



Radiación ultravioleta en jugos de frutas: fundamentos y aplicaciones

A. S. López-Díaz*, E. Palou y A. López-Malo

*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

La radiación ultravioleta de onda corta (UVC) ha sido utilizada exitosamente para inactivar microorganismos que contaminan el agua y superficies de diversos materiales. Esta tecnología aplicada a alimentos promueve la inactivación microbiana, obteniendo productos con menor cambio en sus propiedades sensoriales y valor nutritivo. Actualmente, se ha incrementado el interés de la aplicación de radiación UVC para reducir la carga microbiana en jugos de frutas; sin embargo, se requiere de más investigación acerca de su efecto sobre la pérdida de nutrientes y capacidad antioxidante, tomando en cuenta que cada jugo necesita una dosis de tratamiento distinto según sus características. El objetivo de este artículo es proveer información acerca de los principios básicos de la radiación UVC, su aplicación en alimentos líquidos y la cinética de inactivación microbiana, haciendo énfasis en el tratamiento de jugos de frutas. Además, se revisarán las aplicaciones y eficacia de la radiación UVC en las investigaciones realizadas.

Palabras clave: radiación ultravioleta de onda corta, jugos de frutas, inactivación microbiana.

Abstract

The short-wave ultraviolet light has been used successfully to inactivate microorganisms contaminating water and surfaces of various materials. This technology applied to food promotes microbial inactivation, obtaining safer products with less change in their sensory properties and nutritional value. Currently, the interest in the application of short-wave ultraviolet light to reduce the food microbial load in fruit juices has increased; however, more research is needed about the effect on the loss of nutrients and antioxidant capacity, considering that each juice needs a different treatment dose according to its characteristics. The aim of this article is to provide information about the basic principles of short-wave ultraviolet light, its application in liquid foods, and food-borne microbial inactivation kinetics, emphasizing the treatment of fruit juices. In addition, the efficacy of the short-wave ultraviolet light and its applications will be reviewed.

Keywords: short-wave ultraviolet light, fruit juices, microbial inactivation.

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

Introducción

Los distintos métodos de conservación de alimentos pretenden incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento, aplicando técnicas que logren inhibir alteraciones microbianas, pero manteniendo su calidad. Para esto, muchos productos son tratados térmicamente, lo cual muchas veces modifica las características, tanto sensoriales (textura, sabor y color), como nutricionales (pérdidas de vitaminas, principalmente) del alimento. Debido a estos efectos adversos de los tratamientos a altas temperaturas, se encuentran en desarrollo procesos no térmicos de conservación, también denominados tecnologías emergentes. Son poco agresivos y tienen la ventaja de ofrecer productos semejantes a los frescos, manteniendo la calidad nutrimental y sensorial, y cumplir así con las demandas actuales del mercado.

Uno de los métodos físicos de inactivación microbiana es la irradiación de alimentos líquidos con radiaciones ultravioleta de onda corta (UVC). Estas radiaciones se ubican en la región de energía del espectro electromagnético comprendida entre los 200 y 300 nm, el cual es el rango germicida. Los microorganismos son destruidos por la penetración de las radiaciones, las cuales son absorbidas por el ADN de éstos, causando una modificación en sus componentes, alterando su reproducción genética y quedando inhabilitados para replicarse (González, 2001).

La aplicación de radiación UVC para destruir microorganismos no es nueva; ha sido reportada como un método efectivo para inactivar bacterias que contaminan agua y superficies de diversos materiales (Sizer y Balasubramaniam, 1999). Sin embargo, recientemente se ha reportado la aplicación de radiación UVC en el tratamiento de jugos y néctares de frutas, que a diferencia del agua, contienen diferentes componentes que se

oponen a la penetración de la radiación (Ochoa *et al.*, 2011).

En el año 2000, el Departamento de Agricultura de los EE.UU. (USDA, por sus siglas en inglés) y la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA, por sus siglas en inglés), llegaron a la conclusión de que el uso de la radiación ultravioleta es seguro. En ese mismo año, la FDA aprobó la radiación UVC como tratamiento alternativo a la pasteurización de jugos de frutas (FDA, 2000). El criterio de procesamiento definido por la FDA para el tratamiento de jugos de frutas es una reducción de cinco ciclos logarítmicos en el número del microorganismo en cuestión. Además, la definición de "pasteurización" para los alimentos ha sido revisada recientemente y ahora incluye a cualquier proceso, tratamiento o combinación de los mismos, que se aplica a los alimentos para reducir los microorganismos indeseables en un producto (Koutchma, 2008).

La radiación ultravioleta, como nuevo método de conservación, requiere de estudios profundos sobre los efectos benéficos, así como sobre las desventajas que pudiera causar en los alimentos. El objetivo de este artículo es proveer información acerca de los principios básicos de la radiación ultravioleta y la cinética de inactivación microbiana, haciendo énfasis en el tratamiento de jugos de frutas. Además, se revisarán las investigaciones realizadas en los últimos años sobre la aplicación de la radiación UVC para la conservación de jugos de frutas.

Revisión bibliográfica

1. Deterioro de los jugos de frutas

En general, los alimentos son perecederos, por lo que necesitan ciertas condiciones de tratamiento, manipulación y conservación. Si

los alimentos no son tratados adecuadamente, se producen cambios en la textura, color, olor y sabor (Domínguez y Parzanese, 2011). El deterioro de los alimentos es debido a tres alteraciones: químicas, físicas y biológicas (Argaiz *et al.*, 2004). En el caso particular de los jugos de frutas, el oxígeno tiene un efecto negativo sobre algunas vitaminas, colores y sabores; además contribuye al crecimiento de microorganismos aerobios. Por otra parte, la luz destruye algunas vitaminas (riboflavina, vitaminas A y C) y afecta el color (Koutchma, 2008). A pesar de lo anterior, la proliferación de los microorganismos en los jugos es generalmente la causa principal de la descomposición de éstos.

Los microorganismos que se pueden encontrar en los jugos son: bacterias lácticas, mohos y levaduras (Ancasi *et al.*, 2006). Estos microorganismos, como consecuencia de su actividad metabólica, alteran los jugos, reduciendo su vida útil (Jay *et al.*, 2006). Los mohos que causan deterioro en estos productos toleran una alta presión osmótica, un bajo pH y suelen crecer a temperaturas de refrigeración. Las levaduras no sólo pueden causar alteraciones sensoriales sino también producir gran cantidad de CO₂ durante la fermentación de los monosacáridos (como en el caso de *Zygosaccharomyces bailii*) y en jugos enlatados el envase suele estallar o deformarse (Battey *et al.*, 2002).

