



Efecto de la radiación UV-C en frutas y verduras

J. F. Haro - Maza* y J. A. Guerrero - Beltrán

*Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental, Universidad de las Américas Puebla.
Ex hacienda Sta. Catarina Mártir S/N, San Andrés Cholula, Puebla. C.P.72810, México.*

Resumen

Actualmente, los consumidores han tomado conciencia acerca del decremento que los tratamientos térmicos pueden ejercer sobre los atributos sensoriales y nutricionales de los alimentos. Se han buscado alternativas a estos inconvenientes y una de las tecnologías, por su versatilidad y resultados, es el procesamiento de alimentos con radiación ultravioleta C de onda corta (UV-C). Esta revisión da a conocer los resultados de investigaciones actuales sobre frutas y verduras, tratadas con radiación UV-C, bajo dos enfoques: el antimicrobiano y los efectos sobre los atributos nutricionales, químicos y sensoriales de los alimentos. Contiene información acerca de los cambios post-tratamiento que los frutos y vegetales, tratados con UV-C, experimentan durante el almacenamiento debido a las dosis de radiación empleadas. De manera general se puede concluir que el tratamiento UV-C ideal debería: reducir la carga microbiana, incrementar algunas propiedades nutricionales y no generar atributos sensoriales negativos.

Palabras clave: dosis, reducción microbiana, radiación UV-C, frutas, verduras.

Abstract

Nowadays, consumers have become aware about the decrease that heat treatments may have on sensory and nutritional attributes of foods. They have been looking for alternatives to these drawbacks and one of the technologies, for its versatility and results, is the shortwave ultraviolet-C (UV-C) radiation. This review inform the results of current research on fruits and vegetables, treated with UV-C radiation, under two points of view: the antimicrobial and the effects on the nutritional, chemical and sensory attributes of foods. It contains information about post-treatment changes that fruits and vegetables, treated with UV-C radiation, may have during storage due to the radiation doses. In general, it can be concluded that the UV-C treatment should ideally be: to reduce microbial load, to increase some nutritional properties and do not create negative sensory attributes.

Keywords: doses, microbiological reduction, UV-C radiation, fruits, vegetables.

Introducción

Durante las últimas décadas se ha observado un incremento en el interés de los consumidores por adquirir alimentos que ofrezcan beneficios a la salud. Los beneficios

ocasionados por el consumo variado de frutas y verduras frescas son ampliamente conocidos por la comunidad científica y el público en general (Barros y Rocha, 2012); sin embargo, el ritmo de vida actual ha orillado a algunos sectores de la población a consumir productos vegetales listos para comer, los cuales debido, a sus características de consumo inmediato, han tenido que ser procesados térmicamente

*Programa de Maestría en Ciencia de Alimentos
Tel.: +52 222 229 2126, fax: +52 222 229 2727
Dirección electrónica: jose.haroma@udlap.mx

para garantizar su seguridad microbiana. Si bien estos productos son microbiológicamente seguros, sus atributos, tanto nutricionales como sensoriales, se han visto disminuidos por el tipo de tratamiento.

Debido a ello, se han propuesto nuevas tecnologías de proceso cuyo objetivo es crear alimentos microbiológicamente seguros que no impacten de manera negativa los atributos sensoriales y nutricionales de los productos. Una de las más importantes es el procesamiento con radiación ultravioleta C de onda corta (UV-C). Actualmente el uso de esta tecnología está bien establecido para casos como, el tratamiento de agua, la desinfección del aire y la desinfección de superficies; sin embargo, su aplicación en alimentos listos para consumo, incluidos los frutos y vegetales, está aún en investigación y su difusión es aún insuficiente. No obstante, el tratamiento con radiación UV-C tiene un amplio potencial para ser usado de manera comercial en frutos rebanados (Ribeiro *et al.*, 2012) debido al grado de efectividad que esta tecnología posee para inhibir ciertos tipos de microorganismos, incluyendo a los virus (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

Debido a las demandas de alimentación actuales de la población, la cadena de suministros (supermercados) debe enfrentar un doble reto; por un lado, se necesita almacenar alimentos frescos y por el otro, deben ser de consumo inmediato. Lo anterior implica una pérdida substancial cuando se manejan productos como lechuga y espinacas, que son fácilmente lastimados o contaminados durante el proceso y transporte; en este caso, la tecnología de radiación UV-C ofrece una solución a dichas pérdidas, evitando que proliferen microorganismos en las lesiones de las verduras (Ortoneda *et al.*, 2008).

