

REVISIÓN

Uso de la radiación UV-C en el proceso de elaboración de hortalizas de IV gama*

Gutiérrez Diego¹, Ruiz López Gustavo¹, Sgroppo Sonia³, Rodríguez Silvia^{1,2}

¹Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Agronomía y Agroindustria, Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas, Centro de Investigaciones y Transferencia de Santiago del Estero (CITSE). RN 9, km 1125, Villa El Zanjón, 4206 Santiago del Estero, Argentina.

²Universidad Nacional de Santiago del Estero, Facultad de Agronomía y Agroindustrias, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos. Belgrano (S) 1912, Santiago del Estero, Argentina. Correo electrónico: silviadepece@hotmail.com

³Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales y Agrimensura, Laboratorio de Tecnología Química y Bromatología. Avenida Libertad 5450, 3400 Corrientes, Argentina

Recibido: 19/6/15 Aceptado: 19/4/16

Resumen

Uno de los principales factores que limita la vida útil de las hortalizas frescas es el crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento refrigerado. Es por ello que durante la etapa de procesamiento de hortalizas de IV gama siempre se incluye una etapa de lavado y sanitización para reducir la contaminación microbiana inicial. El uso de radiación ultravioleta artificial (UV) 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. Sin embargo, su eficacia antimicrobiana puede estar influenciada por las características y composición del producto. 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, es letal para la mayoría de los tipos de microorganismos, y no requiere un equipo de seguridad complejo para ser implementado. Este trabajo evalúa la aplicación de la radiación UV-C en el proceso de elaboración de hortalizas de IV gama y concluye que podría ser una alternativa adecuada como agente sanitizante.

Palabras clave: UV-C, sanitización, hortalizas mínimamente procesadas, poscosecha

Summary

UV-C Radiation in the Elaboration Process of IV Gamma Vegetables

One of the major factors limiting the life of fresh vegetables is the growth of microorganisms during cold storage. That is why the processing of IV gamma vegetables always includes a step of washing and sanitization to reduce the initial microbial contamination. The use of artificial ultraviolet radiation (UV) at a wavelength from 190 to 280 nm (UV-C) has germicidal power and can be effective for decontamination of the surface of fruits and vegetables. However, antimicrobial efficacy may be influenced by the characteristics and composition of the product. UV-C treatments offer several advantages to food processors; it does not leave any residue, has no legal restrictions, it is easy to use, it is lethal for most types of microorganisms, and requires no complex safety equipment to be implemented. This paper evaluates the application of UV-C radiation in the process of developing IV gamma vegetables and concludes that it might be a suitable alternative as a sanitizing agent.

Keywords: UV-C, sanitization, minimally processed vegetables, postharvest

Procesamiento de vegetales de IV Gama

La corriente en todo el mundo de optar por un estilo de vida saludable ha llevado a una creciente demanda de alimentos frescos listos para consumir, bajos en calorías, libres de aditivos e higiénicamente seguros, con un alto valor nutricional y propiedades antioxidantes (Escalona y Luchsinger, 2008). Las frutas y hortalizas de IV gama, también conocidos como vegetales mínimamente procesados (VMP), ofrecen grandes ventajas para los consumidores, debido principalmente a su frescura, al manejo económico, presentación atractiva y a su disponibilidad de estar listos para ser consumidos, aunque proporcionan un medio ideal para el desarrollo microbiano (Little y Gillespie, 2008; Artés *et al.*, 2009).

Las hortalizas IV gama, frente a los productos enteros frescos, presentan la desventaja de que su vida útil es menor debido al procesamiento que han sufrido. Sin embargo, estos productos poseen un mayor valor añadido que, desde la perspectiva del productor y de la industria, los hace dignos de ser tenidos en cuenta (Ruiz López *et al.*, 2010).

Uno de los principales factores que limita la vida útil de hortalizas IV gama es el desarrollo de microorganismos durante el almacenamiento refrigerado. La industria de hortalizas IV gama comúnmente utiliza hipoclorito de sodio (NaClO) y ácidos como agentes desinfectantes; sin embargo, los subproductos generados de este procedimiento, tales como los trihalometanos y cloraminas son potencialmente dañinos para los seres humanos. Por lo tanto, diferentes autores sugieren el empleo de agentes desinfectantes alternativos (Artés *et al.*, 2009; Escalona *et al.*, 2010; Nogales-Delgado *et al.*, 2012).