Algunas levaduras alteran el ambiente cambiando el pH o degradando los agentes antimicrobianos provenientes de ácidos orgánicos. Otras, como *Saccharomyces cerevisiae* y *Z. bailii*, pueden crecer incluso a pH 2.8 y además en jugos concentrados (hasta niveles de 50° Brix), debido a que tienen un sistema enzimático que produce solutos compatibles (Ancasi *et al.*, 2006). Las especies de levaduras presentes con mayor frecuencia en jugos y bebidas sin alcohol contaminados son: *Brettanomyces bruxellensis*, *Candida tropicalis*, *Candida*

stellata, *Debaryomyces hansenii*, *Hanseniaspora uvarum*, *Issatchenkia orientalis*, *Pichia anomala*, *S. cerevisiae*, *Torulaspora delbrueckii*, *Z. bailii* y *Z. rouxii* (Kurtzman y Fell, 1998; Arias *et al.*, 2002). Otras especies contaminantes son *Citeromyces matritensis*, *Metschnikowia pulcherrima*, *Pichia jadinii*, *Pichia subpelliculosa* y *Rhodotorula glutinis* (Déak y Beuchat, 1998).

En cuanto a la alteración enzimática, uno de los principales defectos en la calidad de los jugos es la pérdida de turbidez a lo largo de su almacenamiento ("cloud loss"). Este fenómeno es causado por una enzima de origen vegetal, la pectin metil esterasa (PME), la cual tiene la función de degradar pectinas. Como consecuencia, el jugo pierde su turbidez característica, dando lugar a un líquido claro con un precipitado en el fondo. Además los jugos frescos, especialmente el de manzana, sufren con la exposición al aire, un oscurecimiento de origen enzimático (pardeamiento enzimático) que disminuye la calidad del producto (Marshall *et al.*, 1985). Para el caso de los jugos de piña, guayaba y mango, la PME causa problemas de gelación y formación de grumos (Domínguez, 2004).

2. Conservación de jugos de frutas

La conservación de los alimentos incluye todas las acciones realizadas para mantener el alimento con las propiedades deseadas por el mayor tiempo posible y garantizar la ausencia de microorganismos patógenos (Rahman, 1999; Alzamora y López-Malo, 2002). Los distintos métodos de conservación de alimentos pretenden incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento, idealmente, aplicando técnicas que logren la inhibición o inactivación del crecimiento microbiano, pero manteniendo la calidad.

Existen regulaciones que especifican que se requieren procedimientos para inhibir microorganismos patógenos en los jugos, los cuales exigen una reducción de 5 ciclos logarítmicos del número de microorganismos (FDA, 2000). El tratamiento más utilizado es la pasteurización térmica, la cual puede provocar cambios sustanciales en el sabor. Por otro lado, la demanda de productos frescos y mínimamente procesados sin conservadores, promueve el uso de nuevas tecnologías (tratamientos no térmicos), las cuales son una alternativa a los tratamientos tradicionales de conservación.

2.1. Tratamientos térmicos

La mayoría de las tecnologías empleadas para la conservación de alimentos incluye: procedimientos que evitan que los microorganismos lleguen a los alimentos, procedimientos que inactivan a los microorganismos o procedimientos que previenen o reducen la velocidad de crecimiento de los mismos. Las tecnologías tradicionales de conservación comprenden procedimientos que actúan en cualquiera de estas tres formas (Gould, 1995). La eficacia de estos métodos depende de manera importante del cuidado en la higiene durante la producción, siendo su objetivo disminuir la carga microbiana y evitar su desarrollo.

Existen varias técnicas de conservación de jugos que inactivan microorganismos patógenos y alterantes, pero los más utilizados son los tratamientos térmicos. Uno de los métodos más comunes es la pasteurización, la cual consiste en un calentamiento a temperaturas menores que la de ebullición. El objetivo es destruir a los microorganismos patógenos y además inactivar las enzimas pectolíticas que hidrolizan la pectina y causan la precipitación de los sólidos en suspensión. Existen diferentes tratamientos térmicos, que varían en la temperatura y el tiempo de proceso. Las condiciones de pasteurización

son escogidas para cada bebida en base a sus propiedades específicas. En el caso de los jugos, la pasteurización se realiza a 95°C por 30 segundos (Madrid, 1994).

El procesamiento térmico de jugos a altas temperaturas si bien elimina la posibilidad de daño microbiológico y reduce la actividad enzimática, afecta la calidad del producto (Acevedo *et al.*, 2004), modificando las características tanto sensoriales (textura, sabor y color), como nutricionales (principalmente pérdida de vitaminas) (Domínguez y Parzanese, 2011).

2.2. Tratamientos no térmicos

Debido a los efectos adversos de los tratamientos a altas temperaturas para el tratamiento de alimentos líquidos, se encuentran en desarrollo procesos no térmicos de conservación, también denominados tecnologías emergentes (Domínguez y Parzanese, 2011). Éstas son poco agresivas y tienen la ventaja de ofrecer productos semejantes a los frescos, garantizando la inocuidad. Los métodos no térmicos de conservación de alimentos se han desarrollado para eliminar (o por lo menos minimizar) la degradación de la calidad de los alimentos que resultan del procesado térmico; y están bajo una intensa investigación para evaluar su potencial como procesos alternativos o complementarios a los métodos tradicionales de conservación de alimentos (Pelayo, 2009).

Durante el procesado no térmico, la temperatura del alimento se mantiene por debajo de la temperatura que normalmente se utiliza en el procesado térmico. Por lo tanto, se espera que durante el procesado no térmico las vitaminas y los compuestos responsables del aroma y sabor no experimenten cambios o que éstos sean mínimos. Actualmente se están estudiando métodos físicos para la conservación de alimentos, como la aplicación de altas presiones hidrostáticas, pulsos

eléctricos, pulsos magnéticos, ultrasonido e irradiación con radiación ultravioleta de onda corta (UVC) (Barbosa-Cánovas *et al.*, 1998; López-Malo y Palou, 2004; Herrero y Romero, 2006).

