez-Abaigar J, Martínez-Zapater JM, Tardáguila J, Núñez-Olivera E. Solar ultraviolet radiation is necessary to enhance grapevine fruit ripening transcriptional and phenolic responses. *BMC Plant Biology* 2014; 14(1): e183.
34. Dotto M, Casati P. Developmental reprogramming by UV-B radiation in plants. *Plant Science* 2017; 264:96-101.
35. Li T, Yamane H, Tao R. Preharvest long-term exposure to UV-B radiation promotes fruit ripening and modifies stage-specific anthocyanin metabolism in high bush blueberry. *Hortic Res* 2021; 8(1): e67.
36. González-Aguilar G, Wang CY, Buta GJ. UV-C irradiation reduces breakdown and chilling injury of peaches during cold storage. *J Sci Food Agric* 2004; 84(5):415-22.
37. Vicente AR, Pineda C, Lemoine L, Civello PM, Martinez GA, Chaves AR. UV-C treatments reduce decay, retain quality, and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biol Technol* 2005; 35(1):69-78.

38. Liu C, Jahangir MM, Ying T. Alleviation of chilling injury in postharvest tomato fruit by preconditioning with ultraviolet irradiation. *J Sci Food Agric* 2012; 92:3016-22.
39. Andrade-Cuvi MJ, Vicente AR, Concellón A, Chaves AR. Changes in red pepper antioxidants as affected by UV-C treatments and storage at chilling temperatures. *Food Sci Technol* 2011; 44(7):1666-71.
40. Ortega-Hernández E, Nair V, Serrano-Sandoval SN, Welti-Chanes J, Cisneros-Zevallos L, Jacobo-Velázquez DA. Wounding and UVB light synergistically induce the postharvest biosynthesis of indicaxanthin and betanin in red prickly pears. *Postharvest Biol Technol* 2020; 167: e111247.
41. Manns DC, Churey JJ, Worobo RW. Variable efficacy of the proteinaceous antifungal yvgo in select fruit juices and teas as a complement with UV methods of food protection. *J Food Prot* 2015; 78:1851-60.