En los últimos años diferentes autores han estudiado distintos tratamientos físicos alternativos para ser utilizados durante el procesamiento de hortalizas con el fin de reducir su carga orgánica. Estos métodos físicos incluyen ultrasonido, alta presión, pulsos eléctricos de alta intensidad, radiación ultravioleta C (UV-C), tratamientos térmicos moderados, oxígeno superatmosférico y tratamientos con gases innovadores (argón, helio, xenón, óxido nitroso) (Garmendia y Vero, 2006; Inestroza-Lizardo y Escalona, 2015).

El uso de radiación UV a una longitud de onda de 190 a 280 nm tiene un reconocido poder germicida y puede ser eficaz para la descontaminación de la superficie de hortalizas recién cortadas (Artés-Hernández *et al.*, 2009, 2010; Tomás-Callejas *et al.*, 2012). Un punto importante es que la eficacia de la luz UV-C depende de la irradiación incidente, determinada por la estructura y la topografía de la superficie

del producto (Gardner y Shama, 2000). Sin embargo, su eficacia antimicrobiana puede estar influenciada también por la composición del producto y el contenido de sólidos solubles del agua de proceso empleada en el lavado (Selma *et al.*, 2008; Nogales-Delgado *et al.*, 2012).

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 (Bintsis *et al.*, 2000). Además, no requiere de medidas de seguridad de alto costo para ser implementado (Yaun *et al.*, 2004). Sobre la forma en que actúa, Lado y Yousef (2002) informaron que la radiación UV-C de 0,5 a 20 kJ m⁻² inhibe el crecimiento microbiano mediante la inducción de la formación de dímeros de pirimidina que alteran la hélice de ADN y bloquean la replicación celular microbiana. Por lo tanto, las células que son incapaces de reparar el ADN dañado por la radiación mueren y las células heridas sub-letalmente son a menudo objeto de mutaciones. La dosis efectiva de UV-C depende del tipo de hortaliza tratada y en el caso de dosis demasiado altas pueden causar efectos nocivos en la calidad del producto (Perkins-Veazie *et al.*, 2008).

Otra ventaja que subyace en la eficacia de la radiación UV-C parece ser su independencia de la temperatura en el rango 5-37 °C, aunque depende de la irradiación incidente (Bintsis *et al.*, 2000; Gardner y Shama, 2000; Lado y Yousef, 2002).

En los últimos años se han realizado estudios para determinar el efecto de la radiación UV-C en diferentes hortalizas, con el objetivo de reducir la carga microbiana superficial (Escalona *et al.*, 2010; Martínez-Hernández *et al.*, 2011; Tomás-Callejas *et al.*, 2012), controlar enfermedades (Pan *et al.*, 2004), frenar los procesos relacionados con la maduración (Barka *et al.*, 2000) y también para estudiar cómo el estrés de esta radiación afecta el desarrollo de daño por frío en algunos productos sensibles (Vicente *et al.*, 2005). El uso combinado de la radiación UV-C y atmósferas modificadas pasivas redujo el crecimiento de bacterias coliformes psicrotóficas y levaduras en la lechuga Red Oak Leaf recién cortada, sin afectar negativamente su calidad sensorial (Allende y Artés, 2003). Otros estudios han informado que la radiación UV-C inhibe el crecimiento microbiano y retarda el decaimiento y la senescencia de calabacín (Erkan *et al.*, 2001), tomates (Liu *et al.*, 1993; Lu *et al.*, 1987; Maharaj *et al.*, 1999; Charles *et al.*, 2008), zanahorias (Mercier *et al.*, 1993a, 1993b, 2000), batata (Stevens *et al.*, 1999) y brócoli (Costa *et al.*, 2006).

En este trabajo se reseña la aplicación de la radiación UV-C en el proceso de elaboración y conservación refrigerada de hortalizas de IV gama.

Aplicación de radiación UV-C

En términos generales los equipos utilizados para el tratamiento de hortalizas con radiación UV-C consisten en una cámara de acero inoxidable con paredes reflectantes que varían sus dimensiones según la cantidad de producto que se desee tratar (Artés-Hernández *et al.*, 2010; Martínez-Hernández *et al.*, 2013; Gutiérrez *et al.*, 2015).