Las altas presiones hidrostáticas se aplican sobre los alimentos de manera uniforme durante un tiempo variable, que puede oscilar desde unos minutos hasta incluso algunas horas, y tiene como efecto, la destrucción de microorganismos. En países como Japón, Estados Unidos y Alemania, pueden encontrarse en el mercado jugos y concentrados de frutas presurizados (Herrero y Romero, 2006).

En la técnica de pulsos eléctricos, el efecto sobre los microorganismos se basa en la alteración o destrucción de la pared celular, cuando se aplica una intensidad de campo eléctrico que da lugar a una diferencia de potencial entre ambos lados de la membrana. Cuando esta diferencia de potencial alcanza un valor crítico determinado, que varía en función del tipo de microorganismo, origina una formación de poros irreversibles en la membrana celular (electroporación) y en consecuencia, la pérdida de su integridad, incremento de la permeabilidad y finalmente destrucción de la célula afectada (Barbosa-Cánovas *et al.*, 1998). Los jugos de frutas son un alimento idóneo para este método de conservación, y además es una de las mejores alternativas a los métodos convencionales de pasteurización, lo que hizo que se denominara pasteurización fría.

Con pulsos magnéticos, el efecto conservador se debe fundamentalmente, a dos fenómenos: la ruptura de la molécula del ADN, de ciertas proteínas y de enlaces covalentes en moléculas con dipolos magnéticos. Los alimentos idóneos para someterse a este proceso de conservación son: jugos de frutas tropicales en soluciones azucaradas (Herrero y Romero, 2006).

El ultrasonido también se utiliza generalmente para prolongar la vida útil de alimentos líquidos, tales como jugos de frutas. El efecto conservador del ultrasonido está asociado a los fenómenos complejos de cavitación gaseosa, que explican la generación y evolución de microburbujas en un medio líquido.

Por último, se encuentra la radiación UVC, la cual ha sido aprobada por la FDA como una novedosa tecnología para el tratamiento de jugos de frutas, la cual se explicará a continuación con más detalle (FDA, 2000).

3. Radiación UVC

3.1. Generalidades

La radiación ultravioleta (UV), producida por el sol, es un agente esterilizador natural. Está ubicada en una región de energía del espectro electromagnético que se encuentra situada entre la luz visible y los rayos X, con una longitud de onda entre 10 y 400 nm. Se puede subdividir en: UV de vacío (10-200 nm), UV de onda corta UVC (200-280 nm), UV de onda media UVB (280-315 nm) y UV de onda larga UVA (315-400 nm) (González, 2001; Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). La máxima eficiencia para la desinfección se sitúa en el intervalo de la UVC, específicamente en 254 nm. En la Fig. 1 se muestra la región ultravioleta en el espectro electromagnético.

3.2. Mecanismo de acción de la radiación UVC

A excepción de las bacterias fotosintéticas, la mayoría de los microorganismos son susceptibles al daño por la radiación UV (Mendonça, 2002). El efecto destructivo de la radiación UV sobre los microorganismos está en función de la longitud de onda. Como se mencionó anteriormente, la radiación UV de longitud de onda a 254 nm, se absorbe en un

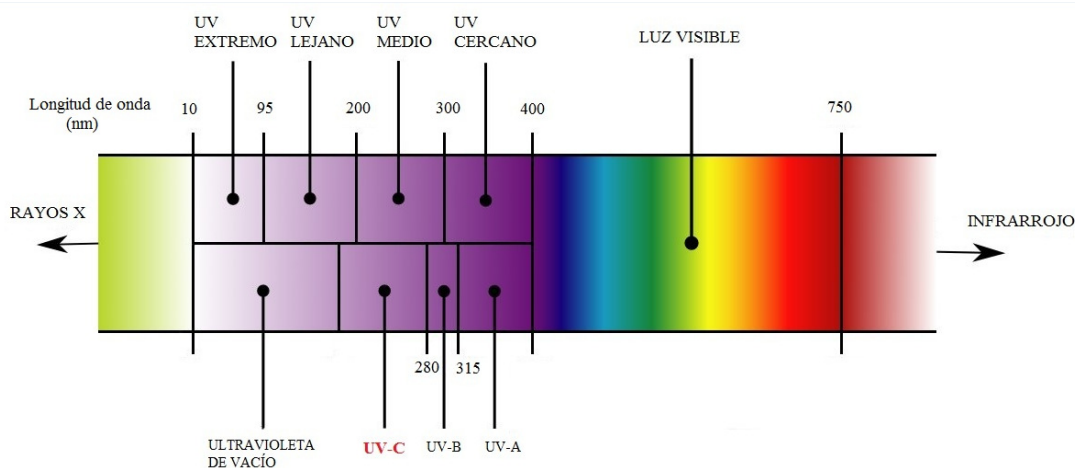


Fig. 1. Espectro electromagnético (Adaptada de Domínguez y Parzanese, 2011).

nivel que es suficiente para la desinfección; esto se debe a que ocasiona cambios físicos en los electrones y el rompimiento de enlaces en el ácido desoxirribonucleico (ADN), inactivando así los procesos de crecimiento y reproducción microbiana (Bolton y Cotton, 2001). La alta capacidad del ADN de absorber la radiación UVC se debe a las bases nitrogenadas, tanto las purinas como las pirimidinas, siendo estas últimas las más sensibles, especialmente la timina (Shama, 1999). La timina es la única base que tras la exposición a la radiación UVC sufre una reacción fotoquímica formando fuertes enlaces covalentes entre ellas (dímeros de timina) que alteran gravemente el material genético. Por lo tanto, cuando estos microorganismos se exponen a la radiación UV de 254 nm, ésta atraviesa la pared celular, llega hasta el núcleo, y si encuentra una región del ADN con dos timinas adyacentes, una de las bases absorbe un fotón y se forma un dímero de alta energía (Adams y Moss, 1995). Estos dímeros impiden la replicación correcta del ADN, de forma que este método de desinfección se basa en la formación de suficientes parejas de dímeros para impedir la reproducción celular (Shama,

1999; Sastry *et al.*, 2000; Bolton y Cotton, 2001). En la Fig. 2 se muestra una la molécula de ADN normal y la modificada por la radiación UVC. Estudios recientes han demostrado que la inactivación celular podría producirse debido a que la alteración del material genético pone en marcha señales que inducen la apoptosis celular (Álvarez, 2008). De esta manera, la radiación UVC es un método eficiente para desinfectar líquidos tales como agua y jugos.