Sin embargo a pesar de los beneficios de esta tecnología, el público en general aún está

un tanto inseguro respecto a su uso, debido a que, al ser un tipo de radiación, esta podría acarrear riesgos para la salud, por lo que la Administración de Alimentos y Fármacos (FDA por sus siglas en inglés) de Estados Unidos, así como el Departamento de Agricultura (USDA) del mismo país, después de varias investigaciones concluyeron que el uso de esta radiación es completamente seguro. En el año 2000 la FDA aprobó esta tecnología como una alternativa a la pasteurización de jugos frescos (U.S. Food and Drug Administration, 2000).

Se debe a los puntos anteriores que el uso de esta tecnología se está incrementando; sin embargo, la difusión existente respecto al uso de la misma es aún insuficiente. La presente investigación tiene como objetivo difundir algunos de los resultados obtenidos en el tratamiento de frutas y verduras, ya sea listas para consumo, o bien para su almacenamiento, post-cosecha.

Revisión bibliográfica

1. Efecto de la radiación UV-C

1.1. Generalidades

La radiación ultravioleta, en su forma natural, proviene del sol. El espectro de dicha radiación, que penetra en la atmósfera terrestre, se ha dividido en tres regiones dependiendo de su longitud de onda. Dichas regiones ejercen diferentes características sobre los organismos (Mahdavian *et al.*, 2008). En la Tabla I se presenta una clasificación de la longitud de onda de la radiación ultravioleta.

Es debido a las propiedades germicidas de la radiación UV-C, que se han creado fuentes

Tabla I. Clasificación de la longitud de onda de la radiación UV^a

Clasificación	Longitud de onda	Efectos en organismos
Larga	320-400nm	Cambios en la piel humana (bronceado)
Media	280-320nm	Quemaduras serias (cáncer)
Corta	200-280nm	Efecto germicida

^aAdaptado de Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas (2004).

de radiación artificiales (lámparas) con fines prácticos, generalmente con propósitos de desinfección. Estas fuentes de radiación son fabricadas utilizando lámparas de mercurio de baja presión, que producen radiación con una longitud de onda de 254nm (efecto germicida) (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004).

A pesar de la elaboración de fuentes de radiación estándar, cuando éstas se emplean para la desinfección de alimentos, existen muchas variables que pueden afectar la eficiencia del tratamiento. El tiempo de exposición, la intensidad de la fuente de radiación, la rugosidad de la superficie a tratar y el tipo de tratamiento (por lotes o continuo) son algunas de ellas.

Como el tratamiento con radiación UV-C tiene tantas variables es difícil establecer parámetros respecto a la intensidad del tratamiento, ya que cada alimento necesita una dosis específica de radiación. Debido a ello, para un mismo alimento se pueden tener rangos de dosis muy diversos. En general y de manera no oficial, la mayoría de los investigadores consideran una dosis de radiación como baja cuando ésta es menor o igual a 1 kJ/m² y es considerada como alta cuando la dosis es mayor o igual a 15 kJ/m².

Aun tomando en cuenta estas variables, la tecnología de radiación UV-C puede ser un tratamiento válido en lo que respecta a los

protocolos de análisis de riesgos y control de puntos críticos (Hazard Analysis and Critical Control Points, HACCP, por sus siglas en inglés), debido a su efectividad para reducir el número de microorganismos en la superficie de alimentos o bien en la superficie de proceso de los mismos (Yaun *et al.*, 2004).

1.2. Efecto antimicrobiano de la radiación UV-C en frutas

La radiación UV-C afecta el ADN de los microorganismos, causando mutaciones mediante la separación de la doble hélice, evitando de esta manera su reproducción (Gardner y Shama, 2000). Es así como esta tecnología no térmica puede ser aplicada para inactivar diversos tipos de microorganismos incluyendo virus. La generación de radiación ultravioleta monocromática (254nm) es considerada como un medio físico de desinfección cuya aplicación en alimentos está aún siendo investigada.