Estas cámaras pueden ser construidas para procesos continuos o discontinuos y están equipadas con bancos de varias lámparas germicidas sin filtro. La radiación empleada es generalmente de 254 nm, ya que a esa longitud de onda se obtiene su máximo poder germicida. Estas lámparas deben ubicarse en la parte superior e inferior de la misma, a fin de irradiar el producto en ambas caras. Para ello las cámaras están provistas de una malla plástica o de acero inoxidable que soporte las muestras sin bloquear significativamente la incidencia de la radiación UV-C. En la Figura 1 se presenta una imagen de una cámara de irradiación a escala piloto ubicada en el Centro de Estudios Poscosecha de la Universidad de Chile.

El tamaño y geometría de los alimentos repercuten sobre el diseño y dimensiones de las cámaras de irradiación,

por lo tanto, la producción de equipos a escala industrial estará limitada por las características morfológicas de los productos, por la estructura y topografía de la superficie (Escalona *et al.*, 2010). Estos aspectos inciden sobre la luz monocromática absorbida o incidente, pues el grado de penetración en el tejido es muy bajo, actuando, principalmente, sobre el área expuesta, y siendo menos eficiente en poros, orificios y endocarpio (Quintero-Cerón *et al.*, 2013)

Con el fin de determinar la intensidad de la radiación UV-C de las lámparas, se puede utilizar un radiómetro digital. La intensidad de la radiación UV-C aplicada se calcula como una media de aproximadamente 15 lecturas de la radiación incidente de UV-C en diferentes puntos dentro de la cámara y debajo de las lámparas, de modo de asegurar que la exposición del producto a la radiación UV-C sea homogénea.

Una vez seleccionada la intensidad de la radiación UV-C más adecuada para cada producto, según el objetivo planteado, se mantienen constantes las variables del proceso (intensidad de la radiación y distancia entre las lámparas y el producto). Se recomienda colocar dentro de la cámara de radiación un ventilador para que mueva el aire interior y evitar así un aumento de temperatura del producto que se procesa. Los tiempos de exposición a la radiación UV-C para la cámara de irradiación como el de la Figura 1 pueden oscilar entre 160 y 480 s para tratamientos con dosis entre 10 y 30 kJ m⁻², empleando intensidades de 2 kW m⁻² (Gutiérrez *et al.*, 2015).



Figura 1. Imagen de una cámara para irradiación UV-C a escala piloto (Centro de Estudios Poscosecha-Universidad de Chile).

Aplicaciones de UV-C en hortalizas IV gama

Se estudió la aplicación de UV-C en muestras de repollo (*Brassica oleracea*, L.) cortado en tiras de 5 mm. Se trabajó con dosis de 6 y 12 kJ m⁻² alcanzadas durante un tiempo de exposición de 96 y 192 s, respectivamente. Las muestras tratadas con UV-C, se envasaron con una película de polietileno de baja densidad (PEBD) de 30 μm y se conservaron refrigeradas a 5 °C durante nueve días. Las muestras tratadas con ambas dosis presentaron un mejor comportamiento al mantener la concentración de compuestos fenólicos (en valores aproximados de 137 mg ácido clorogénico/100 g tejido fresco) y la actividad antioxidante respecto de las muestras no tratadas (aproximadamente 550 mM Trolox equiv/g tejido fresco) al final del almacenamiento. Desde el punto de vista sensorial, las dosis utilizadas no modificaron las características del producto durante su conservación refrigerada (Ruiz-López *et al.*, 2010, 2011).

En experiencias realizadas con hojas de rúcula entera (*Eruca sativa* Mill.) IV gama, se aplicaron dosis de UV-C de 10, 20 y 30 kJ m⁻², almacenadas en bolsas de poliolefina (PD-961, Cryovac, USA) y conservadas a 5 °C durante 12 días. De acuerdo a los atributos de calidad sensorial (color, olor, apariencia), una vida útil máxima de ocho días a 5 °C se estableció para todos los tratamientos, no observándose diferencias significativas con el control (muestras no tratadas). De esta forma, las dosis de UV-C aplicadas no afectaron la calidad sensorial de la rúcula procesada en fresco (Gutiérrez *et al.*, 2013).