La resistencia de los microorganismos a los tratamientos de UVC está determinada principalmente por su capacidad para reparar el daño ocasionado sobre el ADN. Es entonces, cuando ocurre la fotorreactivación. El ADN puede ser reparado por factores proteínicos (Yajima *et al.*, 1995) cuando las células dañadas se exponen a longitudes de onda superiores a 330 nm (Liltved y Landfald, 2000). Se puede estimular la separación de los dímeros del ácido nucleico mediante la activación de la enzima fotoliasa que monomeriza los dímeros (separación de timinas y otras pirimidinas) formados después del proceso de radiación (Stevens *et al.*, 1998).

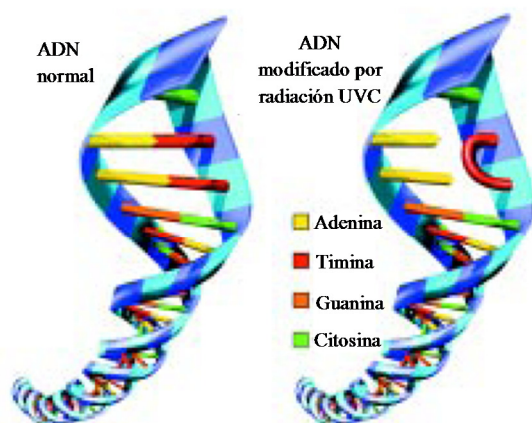


Fig. 2. Modificaciones en el ADN debido al tratamiento con radiación UVC (Adaptada de Álvarez, 2008).

Cabe mencionar que un ambiente oscuro puede evitar la fotorreactivación de productos tratados con radiación UVC. Las células que ya han experimentado una fotorreactivación, pueden ser más resistentes a la radiación UVC cuando se aplica un segundo tratamiento (Sastry *et al.*, 2000).

3.3. Dosis UVC y cinética de inactivación microbiana

Para una desinfección eficaz es importante conocer la dosis de radiación ultravioleta necesaria para reducir la carga microbiana (González, 2001). La dosis de radiación UVC se obtiene del producto entre la intensidad y el tiempo de reacción. Esta relación se muestra en la Ec. 1. La intensidad (I) es la cantidad de energía de radiación UVC por unidad de área, medida en watts por metro cuadrado. El tiempo de reacción o de contacto (t) es el tiempo que el fluido es expuesto a la radiación UVC en el foto reactor (medido en segundos). La dosis de radiación UVC (D) es expresada en J/m^2 ($1 \text{ Joule} = 1 \text{ Watt} \times \text{segundo}$) (Domínguez y Parzanese, 2011); aunque también suele expresarse en mJ/cm^2 .

$$D = (I)(t) \quad (\text{Ec. 1})$$

La resistencia microbiana a la radiación UVC está dada de la siguiente manera: bacterias Gram-negativas < Gram-positivas < levaduras < esporas bacterianas < mohos < virus (Shama, 1999; Sastry *et al.*, 2000; Bolton y Cotton, 2001). Para asegurar una inactivación apropiada de microorganismos en jugos, la dosis de radiación debe ser mayor a 400 J/m^2 en todo el producto (López-Malo y Palou, 2004; Sastry *et al.*, 2000; Bintsis *et al.*, 2000). La Tabla I muestra las dosis de radiación UVC requeridas para la inactivación de diversos microorganismos en alimentos líquidos.

La resistencia de los microorganismos se estudia sometiendo una población microbiana a la acción de la radiación UVC a una intensidad constante y se determina cómo va disminuyendo la cantidad de microorganismos de la población a lo largo del tiempo. Dicha evolución se representa en una gráfica de supervivencia, donde el eje de las ordenadas representa el logaritmo decimal de la concentración de los microorganismos supervivientes al tratamiento y el eje de las abscisas el tiempo de tratamiento. Generalmente en los estudios de resistencia microbiana a los distintos agentes letales se

Tabla I. Dosis de radiación UVC requeridas para la inactivación de diversos microorganismos en alimentos líquidos.

	Microorganismo	Dosis UV, mJ/cm ²	Reducción logarítmica
Sidra de manzana	<i>Escherichia coli</i> O157:H7	9-61	3.8
Sidra de manzana	<i>Cryptosporidium parvum</i> oocyst	14.32	5
Sidra de manzana	<i>Escherichia coli</i> K12	14.5	3-4
Sidra de manzana	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5.135	1.34
	<i>Listeria innocua</i>		4.29
	<i>Escherichia coli</i>		5.1
Jugo de naranja	Bacterias mesófilas aerobias	12.3-120	2
	Levaduras, Mohos		3
	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5.135	2.71
	Bacterias mesófilas aerobias,		2.94
	Levaduras, Mohos		
Néctar de mango	<i>Saccharomyces cerevisiae</i>	5.135	2.71
	Bacterias mesófilas aerobias,		2.94
	Levaduras, Mohos		
Sidra de manzana	<i>Escherichia coli</i> K12	0.75	<1
Jugo de guayaba	Levaduras	21.5	1.2
Jugo de piña	Mohos	21.5	1

Adaptado de Koutchma (2009).

obtienen 4 tipos de gráficas de supervivencia: gráficas de supervivencia lineales, gráficas de supervivencia con hombro, gráficas de supervivencia con cola y gráficas de supervivencia sigmoideas (ver Fig. 3) (Alzamora y López-Malo, 2002). En la mayoría de los tratamientos con radiación UVC, no existe una relación lineal entre el logaritmo de la fracción de supervivientes y la dosis, sino que las **curvas de supervivencia** obtenidas son generalmente **sigmoideas**. En ellas, se observa primero una meseta inicial (lo que se denomina “hombro”), que corresponde a la fase de acumulación de lesiones en el ADN hasta alcanzar un determinado umbral que supera la capacidad de reparación celular e induce su inactivación. A partir de este punto, los microorganismos supervivientes empiezan a disminuir. Al final de la curva, aparece una cola que puede deberse a la presencia de microorganismos resistentes, agregados celulares que protegen a las células del interior

o sólidos en suspensión que protegen a los microorganismos de la irradiación (sombras) o la dispersan (Sastry *et al.*, 2000).