1.2.1 Radiación UV-C como único tratamiento

Existen diversas investigaciones respecto al tratamiento con radiación UV-C con propósitos germicidas. Algunas estudios son muy similares entre sí: este es el caso de Stevens *et al.* (2005) y Manzoco *et al.* (2011), ellos trataron de incrementar la resistencia a la deterioración microbiana en manzanas. Stevens *et al.* (2005) además incluyeron

duraznos y tangerinas. Las dosis utilizadas en las investigaciones fueron de 1.2 a 24 kJ/m², la mayor diferencia radicó en que Stevens *et al.* (2005) trabajaron con rebanadas de fruta inoculadas con *Colletotrichum gloeosporioides*, *Monilinia fruticola* y *Penicillium digitatum*, mientras que Manzoco *et al.* (2011) trabajaron con cuentas viables totales (bacterias, mohos y levaduras). Las dos investigaciones concluyeron que se logró aumentar la resistencia al deterioro microbiano, mediante la reducción de 1 a 2 ciclos logarítmicos.

En otra investigación realizada por Schenk y Guerrero (2008), se buscó identificar el efecto que una dosis máxima de 87 kJ/m² podría tener sobre rebanadas de pera (*Pyrus communis* L.) fresca, además de analizar la reducción en las cuentas de *Listeria innocua*, *Listeria monocytogenes*, *Escherichia coli* y *Zygosaccharomyces bailii*, con las cuales fue inoculada la fruta. La dosis máxima probada generó una mayor reducción en las rebanadas de pera (3.4 ciclos logarítmicos). Sin embargo, al aumentar el tiempo de exposición y por ende la dosis de radiación, encontraron una menor reducción, ya que los microorganismos desarrollaron resistencia. De manera similar, Jian *et al.* (2010) analizaron el efecto que una radiación UV-C, de 1 a 10 kJ/m², podría ejercer sobre la germinación de las esporas de *Monilinia fruticola*, obteniendo como resultado una inhibición completa de la germinación en pera Yali (*Pyrus bretschneideri* Rehd)

Adicionalmente, se ha demostrado que dosis menores a 7 kJ/m² tienen un efecto antimicótico en frutas, como lo demostraron Stevens *et al.* (1998) en duraznos inoculados con *Monilinia fruticola* y Perkins-Veazie *et al.* (2008) en moras azules inoculadas con *Colletotrichum acutatum*. En general se reporta que una mayor dosis de radiación disminuirá la carga microbiana en el producto.

En la Tabla II se muestran algunas frutas tratadas con radiación UV-C.

1.2.2. Radiación UV-C en combinación con otros métodos

La combinación de la radiación UV-C con otros tratamientos ha demostrado tener un efecto sinérgico en la conservación de muchos alimentos. Una combinación que ha demostrado buenos resultados es el tratamiento de frutas con una solución desinfectante (ácidos orgánicos o sales de las mismas) seguida de la aplicación de radiación UV-C. En este sentido, se ha reportado que cubos de sandía pre-tratados con una solución de lactato de sodio (1%) y ácido ascórbico (0.5%) seguida de una dosis de 4.1 kJ/m² de radiación UV-C fueron efectivas para inhibir la flora nativa (mesófilos aerobios, mohos y levaduras) de la fruta (Fonseca y Rushing, 2006). Asimismo, un pretratamiento con solución de ácido málico (1.5%) seguido de radiación UV-C (0.96 - 8.64 kJ/m²) en rebanadas de papaya Maradol, fueron suficientes para inhibir *Rhodotorula glutinis* (Calderón-Gabaldón *et al.*, 2012).

Por otra parte, se ha probado que la combinación de radiación UV-C con atmósferas modificadas son un buen método para conservar alimentos como lo muestra el estudio de López-Rubira *et al.* (2005) quienes probaron dichos tratamientos combinados en semillas de granada, obteniendo una reducción importante en las cuentas de Enterobacteriaceae (López-Rubira, *et al.*, 2005).

Por otro lado Kim y Hung (2012) evaluaron el efecto de la combinación de un tratamiento con radiación UV-C, ozono y agua electrolizada oxigenada con el objetivo de inhibir *E. coli* O157:H7 en mora azul. Se encontró que esta combinación con una radiación de 7 kJ/m² era capaz de inhibir de 1.96 a 4 ciclos logarítmicos.