Sgroppo y Sosa (2009) trabajaron con zapallos (*Cucurbita moschata*, L.) cortados en cubos de 3 cm de lado. Estos fueron tratados con agua clorada (20 mgL⁻¹ durante 60 s), expuestos a UV-C (2,08 y 3,14 kJ m⁻²) y luego almacenados en bandejas de poliestireno y selladas con una película de PVC autoadherente. Las muestras se almacenaron a 5 °C (87 % humedad relativa), y se determinó que el tratamiento con UV-C fue efectivo en mantener una buena calidad sensorial y microbiológica (retardando el crecimiento de microorganismos aerobios mesófilos y psicrófilos). Además, durante el almacenamiento se observaron tendencias similares en la evolución de la acidez y azúcares entre los productos tratados y no tratados.

Estos resultados coinciden con los informes de otros autores, quienes encontraron que no hubo diferencias entre los controles y los productos irradiados tales como lechuga (Allende y Artés, 2003) y espinaca (Artés-Hernández *et al.*, 2009). Sin embargo, Martínez-Hernández *et al.* (2011) observaron que la vida útil de brócoli tratado con UV-C (1,5 y

4,5 kJ m⁻²) y almacenado a 5 °C alcanzó los 19 días, con la excepción del tratamiento de 15 kJ m⁻², que registró un acortamiento de la vida útil del brócoli. Los autores discutieron que tal acortamiento de la vida útil se atribuiría a la alta radiación UV-C que pudo dañar el tejido vegetal.

Efecto de la radiación UV-C sobre la capacidad antioxidante en hortalizas IV gama

Las aplicaciones de UV-C de 6 y 12 kJ m⁻² en repollo blanco cortado IV gama presentaron valores significativamente mayores de capacidad antioxidante con respecto a muestras no tratadas, en aproximadamente un 27 % tras nueve días de almacenamiento a 5 °C (Ruiz-López *et al.*, 2011).

Costa *et al.* (2006) observaron que el brócoli irradiado con dosis de UV-C de 10 kJ m⁻² mantuvo su capacidad antioxidante durante seis días a 20 °C, mientras que las muestras sin tratar disminuyeron después de cuatro días de almacenamiento, presentando valores que fueron significativamente inferiores a los de las muestras irradiadas.

Estudios realizados con espinacas tratadas con UV-C con dosis de 4,54; 7,94 y 11,35 kJ m⁻² encontraron una tendencia diferente, ya que se obtuvieron menores valores de capacidad antioxidante al disminuir las dosis de UV-C, encontrándose una reducción del 50 % respecto del contenido inicial al final de la conservación a 5 °C (Artés-Hernández *et al.*, 2009).

Martínez-Hernández *et al.* (2011) encontraron que en brócoli Bimi recién cortado y tratado con UV-C (1,5; 4,5; 9,0 y 15 kJ m⁻²), tras 19 días a 5 °C, las muestras tratadas con las mayores dosis presentaron mayores valores de capacidad antioxidante en aproximadamente 1,5 veces respecto de los valores iniciales. Por otro lado, Tomás-Callejas *et al.* (2012) observaron en hojas tipo baby de tatsoi (*Brassica narinosa*) recién cortadas y tratadas con 4,54 kJ m⁻², un aumento del contenido de fenoles totales y actividad antioxidante total después de cuatro días a 5 °C.

En rúcula cortada la aplicación de tratamientos con UV-C (10, 20 y 30 kJ m⁻²) no alteró el contenido de fenoles totales y la capacidad antioxidante durante 12 días a 5 °C (Gutiérrez *et al.*, 2013).

En zapallos (*Cucurbita moschata*) cortados en cubos, los niveles de carotenoides totales no fueron modificados por efecto de la radiación UV-C. De la misma forma, los carotenoides totales no tuvieron cambios a lo largo del almacenamiento refrigerado tanto en los zapallos tratados como en los zapallos testigo (Sgroppo y Sosa, 2009).

Sin embargo, González-Aguilar *et al.* (2007) encontraron una reducción en el contenido de β -caroteno en mangos cortados, posiblemente como resultado del estrés oxidativo inducido por la aplicación de radiación UV-C.