El uso de la cinética de inactivación de primer orden para el modelado de gráficas de supervivencia fue propuesto por Chick en el año 1908. La relación entre la dosis y la destrucción de un microorganismo por tratamiento con radiación UVC puede expresarse como muestra la Ec. 2 de acuerdo a la ley de Chick (Wright y Cairns, 1998; Shama, 1999):

$$N = N_0 e^{-kD} \quad (\text{Ec. 2})$$

en donde N_0 se refiere al número inicial de microorganismos, N es el número de microorganismos después del tratamiento, k es la constante de velocidad de inactivación y D es la dosis (mJ/cm²).

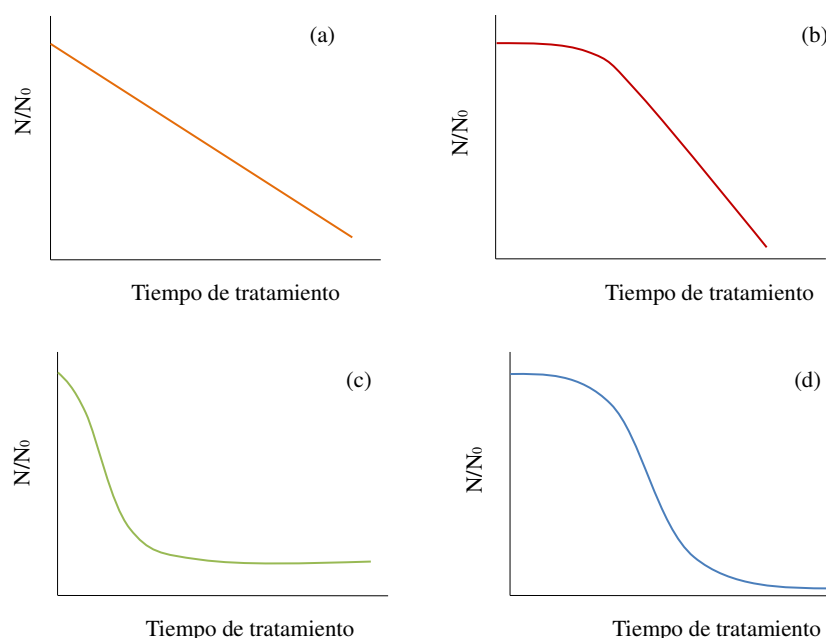


Fig 3. Curvas de supervivencia microbiana, (a) lineal, (b) con hombro, (c) con cola y (d) sigmoidea.

Como en las gráficas de supervivencia se expresa la fracción de supervivientes en escala logarítmica, la ecuación anterior se puede transformar en la siguiente:

$$\log \left(\frac{N}{N_0} \right) = -k D \quad (\text{Ec. 3})$$

Según la relación anterior, si se duplica la dosis aplicada, la destrucción de microorganismos aumentará en un factor de 10. Por lo tanto, al duplicar la dosis requerida para la destrucción del 90%, se reducirá el 99% de los microorganismos, si se triplica la dosis, la reducción producida será 99.9%, y así sucesivamente.

3.4. Ventajas y desventajas de la radiación UVC

La aplicación de las tecnologías emergentes a los procesos de conservación de alimentos deberán permitir obtener productos de

excelente calidad, a un precio razonable y, por encima de todo, seguros. En general, se busca que los nuevos métodos de tratamiento y conservación sean menos agresivos con el alimento, con menores consumos energéticos y más eficaces contra enzimas, microorganismos deteriorativos y patógenos.

La radiación UVC es un método físico en el cual la energía es el medio germicida, por lo que tiene la ventaja de no producir residuos químicos ni subproductos. Además es un proceso seco y frío que requiere poco mantenimiento y es de bajo costo (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2004). También ha demostrado ser efectivo para la desinfección de diversas superficies y es eficaz para la inactivación de muchos microorganismos. En la desinfección de alimentos líquidos con radiación UVC, no se producen alteraciones sensoriales y el producto conserva su valor nutricional. Entre sus desventajas se encuentra el hecho de que

los microorganismos pueden ser protegidos por sólidos suspendidos, principalmente en los jugos de frutas, por lo que hay poca penetración de la radiación en líquidos no transparentes (Domínguez y Parzanese, 2011). También, como ya se mencionó anteriormente, los microorganismos pueden reparar los efectos destructivos de la radiación UVC mediante un mecanismo de fotorreactivación.

4. Uso de la radiación ultravioleta para el tratamiento de jugos de frutas

Los jugos frescos de frutas son bebidas populares en el mercado, debido a que son saludables y nutritivos. Es por esto que en los jugos y bebidas de frutas se espera que las técnicas de procesamiento empleadas conserven sus propiedades físicas, químicas y nutricionales. Recientemente, se ha incrementado el interés por la aplicación de la radiación UVC en jugos de frutas, por ser un proceso no térmico capaz de preservar las características del producto fresco y alargar su vida útil. Diversos estudios han demostrado un efecto insignificante de la radiación UVC en el color de los jugos de frutas, además de un resultado satisfactorio en sus atributos sensoriales y en la composición de nutrientes. Por lo anterior, los tratamientos con radiación UVC aplicados a jugos de frutas son una alternativa interesante para su conservación, dado que se genera una importante reducción en la carga microbiana de los mismos, sin ocasionar cambios sensoriales importantes. Actualmente, se están comercializando en Estados Unidos jugos de frutas tratados con radiación UVC. El éxito de esta técnica ha llevado a expandir su aplicación a otras bebidas como el té, de gran popularidad en el sur de Estados Unidos de América (Álvarez, 2008).

Existen algunos estudios publicados sobre los efectos de la radiación UVC en el sabor, color y contenido de nutrientes de los jugos, los cuales incluyen jugo y sidra de manzana,

jugo de naranja, néctar de mango, jugo de pitaya, jugos de uva blanca y roja, jugo de piña, jugo de arándano y jugo de toronja.