Tabla II. Frutas tratadas con radiación UV-C

Fruta	Dosis	Microorganismos	Autores
Manzanas, duraznos y tangerinas	1.3 y 7.5 kJ/m ²	<i>Colletotrichum gloeosporioides</i> , <i>Monilinia fruticola</i> y <i>Penicillium digitatum</i>	Stevens <i>et al.</i> (2005)
Pera	87 kJ/m ²	<i>Listeria innocua</i> , <i>Listeria monocytogenes</i> , <i>Escherichia coli</i> y <i>Zygosaccharomyces bailii</i>	Schenk y Guerrero (2008)
Manzana	1.2, 6.0, 12.0 y 24 kJ/m ²	Cuentas viables totales (Bacterias, mohos y levaduras)	Manzoco <i>et al.</i> (2011)
Durazno	< 7.0 kJ/m ²	<i>Monilinia fruticola</i>	Stevens <i>et al.</i> (1998)
Mora azul	< 7.0 kJ/m ²	<i>Colletotrichum acutatum</i>	Perkins-Veazie <i>et al.</i> (2008)
Sandía	4.1 kJ/m ²	Población nativa microbiana de sandía	Fonseca y Rushing (2006)
Papaya Maradol	0.96-8.64 kJ/m ²	<i>Rhodotorula glutinis</i>	Calderón-Gabaldón <i>et al.</i> (2012)

1.3. Efecto antimicrobiano de la radiación UV-C en verduras

Es bien sabido que en cualquier industria que maneje alimentos, las condiciones higiénicas del proceso son parte fundamental de la cadena de producción, además se debe reducir la cuenta microbiana en los vegetales procesados, para así, minimizar las pérdidas (Steffen *et al.*, 2010). En este sentido la radiación UV-C brinda una respuesta satisfactoria como medio de conservación, ofreciendo productos microbiológicamente seguros y con atributos sensoriales muy parecidos al alimento fresco. Los efectos de la radiación se pueden observar de manera inmediata después del tratamiento, o bien pueden aparecer algunos efectos durante el periodo de almacenamiento.

En cuanto a estudios relacionados con los efectos inmediatos, Liu *et al.* (1993) estudiaron el efecto de esta tecnología en tomates (*Lycopersicon esculentum*) inoculados con *Alternaria alternata*, *Botrytis cinerea* y *Rhizopus stolonifer*, encontrando que al utilizar dosis de 1.3 a 4 kJ/m² se podían inhibir casi en su totalidad las infecciones ocasionadas por estos hongos. Similarmente, Yaun *et al.* (2004) determinaron los efectos germicidas de la radiación UV-C en tomates Roma y chiles jalapeños inoculados con *Salmonella* spp. Se utilizaron dosis de 0.5 y 4 J/cm², obteniendo una reducción microbiológica de 2.6 a 3.8 ciclos logarítmicos. En el mismo contexto, se han tratado champiñones por medio de radiación UV-C como lo muestra la investigación de Guan *et al.* (2012), quienes inocularon este vegetal con *E. coli* O157:H7 y lo sometieron a

radiaciones de 0.45 a 3.15 kJ/m², obteniendo una reducción inmediata de hasta 0.89 ciclos logarítmicos. Respecto a los efectos producidos durante el almacenamiento, Liu *et al.* (2011) estudiaron los resultados de la radiación UV-C en tomates frescos. Un día después del tratamiento se encontró que utilizando una dosis de 4 kJ/m² se podía inhibir la microflora nativa de los vegetales mediante un incremento en las defensas del alimento generado por la radiación. Dicho efecto involucró el metabolismo de lípidos y fotosíntesis en algunos casos. De la misma manera, Escalona *et al.* (2010) aplicaron dosis de 0, 2.4, 7.2, 12 y 24 kJ/m² en hojas de espinacas tiernas. Los resultados mostraron la efectividad del tratamiento al reducir las poblaciones microbianas de *Listeria monocytogenes*, *Salmonella enterica* y *Pseudomonas marginalis* durante los primeros 8 días de almacenamiento. Sin embargo, pasados los 8 días, estas hojas exhibieron una cuenta microbiana mayor que aquellas que no fueron tratadas. Por su parte, Erkan *et al.* (2001) trataron rebanadas de calabacita con una dosis de 9.86 kJ/m² y aunque esta no disminuyó de manera considerable la carga microbiana, el mayor efecto se observó mediante la disminución de la reproducción de los microorganismos durante el almacenamiento.