Efecto de UV-C en la calidad microbiológica de hortalizas IV gama

Los pretratamientos con UV-C en frutas y hortalizas pueden ser utilizados para reducir la carga de bacterias patógenas, mohos, levaduras y virus, y mantener atributos de calidad prescindiendo del uso de tratamientos térmicos severos y adición de compuestos sintéticos (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

A través de diferentes trabajos de investigación se observa que la radiación UV-C reduce en general la carga microbiana inicial del producto en rangos de 0,6 a 1 log UFC (unidades formadoras de colonias) g^{-1} en comparación con las muestras no tratadas.

Allende y Artés (2003) informaron de una pequeña reducción (0,5 log ufc g^{-1}) en el crecimiento de las bacterias psicrófilas en lechugas Lollo Rosso tratadas con 8,14 kJ m^{-2} y luego almacenadas en una atmósfera modificada pasiva a 5 °C.

La radiación UV-C puede reducir los recuentos iniciales, por lo que podrían ser considerados como una buena alternativa al cloro durante la línea de procesamiento antes del envasado (Escalona *et al.*, 2010).

Se sabe que la sensibilidad de las bacterias al UV-C varía con la especie y también entre diferentes cepas de la misma especie (Block, 1977). Algunas bacterias y levaduras tienen un mecanismo de reparación potente de foto-reactivación. La exposición de las células a la luz visible después del tratamiento UV-C induce una foto-reparación enzimática y la expresión de los genes de reparación de escisión que puede restaurar la integridad del ADN (Sommer *et al.*, 2000; Lado y Yousef, 2002). Por lo tanto, por este mecanismo de reparación, recuperan viabilidad después de la radiación UV (Mercier *et al.*, 2000).

Un control inadecuado del manejo de la radiación UV-C durante el tratamiento de hortalizas de hoja verde podría dañar los tejidos superficiales y causar la liberación de nutrientes, promoviendo el crecimiento microbiológico durante el almacenamiento (Tomás-Callejas *et al.*, 2012). Se ha sugerido que la radiación UV-C podría alterar la permeabilidad celular causando la fuga de electrolitos, aminoácidos e hidratos de carbono que pueden estimular el crecimiento microbiano (Nigro *et al.*, 1998). Además, podría tener un impacto en la calidad sensorial. El punto crucial es estable-

cer una dosis segura que pueda perjudicar en gran medida el crecimiento microbiano sin dañar el producto (Ben-Yehoshua y Mercier, 2005).

Gutiérrez *et al.* (2013) informaron que la aplicación de 10, 20 y 30 kJ UV-C m^{-2} en hojas de rúcula redujo el desarrollo de microorganismos aerobios mesófilos y psicrófilos totales, prolongando su vida útil por dos días, en comparación con las muestras no tratadas.

En zapallo cortado en cubos se determinó una reducción inicial mayor a 1 log ufc g^{-1} luego de aplicar 3,14 kJ UV-C m^{-2} , mientras que tratamientos con 2,04 kJ UV-C m^{-2} provocaron una disminución del 10 % de la carga microbiana inicial (Sgroppo y Sosa, 2009). El efecto bacteriostático de la radiación UV-C se mantuvo para los microorganismos aerobios mesófilos totales, mohos y levaduras durante 10 días a 5 °C respecto de las muestras no tratadas. Sin embargo a los 14 días de conservación todos los tratamientos superaron los límites establecidos por la legislación europea (Sgroppo y Sosa, 2009). En sandías, Fonseca y Rushing (2006) encontraron resultados similares con dosis en un rango de 1,4 a 6,9 kJ m^{-2} . Por otra parte, Erkan *et al.* (2001) encontraron resultados similares en rodajas de zucchini (*Cucurbita pepo* cv. Tigress) almacenadas a 5 °C y tratadas con radiación UV-C, aunque con un efecto más notorio sobre mohos y levaduras debido probablemente a las diferencias en la matriz vegetal.

Viabilidad del uso de radiación UV-C en la industria de hortalizas IV Gama

Como se ha mencionado a través de diferentes trabajos, es factible aplicar pretratamientos con UV-C durante el procesamiento IV gama, para reducir la carga microbiana inicial presente en la superficie de los vegetales.