Un estudio reciente sobre el efecto del tratamiento con radiación UVC en jugo de manzana inoculado con *Escherichia coli* y *Listeria innocua* fue llevado a cabo para conocer la inactivación microbiana y las características fisicoquímicas del jugo tratado (Caminiti *et al.*, 2012). De acuerdo con los resultados, el tratamiento no afectó el pH, °Bx y el contenido de fenoles totales, pero disminuyó la capacidad antioxidante; también se observó un ligero cambio de color al incrementar la dosis de radiación. Además la evaluación sensorial de las muestras tratadas con dosis bajas tuvieron una buena aceptabilidad. Sin embargo, los tratamientos aplicados solamente lograron la reducción de un ciclo logarítmico de los microorganismos inoculados en el jugo. Otro estudio realizado con jugo de manzana inoculado con *E. coli*, logró una reducción de 3.81 ciclos logarítmicos al variar las velocidades de flujo en un rango de 0.999 a 6.48 L/min, aunque la reducción microbiana no fue suficiente para alcanzar la recomendada para alimentos líquidos (FDA, 2000; Wright *et al.*, 2000). Al realizar comparaciones entre el tratamiento térmico tradicional y la radiación UVC para tratar jugo y sidra de manzana, se ha encontrado que no existen diferencias significativas en cuanto al sabor y preferencia entre los productos procesados. Sin embargo, en el caso de las sidras tratadas con radiación UVC, estas características no se mantienen después de una semana de almacenamiento (Tandon *et al.*, 2003). En el jugo de manzana tratado con radiación UVC se demostró que no existe cambio de color, pero el cambio de color fue notorio en la muestra sometida al tratamiento térmico. Comparado con el jugo fresco, el nivel de compuestos fenólicos totales disminuyó significativamente en el jugo tratado con radiación UVC, aunque la disminución fue menor que en el jugo

procesado térmicamente. La capacidad antioxidante no se vio afectada por ningún tratamiento. Estos resultados indican que la radiación UVC es un tratamiento adecuado para el procesamiento del jugo de manzana (Noci *et al.*, 2008).

Algunos estudios han demostrado que el tratamiento UVC en jugo de naranja aumenta su vida de anaquel sin cambios en el color y sabor. Un tratamiento realizado en jugo recién exprimido aplicando una dosis de radiación UVC de 73.8 mJ/cm², demostró que el color y el pH del jugo no tuvieron un cambio significativo y que la vida de anaquel fue de 5 días. Sin embargo, al incrementar la dosis de radiación a 100 mJ/cm² se presentó una degradación de la vitamina C (17%), lo cual es similar al porcentaje reportado en los tratamientos térmicos. Además, la PME, que es la principal causante de la pérdida de turbidez en los jugos, no fue degradada, a diferencia del tratamiento térmico, en el cual es degradada hasta en un 70% (Tran y Farid, 2004). En otro estudio realizado en jugo de naranja, se demostró que la vida de anaquel aumentó de 2 a 7 días, pero la degradación de vitamina C fue del 18% y además, el tratamiento UVC no fue efectivo para inactivar enzimas. Por lo cual, se concluye que el tratamiento con radiación UVC en jugo de naranja no puede sustituir completamente al tratamiento térmico, debido a que éste es más eficiente para controlar la actividad enzimática (Torkamani y Niakousari, 2011).

El efecto de penetración de la radiación UVC se ve afectada por diversos factores como el tipo de líquido, materia suspendida y principalmente por los sólidos solubles del jugo (Shama, 1999). En un estudio realizado con jugo de pitaya, que contenía 6.75% de sólidos solubles totales, se observó que no hubo un efecto significativo sobre el pH y los sólidos solubles totales. Sin embargo, el contenido de betalaínas y compuestos fenólicos disminuyó ligeramente, como

consecuencia, la actividad antioxidante disminuyó en el jugo. Se observó una reducción de 2 y 1.2 ciclos logarítmicos para bacterias mesófilas aerobias y mohos y levaduras, respectivamente, lo cual no es suficiente para garantizar la pasteurización. Esto puede deberse principalmente a los sólidos solubles presentes en el jugo que impiden la penetración de la radiación (Ochoa *et al.*, 2011).

Un estudio con néctar de mango fue realizado para evaluar el efecto del tratamiento UVC en la inactivación de *S. cerevisiae* y la actividad enzimática (Guerrero-Beltrán y Barbosa-Cánovas, 2006). De acuerdo con este estudio, se observó una reducción de 2.94 ciclos logarítmicos de *S. cerevisiae*. Además se presentó una reducción del 19% en la actividad enzimática al utilizar dosis entre 75 y 450 kJ/m², manteniéndose el néctar sin crecimiento microbiano durante 20 días de almacenamiento y manteniendo su color durante 26 días.

Para reducir la carga microbiana que contenían los jugos de mango y piña, Mukhopadhyay *et al.* (2011) sometieron los jugos a un tratamiento con radiación UVC. En ambos jugos se observó que los coliformes totales, *Vibrio* y *Salmonella* disminuyeron en más del 50% después de 60 minutos de exposición a la radiación, pero los mohos y levaduras no se vieron afectados significativamente, observándose una disminución menor al 30%. En comparación con la pasteurización, los jugos tratados con radiación UVC no mostraron cambios en sabor y color. Los resultados mostraron que la radiación UVC puede ser aplicada satisfactoriamente para reducir la carga microbiana en jugos de frutas.

El efecto del tiempo de almacenamiento sobre la calidad de jugo de piña tratado con UVC y térmicamente ha sido estudiado por Chia *et al.* (2012). Los resultados demostraron

que el jugo tratado con radiación UVC preservó mejor sus atributos de calidad que el jugo pasteurizado. Además el jugo tratado con radiación UVC aumentó su vida de anaquel 6 semanas más que el jugo fresco no tratado. En otro estudio realizado en jugo de piña se comparó el efecto del tratamiento térmico y el tratamiento con radiación UVC sobre el contenido de antioxidantes y capacidad antioxidante. El jugo tratado con radiación UVC mostró una mejor estabilidad respecto al contenido de ácido ascórbico, mientras que el jugo tratado térmicamente mostró mejor estabilidad a los flavonoides y carotenoides (Goh, *et al.*, 2012).

La dosis de radiación UVC es un factor importante en la inactivación microbiana. Una investigación realizada con jugos de uva blanca y roja demostró que el tratamiento con dos recirculaciones y una dosis de 25.2 J/mL elimina completamente los microorganismos. Mientras que con dosis de 12.6 J/mL y con una sola recirculación se obtuvo una reducción de 3.51 (86.5%) y 3.59 (64.3%) ciclos logarítmicos en el recuento de bacterias mesófilas aerobias en jugos de uva blanca y roja. Para el caso de levaduras y mohos las reducciones fueron 2.71 (84.2%) en jugo de uva blanca y 2.89 (55.2%) en jugo de uva roja (Uysal y Kirka, 2012). Fredericks *et al* (2011) observaron una inactivación similar en jugos de uva blanca y roja inoculados con *S. cerevisiae*, e indicaron que la eficacia del tratamiento con radiación UVC es afectada por el color de los jugos. Estos autores reportaron 5.38 y 3.14 reducciones logarítmicas de *S. cerevisiae* inoculada en jugos de uva blanca y roja después de someterlos a una dosis de radiación de 1.377 J/mL.