Tomando en cuenta el efecto inmediato y durante el almacenamiento, Allende y Artés (2003) expusieron lechuga ‘Lollo Rosso’ (*Lactuca sativa*) a dosis de 0.4 a 8.14 kJ/m², logrando reducir inmediatamente después del tratamiento el contenido de bacterias psicrótrofas, coliformes y levaduras. En contraste, se indicó que la radiación UV-C incrementó de manera significativa la tasa de respiración del alimento durante el almacenamiento, provocando así cambios indeseables en el producto, debido a un aumento en la cantidad de bacterias ácido-lácticas dentro de los empaques. Siguiendo la línea de investigación anterior, Allende *et al.*

(2006) sometieron hojas de lechuga ‘Red oak leaf’ a tratamiento con radiación UV-C. Los géneros de bacterias seleccionados fueron los asociados con infecciones en el vegetal (*Enterobacter*, *Erwinia*, *Escherichia*, *Leuconostoc*, *Pantoea*, *Pseudomonas*, *Rahnella*, *Salmonella*, *Serratia* y *Yersinia*). La mayoría de los organismos se inhibieron inmediatamente con una dosis de 30 J/m². Mientras que para la completa erradicación de *Erwinia carotovora*, *Leuconostoc carnosum*, *Salmonella Typhimorium* y *Yersinia aldovae* se necesitó una dosis de 85 J/m². En cuanto al almacenamiento, se encontró que aplicando una dosis de 7.11 kJ/m², el efecto germicida continuó aún en días posteriores al tratamiento, aumentando la vida de anaquel del producto.

En la Tabla III se muestran algunas verduras tratadas con radiación UV-C.

1.4. Otros efectos de radiación UV-C en vegetales

1.4.1. Vitaminas, actividad antioxidante y otros compuestos químicos

La radiación UV-C además de poseer un efecto germicida, también puede alterar algunas de las propiedades nutricionales del producto, como lo es el contenido de vitamina C, la actividad y los compuestos antioxidantes y el contenido de terpenos de algunos alimentos.

Yong-Gui y He (2012) evaluaron los efectos de la radiación UV-C en la calidad de rebanadas de piña frescas. Las rebanadas se trataron a 4.5 kJ/m² con tiempos de exposición de 60 y 90 segundos. Observaron que todos los tratamientos redujeron de manera importante el contenido de vitamina C en el producto. Similarmente, Allende *et al.* (2007) encontraron que la radiación UV-C podía disminuir el contenido de vitamina C en fresas. Por otro lado, se evaluó la degradación

Tabla III. Verduras tratadas con radiación UV-C

Verdura	Dosis	Microorganismo	Autor
Lechuga	30 y 85 J/m ²	<i>Enterobacter, Erwinia,</i> <i>Escherichia,</i>	Allende <i>et al.</i> (2006)
		<i>Leuconostoc, Pantoea,</i> <i>Pseudomonas, Rahnella,</i> <i>Salmonella, Serratia</i> y <i>Yersinia</i>	
Espinacas	2.4, 7.2, 12 y 24 kJ/m ²	<i>Listeria monocytogenes,</i> <i>Salmonella entérica</i> y <i>Pseudomonas Marginalis</i>	Escalona <i>et al.</i> (2010)
Tomates	0.5 y 4 J/cm ²	<i>Salmonella</i> spp.	Yaun <i>et al.</i> (2004)
Jalapeños	0.5 y 4 J/cm ²	<i>Salmonella</i> spp.	Yaun <i>et al.</i> (2004)

de ácido ascórbico en un sistema modelo de jugo de manzana tratado con tecnología UV-C. En el estudio se concluye que la radiación UV-C acelera la degradación de ácido ascórbico y que el almacenamiento en oscuridad disminuye la degradación de esta vitamina aún después de ser tratada con UV-C (Rohan *et al.*, 2011).

En cuanto a la actividad antioxidante, se ha observado que la exposición de vegetales a radiación UV-C puede incrementar la concentración de ésta. Lemoine *et al.* (2010) analizaron el efecto que la radiación UV-C, con una dosis de 8 kJ/m², podría ejercer sobre los compuestos fenólicos y capacidad antioxidante de brotes de brócoli. Se observó que tanto los compuestos fenólicos, como la capacidad antioxidante se incrementaron con el tratamiento. Erkan *et al.* (2008) encontraron que la radiación UV-C, por si sola, puede incrementar la capacidad antioxidante en fresas, utilizando dosis de 0.43, 2.15 y 4.30 kJ/m², mediante el aumento del contenido de compuestos fenólicos y antocianinas de la fruta. También se ha logrado incrementar el contenido de compuesto fenólicos totales y flavonoides en mango, mediante el tratamiento con radiación UV-C (González-Aguilar, *et al.*, 2007). Los autores concluyen, que después de tratar mangos frescos con radiación, la

actividad antioxidante incrementa considerablemente respecto a las frutas no tratadas.