La radiación UV-C puede ser usada con diferentes objetivos dentro de una planta de procesamiento de hortalizas de IV gama. Por ejemplo, para la sanitización de equipos y superficies que estarán en contacto con los vegetales, para la desinfección del agua de lavado y descontaminación del aire de la zona de proceso, además de aplicarse a las hortalizas con el objetivo de disminuir su carga microbiana inicial.

Por otra parte, la radiación UV-C puede ser usada en algunos casos en reemplazo del tratamiento de desinfección con agua clorada, o como tratamiento posterior a la etapa de desinfección con cloro u otro sanitizante. Por lo tanto, el tratamiento con UV-C podría ser aplicado inmediatamente antes del envasado y sellado de los envases.

Algunos autores proponen el uso de la radiación UV-C en combinación con otras tecnologías. Por ejemplo Martínez-Hernández *et al.* (2013) consideraron que la aplicación de UV-C en asociación con agua electrolizada y atmósferas modificadas activas tuvo un efecto positivo al mantener la calidad y mejorar la vida útil de brócoli. Tomás-Callejas *et al.* (2012) encontraron que pretratamientos con UV-C solos o asociados al envasado con oxígeno superatmosférico de hojas tipo *baby* de tatsoi resultaron ser mejores para mantener la calidad microbiológica sin afectar los compuestos fenólicos con capacidad antioxidante y los otros parámetros de calidad durante el almacenamiento refrigerado a 5 °C.

Nogales-Delgado *et al.* (2012) estudiaron la aplicación de ácido láctico (2,5 g L⁻¹) y UV-C en el agua de lavado de lechuga romana indicando que este tratamiento redujo el desarrollo microbiano sin afectar adversamente la calidad sensorial, manteniendo los compuestos antioxidantes durante nueve días a 4 °C.

Es necesario remarcar que las mejores condiciones para la aplicación de UV-C deben establecerse para cada hortaliza en particular, y no se pueden extrapolar directamente para otra. Por lo tanto, se recomienda hacer pruebas previas para la aplicación de UV-C a hortalizas que no hayan sido estudiadas.

Conclusiones

Es importante establecer las dosis más efectivas en reducir la carga microbiana inicial sin afectar los otros atributos de calidad de las hortalizas de IV gama, tales como las características sensoriales y funcionales.

De hecho diferentes autores sugieren que pretratamientos moderados con UV-C podrían ser utilizados como herramienta para promover compuestos fenólicos con capacidad antioxidante, al mismo tiempo de ofrecer al mercado productos microbiológicamente estables.

Es posible aplicar métodos físicos o químicos de desinfección combinados con pretratamientos con UV-C con el fin de prolongar la vida útil de hortalizas IV gama.

Por todo lo mencionado la aplicación de la radiación UV-C podría ser una alternativa adecuada como agente sanitizante para la elaboración de IV gama.