Lorenzini *et al.*, 2010 probaron una dosis de 1000 J/L para tratar jugo blanco de uva. Los jugos tratados contenían altos niveles de levaduras (*Saccharomyces bayanus*). Después del tratamiento se obtuvo una reducción de 7 ciclos logarítmicos de la población microbiana

inicial. Por lo cual, el tratamiento con radiación UVC demostró ser eficaz en la disminución de *S. bayanus*. En el caso de las bacterias mesófilas aerobias, se obtuvo una reducción de 3 ciclos logarítmicos después del tratamiento. Se evaluaron también las características químicas del jugo antes y después del tratamiento, y no se observaron cambios en estos parámetros (pH, color, acidez total y azúcares reductores) después del tratamiento con radiación UVC.

Jugos pasteurizados de uva, arándano y toronja inoculados con *S. cerevisiae* fueron procesados con radiación UVC a 6 velocidades de flujo (0.073-1.02 L/min) y 6 dosis UVC (75-450 kJ/m²). La máxima reducción logarítmica (UFC/mL) que se alcanzó fue 0.53, 2.51 y 2.42 en los jugos de uva, arándano y toronja, respectivamente, después de 30 minutos de tratamiento a la máxima velocidad de flujo. La diferencia de color en los tres jugos de frutas probados incrementó conforme incrementó el tiempo de tratamiento UVC (Guerrero-Beltrán *et al.*, 2009).

Conclusiones y comentarios finales

El tratamiento de jugos con radiación UVC es una alternativa viable a los tratamientos térmicos convencionales. Esta tecnología permite aumentar la vida útil de estos productos conservando su calidad sensorial. Sin embargo, el principal inconveniente de esta técnica es la baja capacidad de penetración de la radiación UVC en los jugos, lo que limita su eficacia. Además, la radiación UVC puede afectar negativamente porque causa la degradación de antioxidantes. Se requiere de más investigación acerca del efecto de la radiación UVC sobre la pérdida de nutrientes y capacidad antioxidante, tomando en cuenta que cada jugo necesita una dosis de tratamiento distinto que se debe optimizar según las características del mismo. El estudio

de la cinética de inactivación microbiana permitirá optimizar el proceso para reducir al mínimo las pérdidas de nutrientes y asegurar una mayor reducción de microorganismos, esto para conseguir la mayor eficacia de inactivación y cumplir con las recomendaciones de la FDA.

Agradecimientos

A la Universidad de las Américas Puebla y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT, México) por el financiamiento para la realización de este trabajo.

Referencias

- Acevedo, B., Montiel, M. y Avanza, J. 2004. Estudio cinético de la degradación de la actividad antioxidante hidrosoluble de jugos cítricos por tratamiento térmico. *FACENA*. 20:91-95.
- Adams, M. R. y Moss, M. O. 1995. *Food Microbiology*. Tercera edición. The Royal Society of Chemistry, Cambridge. 577 p.
- Álvarez, I. 2008. *Pasteurización de zumos con luz ultravioleta*. CTA Magazine. En: http://www.catedu.es/ctamagazine/index.php?option=com_content&view=article&id=699&catid=94:articulos-del-mes-archivo&Itemid=41, accesada 06/09/2012.
- Alzamora, S. M y López-Malo, A. 2002. Microbial behavior modeling as a tool in the design and control of minimally processed foods. En: Welti-Chanes, J., Barbosa-Cánovas, G. V. y Aguilera, J. M. (Eds.). *Engineering and Food for the 21st Century*. Nueva York. pp. 631-650.
- Ancasi, E. G., Carrillo, M. R. y Benítez, A. 2006. Mohos y levaduras en agua envasada y bebidas sin alcohol. *Revista Argentina de Microbiología*. 38: 93-96.
- Argaiz, A., López-Malo, A., Jiménez, T., Ramírez, M., Milacatl, V. 2004. Thermal treatments optimization of mango nectar and puree products. *Proceedings of the International Conference of Engineering and Food* 9. Montpellier, Francia. 7- 11 marzo 2004. CD-Rom, ICEF9, France.
- Arias, C. R, Burns, J. K., Friedrich, L. M., Goodrich, R. M., Parish, M. E. 2002. Yeasts species associated with orange juice: evaluation of different identification methods. *Applied and Environmental Microbiology*. 68(4): 1955-61.
- Barbosa-Cánovas, G. V., Pothakamury, U. R., Palou, E. y Swanson, B. G. 1998. High intensity pulsed electric fields: Processing equipment and design. En: E. Palou (Ed). *Nonthermal preservation of foods*. Marcel Dekker, Inc., Nueva York. pp. 53-112.
- Battey A. S., Duffy, S., Schaffner, D. W. 2002. Modeling yeast spoilage in cold-filled ready-to-drink beverages with *Saccharomyces cerevisiae*, *Zygosaccharomyces bailii* and *Candida lipolytica*. *Applied and Environmental Microbiology*. 68(4): 1901-1906.
- Bintsis, T., Litopoulou-Tzanetaki, E. y Robinson, R. 2000. Existing and potential applications of ultraviolet light in the food industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 80:637-645.
- Bolton, J. R. y Cotton, C. 2001. *Ultraviolet Applications Handbook*. Segunda edición. American Water Works Association, EE.UU. 168 p.
- Caminiti, I. M., Palgan, I., Muñoz, A., Noci, F., Whyte, P., Morgan, D. J., Cronin, D. y Lyng, J. G. 2012. The effect of ultraviolet light on microbial inactivation and quality attributes of apple juice. *Food Bioprocess Technology*, 5:680-686.
- Chia, S. L., Rosnah, S., Noranizan, M. A. y Wan Ramli, W. D. 2012. The effect of storage on the quality attributes of ultraviolet-irradiated and thermally pasteurized pineapple juices. *International Food Research Journal*. 19(3): 1001-1010.
- Déak, T. y Beuchat, L. R. 1998. *Handbook of Food Spoilage Yeasts*. Segunda edición. CRC Press, Boca Raton. 325 p.
- Domínguez, C. 2004. Formulación y pasteurización de una bebida con mezclas de jugos no clarificados de piña-guayaba-mango. Tesis de maestría. *Universidad de las Américas Puebla*. México. 106 p.
- Domínguez, L. y Parzanese, M. 2011. Luz ultravioleta en la conservación de alimentos. *Revista Alimentos Argentinos*. 52:71-76.
- FDA (Food and Drug Administration). 2000. 21 CFR Part 179. Irradiation in the production, processing