En el mismo contexto, otros compuestos antioxidantes que se han podido incrementar mediante el tratamiento con UV-C son los flavonoides. Según Wang *et al.* (2009) las dosis de radiación adecuadas para incrementar el contenido de flavonoides en mora azul van de 2.15 a 6.45 kJ/m². En adición a lo anterior, se ha demostrado que la radiación de UV-C en dosis de 2.8 kJ/m² ejercen efectos positivos en el contenido de licopeno de sandía fresca (Artéz-Hernández *et al.*, 2010).

Una de las razones por las cuales es conocida la producción de terpenos en alimentos es porque origina fitoalexinas, las cuales protegen a las plantas contra ataques de herbívoros, infecciones u organismos polinizadores. Se sabe que la radiación UV-C favorece la generación de terpenos en alimentos. Beaulieu (2007) trató de identificar el efecto que ejerce la radiación UV-C en la producción de terpenos y ésteres en rebanadas de melón. Encontró que la exposición a la radiación UV-C aumenta la concentración de terpenos en el tejido de las rebanadas. Otros investigadores quienes enfocaron la radiación UV-C hacia la

generación de compuestos de autodefensa natural de los frutos fueron Guerrero *et al.* (2010), quienes trataron uvas para vinatería con el propósito de incrementar el contenido de estilbenos. En el estudio se encontró que el tratamiento con radiación UV-C incrementaba el contenido de estos compuestos 3.2 veces más que en las uvas sin tratamiento. De igual manera Ben-Yehoshua (2003) logró incrementar el contenido de fitoalexinas en mandarina, mediante el tratamiento con radiación UV-C.

1.4.2. Atributos sensoriales

Uno de los atributos más importantes en los alimentos son sus características sensoriales, ya que estas dotan a los productos de un conjunto de factores organolépticos particulares que permiten identificarlos y en la medida en que estos sean afectados o no, se podrá decidir si la calidad del producto es aceptable.

En este sentido, se determinó el efecto de la radiación UV-C en los atributos sensoriales de brócoli fresco, al aplicar una dosis de 8 kJ/m². Los resultados mostraron un cambio positivo en la textura, obteniendo una mayor integridad del tejido. Concluyeron también que esta tecnología puede reducir la senescencia y puede ayudar a mantener una mayor calidad sensorial en el producto (Lemoine *et al.*, 2010). Igualmente, se logró retardar el reblandecimiento en rebanadas de piña y fresa al inhibir la acción enzimática de las pectinasas, cuando se aplicaron dosis de 4.5 kJ/m² (Pombo *et al.*, 2011; Yong-Gui y He, 2012).

En otros casos, la radiación ultravioleta parece no tener un efecto inmediato sobre el tejido de los vegetales, como sucedió en el estudio de Erkan *et al.* (2001) donde el tratamiento en calabacita no mostró daño alguno después de ser tratada con una dosis de 9.86 kJ/m². Sin embargo, después de una semana en refrigeración, está exhibió una coloración marrón-rojiza ocasionada por el tratamiento con radiación UV-C.

Basaran (2009) estudió el efecto que generó la radiación UV-C sobre los atributos sensoriales de avellanas. Realizando una comparación pareada entre las avellanas tratadas y las avellanas sin tratamiento, se determinó que no hubo diferencias significativas en el color, textura, olor y sabor. Se concluyó que la radiación no genera atributos sensoriales indeseables en este tipo de productos.

Conclusiones y comentarios finales

En esta investigación documental se presentan algunos de los resultados obtenidos en frutas y verduras tratadas con radiación UV-C, ya sea listas para consumo, o bien para su almacenamiento post-cosecha. Puede concluirse, entre otras cosas, que el uso que se le dé a la radiación UV-C dependerá del objetivo particular de la aplicación, ya que, a juzgar por las investigaciones analizadas, esta tecnología genera cambios en cuatro aspectos importantes: carga microbiológica, características nutricionales, compuestos químicos y atributos sensoriales del producto. La magnitud del cambio o de que éste no se presente está en función de la dosis y de las características del alimento, ya que cada alimento necesita una dosis de radiación específica dependiendo de su composición y de los objetivos del tratamiento. Se puede deducir que un tratamiento ideal con radiación UV-C debería tener las siguientes propiedades: reducción de carga microbiológica, no tener efectos negativos en los atributos sensoriales del alimento, aumentar las características nutrimentales propias del producto y por consecuencia incrementar su vida de anaquel.

Agradecimientos

El autor J. F. Haro-Maza agradece al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y a la Universidad de Las

América Puebla el financiamiento otorgado para realizar sus estudios de posgrado.