Bibliografía

- Allende A, Artés F. 2003. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed 'Lollo Rosso' lettuce. *Food Research International*, 36: 739 - 746.
- Artés-Hernández F, Robles PA, Gómez PA, Tomás-Callejas A, Artés F. 2010. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 55: 114 - 120.
- Artés-Hernández F, Escalona VH, Robles PA, Martínez-Hernández GB, Artés F. 2009. Effect of UV-C radiation on quality of minimally processed spinach leaves. *Journal of Science and Food Agriculture*, 89: 414 - 421.
- Artés F, Gómez P, Aguayo A, Escalona V, Artés-Hernández F. 2009. Sustainable sanitation techniques for keeping quality and safety of fresh-cut plant commodities. *Postharvest Biology and Technology*, 51: 287 - 296.
- Barka EA, Kalantari S, Makhlof J, Arul J. 2000. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) fruit. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 48: 667 - 671.
- Ben-Yehoshua S, Mercier J. 2005. UV irradiation, biological agents, and natural compounds for controlling postharvest decay in fresh fruits and vegetables. En: Ben-Yehoshua S. [Ed.], *Environmentally Friendly Technologies for Agricultural Produce Quality*. Boca Raton, FL.: CRC. pp. 265 - 299.
- Bintsis T, Litopoulou-Tzanetaki E, Robinson RK. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry-a critical review. *Journal of Science and Food Agriculture*, 80: 637 - 645.
- Block SS. 1977. Disinfection, sterilisation, and preservation. En: Block SS. [Ed.]. *Disinfection, Sterilisation, and Preservation*. 2nd ed. Philadelphia, PA.: Lea and Febiger. pp. 31 - 55.
- Charles MT, Benhamou N, Arul J. 2008. Physiological basis of UV-C induced resistance to *Botrytis cinerea* in tomato fruit: III. Ultrastructural modifications and their impact on fungal colonization. *Postharvest Biology and Technology*, 47: 27 - 40.
- Costa L, Vicente AR, Civello PM, Chaves AR, Martínez GA. 2006. UV-C treatment delays postharvest senescence in broccoli florets. *Postharvest Biology and Technology*, 39: 204 - 210.
- Erkan M, Wang CY, Krizek DT. 2001. UV-C radiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. *Environmental and Experimental Botany*, 45: 1 - 9.
- Escalona VH, Aguayo E, Martínez-Hernández GB, Artés F. 2010. UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biology and Technology*, 56: 223 - 231.
- Escalona V, Luchsinger L. 2008. Una revisión sobre frutas y hortalizas mínimamente procesadas en fresco. *Revista Aconex*, 99: 23 - 28.
- Fonseca J, Rushing J. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*, 40: 256 - 261.
- Gardner DW, Shama G. 2000. Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of Food Protection*, 63: 63 - 70.
- Garmendia G, Vero S. 2006. Métodos para la desinfección de frutas y hortalizas. *Horticultura*, 197: 18 - 27.