Referencias

- Allende, A., Marín, A., Buendía, B., Tomás-Barberán, F. y Gil-Muñoz., M. I. 2007. Impact of combined postharvest treatments (UV-C light, gaseous O₃, superatmospheric O₂ and high CO₂) on health promoting compounds and shelf-life of strawberries. *Postharvest Biology and Technology*. 46(3): 201–211.
- Allende, A., McEvoy, J., Luo, Y., Artéz, F. Y. y Wang C. Y. 2006. Effectiveness of two-sided UV-C treatments in inhibiting natural microflora and extending the shelf-life of minimally processed “Red Oak Leaf” lettuce. *Food Microbiology*. 23(3): 241-249.
- Allende, A, y Artéz, F., 2003. UV-C radiation as a novel technique for keeping quality of fresh processed ‘Lollo Rosso’ lettuce. *Food Research International*. 36(7): 739-746.
- Artéz-Hernández, F., Robles, P. A., Gómez, A., Tomás-Callejas, y Artéz, F. 2010. Low UV-C illumination for keeping overall quality of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*. 55:114-120
- Barros, M. y Rocha, A. 2012. Food handler's perception of fresh cut products. *Journal of Agricultural Science and Technology B*. 2(4B): 482-486.
- Basaran, P. 2009. Reduction of *Aspergillus parasiticus* on hazelnut surface by UV-C treatment. *International Journal of Food Science and Technology*, 44(9), 1857-1863.
- Beaulieu, C. 2007. Effect of UV irradiation on cut cantaloupe: terpenoids and esters. *Journal of Food Science*. 72(4): 272-281.
- Ben-Yehoshua, S. 2003. Effects of postharvest heat and UV application on decay, chilling injury and resistance against pathogens of citrus and other fruit and vegetables. *Acta Horticulturae*. 599:159-167.
- Calderón-Gabaldón, M., Raybaudi-Massilia, R., Mosqueda-Melgar, J., y Tapia, M. 2012. Efecto de la luz UV-C y ácido málico sobre poblaciones de *Rhodotorula glutinis* y vida útil de rebanadas de papaya Maradol. *Bioagro*. 24(2):103-114.
- Erkan, M., Wang, S., y Krizek. D, T., 2001. UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. *Environmental and Experimental Botany*. 45:1-9.
- Erkan, M., Wang, S. Y. y Wang., C. Y. 2008. Effect of UV treatment on antioxidant capacity, antioxidant enzyme activity and decay in strawberry fruit. *Postharvest Biology and Technology*. 48(2):163–171.
- Escalona, V. H., Aguayo, E., Martínez- Hernández G. B. y Artés, F. 2010. UV-C doses to reduce pathogen and spoilage bacterial growth in vitro and in baby spinach. *Postharvest Biology and Technol.* 56:223–231.
- Fonseca, M. J. y Rushing, J. W. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality and microbial population of fresh-cut watermelon. *Postharvest Biology and Technology*. 40(3):256–261.
- Gardner D. W. M. y Shama G. 2000. Modeling UV-induced inactivation of microorganisms on surfaces. *Journal of Food Protection*. 63(1): 63-70.
- González-Aguilar, G., Villegas-Ochoa, M., Martínez-Tellez, M., Gardea, A. y Ayala-Zavala, J. 2007. Improving antioxidant capacity of fresh-cut mangoes treated with UV-C. *Journal of Food Science*. 72(3):S197-S202.
- Guan, W., Fan X. y Yan, R. 2012. Effects of UV-C treatment on inactivation of *Escherichia coli* O157:H7, microbial loads, and quality of button mushrooms. *Postharvest Biology and Technology*. 64:119 – 125.
- Guerrero-Beltrán, J. A. y Barbosa-Cánovas, G.V. 2004. Advantages and limitations on processing foods by UV-C light. *Food Science and Technology International*. 10(3): 137-147.
- Guerrero, R. F., Puertas, B., Jiménez, M. J., Cacho, J. y Cantos-Villar. E. 2010. Monitoring the process to obtain red wine enriched in resveratrol and piceatannol without quality loss. *Food and Chemistry*. 122:195-202.
- Jian, L., Qian, Z., Yang, C., Jiaqi, Y., Jiankang, C., Yumei, Z. y Weibo, J. 2010. Use of UV-C Treatment to inhibit the microbial growth and maintain the quality of Yali pear. *Journal of Food Science*. 75(7): M503-M507.
- Kim, C., y Hung, Y. 2012. Inactivation of *E. coli* O157:H7 on Blueberries by Electrolyzed Water, Ultraviolet Light, and Ozone. *Journal Of Food Science*, 77(4): M206-M211.
- Lemoine, L., Civello, M., Chaves, R. y Martínez., A. 2010. Influence of a combined hot air and UV-C treatment on quality parameters of fresh-cut broccoli florets at 0°C. *International Journal of Food Science and Technology* 45:1212–1218.