- González-Aguilar MA, Villegas-Ochoa MA, Martínez-Téllez AA, Gardea JF, Ayala Zavala F. 2007. Improving Antioxidant Capacity of Fresh-Cut Mangoes Treated with UV-C. *Journal of Food Science*, 72(3): 198 - 202.
- Guerrero-Beltrán JA, Barbosa-Cánovas GV. 2004. Review : Advantages and limitations on Processing Foods by UV Light. *Food Science and Technology International*, 10(3): 137 -147.
- Gutiérrez DR, Char C., Escalona VH, Chaves AR, Rodríguez S. 2015. Application of UV-C radiation in the conservation of minimally processed rocket (*Eruca sativa* Mill.). *Journal of Food Processing and Preservation*, 39: 3117 – 3127.
- Gutiérrez DR, Torales AC, Chaves AR, Rodríguez S. 2013. Conservación postcosecha de rúcula : Aplicación de luz UV-C y ozono. *Investigaciones en Facultades de Ingeniería del NOA. Área Tecnologías*, (42): 1 - 8.
- Inestroza-Lizardo C, Escalona V. 2015. Sanitizantes emergentes : una alternativa en la postcosecha de la rúcula. *Agrociencia (Uruguay)*, 19(1): 14 – 23.
- Lado BH, Yousef AE. 2002. Alternative food-preservation technologies: efficacy and mechanisms. *Microbes and Infection*, 4: 433 - 440.
- Little CL, Gillespie IA. 2008. Prepared salads and public health. *Journal of Applied Microbiology*, 105(6): 1729 -1743.
- Liu J, Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Adeyeye O, Kabwe MK, Pusey PL, Chalutz E, Sultana T, Droby S. 1993. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal of Food Protection*, 56(10): 868 -872.
- Lu JY, Stevens C, Yakabu P, Loretan PA, Eakin D. 1987. Gamma, electron beam and ultraviolet radiation on control of storage rots and quality of Walla onions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 12: 53 - 62.
- Maharaj R, Arul J, Nadeau P. 1999. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv. Capello) by delaying senescence. *Postharvest Biology and Technology*, 15: 13 - 23.
- Martínez-Hernández GB, Artés-Hernández F, Gómez PA, Formica AC, Artés F. 2013. Combination of electrolyzed water, UV-C and superatmospheric O₂ packaging for improving fresh-cut broccoli quality. *Postharvest Biology and Technology*, 76: 125 - 134.
- Martínez-Hernández GB, Gómez PA, Pradas I, Artés F, Artés-Hernández F. 2011. Moderate UV-C pretreatment as a quality enhancement tool in fresh-cut Bimi® broccoli. *Postharvest Biology and Technology*, 62: 327 - 337.
- Mercier J, Roussel D, Charles MT, Arul J. 2000. Systemic and local responses associated with UV-and pathogen-induced resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrot. *Journal of Phytopathology*, 90: 981 - 986.
- Mercier J, Arul J, Julien C. 1993a. Effect of UV-C on phytoalexin accumulation and resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrots. *Journal of Phytopathology*, 139: 17 - 25.
- Mercier J, Arul J, Ponnampalam R, Boulet M. 1993b. Induction of 6-methoxymellein and resistance to storage pathogens in carrot slices by UV-C. *Journal of Phytopathology*, 137: 44 - 54.
- Nigro F, Ippolito A, Lima G. 1998. Use of UV-C light to reduce Botrytis storage rot of table grapes. *Postharvest Biology and Technology*, 13: 171 - 181.
- Nogales-Delgado S, Fernández-León AM, Delgado-Adámez J, Hernández-Mendez MT, Bohoyo-Gil D. 2012. Lactic acid and ultraviolet-c as sanitizer for preserving quality of minimally processed romaine lettuce. *Journal of Food Processing and Preservation*, 38: 774 - 783.
- Pan J, Vicente AR, Martínez GA, Chaves AR, Civello PM. 2004. Combined use of UV-C illumination and heat treatment to improve postharvest life of strawberry fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 84: 1831 - 1838.
- Perkins-Veazie P, Collins JK, Howard L. 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biology and Technology*, 47: 280 -285.
- Quintero-Cerón JP, Bohorquez-Pérez Y, Valenzuela-Real C, Solanilla-Duque JF. 2013. Avances en la aplicación de luz ultravioleta de onda corta (UV-C) en frutas y vegetales enteros y mínimamente procesados. *Revista Tumbaga*, 8: 29 - 60
- Ruiz-López GA, Questa AG, Rodríguez S. 2011. Evaluación del contenido de ácido ascórbico, fenoles totales y actividad antioxidante en repollo mínimamente procesado con ozono gaseoso y UV-C. En: XIII Congreso Argentino de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CYTAL); 19 - 21 octubre, 2011; Buenos Aires, Argentina. Buenos Aires : Editorial AATA. pp. 1 - 8.
- Ruiz-López GA, Questa AG, Rodríguez S. 2010. Efecto de la luz UV-C sobre las propiedades antioxidantes y calidad sensorial de repollo mínimamente procesado. *Revista Iberoamericana en Tecnología Postcosecha*, 11 (1): 101 - 108.
- Selma MV, Allende A, López-Gálvez F, Conesa MA, Gil MI. 2008. Disinfection potential of ozone, ultraviolet-C and their combination in wash water for the fresh-cut vegetable industry. *Food Microbiology*, 25: 809 -814.
- Sgroppo SC, Sosa CA. 2009. Zapallo anco (*Cucurbita moschata*, D.) Fresco cortado tratado con luz UV-C. *FACENA*, 25: 7 - 19.
- Sommer R, Lhotsky M, Haider T, Cabaj A. 2000. UV inactivation, liquid-holding recovery, and photoreactivation of *Escherichia coli* O157 and other pathogenic *Escherichia coli* strains in water. *Journal of Food Protection*, 50: 108 -111.
- Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Chalutz E, Droby S. 1999. Induced resistance of sweetpotato to *Fusarium* rootrot by UV-C hormesis. *Crop Protection*, 18: 463 - 470.
- Tomás-Callejas A, Otón M, Francisco Artés F, Artés-Hernández F. 2012. Combined effect of UV-C pretreatment and high oxygen packaging for keeping the quality of fresh-cut Tatsoi baby leaves. *Innovative Food Science Emerging Technology*, 14: 115-121.
- Vicente AR, Pineda C, Lemoine L, Civello PM, Martínez GA, Chaves AR. 2005. UV-C treatments reduce decay, keep quality and alleviate chilling injury in pepper. *Postharvest Biology and Technology*, 35: 69 - 78.
- Yaun BR, Summer SS, Eifert JD, Marcy JE. 2004. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *International Journal of Food Microbiology*, 90: 1 - 8.