- Liu C., Cai, L., Han X., y Ying. T. 2011. Temporary effect of postharvest UV-C irradiation on gene expression profile in tomato fruit. *Gene*. 486:56-64.
- Liu, J., Steven, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Adeveve, O., Kabwe, M. K., Pusey, P. L., Chalutz, E. Sultana, T. y Droby, S., 1993 Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *Journal of food protection* 56(10):868-873.
- López-Rubira, V., Conesa, A., Allende, A. y Artés, F. 2005. Shelf life and overall quality of minimally processed pomegranate arils modified atmosphere packaged and treated with UV-C. *Postharvest biology and technology* 37(2):174-185.
- Mahdavian, K., Ghorbanli, M. y Kalantari, M. 2008. The effects of ultraviolet radiation on the contents of chlorophyll, flavonoid, anthocyanin and proline in *Capsicum annum L.* *Turkish Journal of Botany* 32:25-33.
- Manzoco, L., Da-Pieve, S., Bertolini, A., Bartolomeoli, I., Maifreni, M., Vianello, A. y Nicoli, M. C. 2011. Surface decontamination of fresh-cut apple by UV-C light exposure: Effects on structure, color and sensory properties. *Postharvest Biology and Technology*. 61(2-3):165– 171.
- Ortoneda, M., O'keeffe, S., Cullen, J., Shamma, A. y Phipps, D. 2008. Experimental investigations of microwave plasma UV lamp for food applications. *Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy*. 42(4):14-23.
- Perkins-Veazie, P., Collins, J. K. y Howard, L. 2008. Blueberry fruit response to postharvest application of ultraviolet radiation. *Postharvest Biology and Technology*. 47(2):280–285.
- Pombo, H. G., Rosli, G. A., Martínez y Civello. P. M. 2011. UV-C treatment affects the expression and activity of defense genes in strawberry fruit (*Fragaria ananassa.*). *Postharvest Biology and Technology*. 59:94–102.
- Ribeiro, C., Canada, J. y Alvarenga, B. 2012. Prospects of UV radiation for application in postharvest technology. *Journal of Food Agriculture*. 24 (6): 586-597.
- Rohan-V, T., Ramaswamy, C. A. y LaBorde, L. F. 2011. Ascorbic acid degradation in a model apple juice System and in apple juice during ultraviolet processing and storage. *Journal of Food Science*. 75(2): 62-71.
- Schenk, M. y Guerrero, S. 2008. Response of some microorganisms to ultraviolet treatment on fresh-cut pear. *Food Bioprocess Technology*. (1): 384–392.
- Steffen, H., Zumstein, P. y Rip, G. R. 2010. Fruit and vegetables disinfection at SAMRO, Ltd. using hygienic packaging by means of ozone and UV radiation. *Science and Engineering*. 32: 144–149.
- Stevens, C., Khan, V. A., Lu, J. Y., Wilson, C. L., Puseyc, P. L., Kabwea, M. K. Igwegbea, E. C. K., Chalutz, E. y Droby S. 1998. The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. *Crop Protection*. 17(1): 75–84.
- Stevens, C., Khan V. A., Wilson, C. L., Lu, J. Y., Chalutz, E., E. y Droby, S. 2005. The effect of fruit orientation of postharvest commodities following low dose ultraviolet light-C treatment on host induced resistance to decay. *Crop Protection*. 24(8):756–759.
- U.S. Food and Drug Administration. 2000. Irradiation in the Production, Processing and Handling of Food, 21 CFR Part 179. Federal Registration. 65:71056–71058.
- Wang, C. Y., Chen, C. T. y Wang, S. Y. 2009. Changes of flavonoid content and antioxidant capacity in blueberries after illumination with UV-C. *Food and Chemistry*. 117:426-432.
- Yaun, B. R., Sumner, S. S., Eifert, J. D. y Marcy, J. E. 2004. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *Journal of Food Microbiology*. 90(1): 1-8.
- Yong-Gui, P. y He Z. 2012. Effect of UV-C Radiation on the Quality of Fresh-cut Pineapples. *Procedia Engineering*. 37:113–119.