- and handling of food. Registro federal, 65, 71056-71058.
- Fredericks, I. N., Du Toit, M. y Krügel, M. 2011. Efficacy of ultraviolet radiation as an alternative technology to inactivate microorganisms in grape juices and wines. *Food Microbiology*. 28(3): 510-517.
- Goh, S. G., Noranizan, M., Leong, C. M., Sew, C. C. y Sobhi, B. 2012. Effect of thermal and ultraviolet treatments on the stability of antioxidant compounds in single strength pineapple. *International Food research Journal*. 19(3): 1131-1136.
- González, C. 2001. *Luz ultravioleta en la conservación de alimentos*. Ambiental Socoter. En http://www.ambientalsocoter.cl/008_Luz%20UltravioletaDesinfAguayAire.pdf, accesada 27/08/2012.
- Gould, G. W. 1995. *New Methods of Food Preservation*. Primera edición. Aspen Publishers, Gran Bretaña. 324 p.
- Guerrero-Beltran, J. A. y Barbosa-Canovas, G. V. 2006. Inactivation of *Saccharomyces cerevisiae* and polyphenoloxidase in mango nectar treated with UV light. *Journal of Food Protection*. 69(2): 362-368.
- Guerrero-Beltrán, J. A. y Barbosa-Cánovas, G.V. 2004. Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. *Food Science Technology International*. 10(3): 137-147.
- Guerrero-Beltrán, J. A., Velti-Chanes, J., y Barbosa-Cánovas, G. V. 2009. Ultraviolet-C light processing of grape, cranberry and grapefruit juices to inactivate *Saccharomyces cerevisiae*. *Journal of Food Process Engineering*. 32(6): 916-932.
- Herrero, A. y Romero, M. 2006. Innovaciones en el procesamiento de alimentos: Tecnologías no térmicas. *Revista de Medicina de la Universidad Navarra*. 50(4): 71-74.
- Jay, J. M, Loessner, M. J, y Golden, D. A. 2006. *Modern Food Microbiology*. Séptima edición. Springer Science, EE.UU. 790 p.
- Koutchma, T. 2008. UV light for processing foods. *IUVA News*. 10(4):24-29.
- Koutchma, T. 2009. Advances in ultraviolet light technology for non-thermal processing of liquid foods. *Food Bioprocess Technology*. 2:138-155.
- Kurtzman, C. P. y Fell, J. W. (Eds.). 1998. *The yeasts, a taxonomic study*. Cuarta edición. Elsevier Science, Nueva York. 1076 p.
- Liltved, H. y Landfald, B. 2000. Effects of high intensity light on ultraviolet-irradiated and non-irradiated fish pathogenic bacteria. *Water Research*. 34(2):481-486.
- López-Malo, A. y Palou, E. 2004. Ultraviolet light and food preservation. En: Cano, M. P. y Tapia, M. S. (Eds). *Emerging Technologies for the Food Industry*. Marcel Dekker, Nueva York. pp. 405-421.
- Lorenzini, M., Fracchetti, F., Bolla, E., Stefanelli, E., Rossi, F. y Torriani, S. 2010. Ultraviolet light (UV-C) irradiation as an alternative technology for the control of microorganisms in grape juice and wine. Conferencia. 33º Congreso Mundial de la Viña y el Vino. Teatro Estatal Rustaveli, Tbilisi, Georgia. 20-25 junio.
- Madrid, A. 1994. *Nuevo manual de industrias alimentarias*. A. Madrid Vicente, Madrid. 595 p.
- Marshall, M. R., Marcy, J. E. y Braddock, R. J. 1985. Effect of total solids level on heat inactivation of pectinesterase in orange juice. *Journal of Food Science*. 50:220-222.
- Mendonca, A. F. 2002. Inactivation by irradiation. En: V. K. Juneja y J. N. Sofos (Eds). *Control of Foodborne Microorganisms*. Marcel Dekker, New York. pp. 75-103.
- Mukhopadhyay, M., Majumdar, M. y Pallabi, B. 2011. Microbial contamination of street vended fruit juices in Kolkata City. *Internet Journal of Food Safety*. 13:1-5.
- Noci, F., Riener, J., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D. A., Morgan, D. J. y Lyng, J. G. 2008. Ultraviolet irradiation and pulsed electric fields (PEF) in a hurdle strategy for the preservation of fresh apple juice. *Journal of Food Engineering*. 85: 141-146.
- Ochoa, C. E., Luna, J. J. y Guerrero-Beltrán, J. A. 2011. Jugo de pitaya (*Stenocereus griseus*) tratado con luz ultravioleta. Conferencia. 8º Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Centro de Convenciones del Colegio Médico de Perú, Lima, Perú. 23-26 octubre.
- Pelayo, M. 2009. Alternativas a los tratamientos térmicos para garantizar la seguridad de los alimentos. *Ingeniería de alimentos*. 2(4): 16-17.
- Rahman, M. S. (Ed). 1999. *Handbook of Food Preservation*. Segunda edición. Marcel Dekker, Inc., Nueva York. 809 p.
- Sastry, S. K., Datta, A. K. y Worobo, R. W. 2000. Ultraviolet light. *Journal of Food Science*.

Supplement: Kinetics of microbial inactivation for alternative food processing technologies. 65(58): 90-92.

- Shama, G. 1999. Ultraviolet light. En: Robinson, R. K., Batt, C. y Patel, P. (Eds). *Encyclopedia of Food Microbiology*. Academic Press, Londres. pp. 2208-2214.
- Sizer, C. E. y Balasubramaniam, V. M. 1999. New intervention processes for minimally processed juices. *Food Technology*. 53:64-67.
- Stevens, C., Kahn, V. A., Lu, Y. J., Wilson, C. L., Pusey, P. L., Kabwe, M. K., Igwegbe, E. C., Chalutz, E. y Droby, S. 1998. The germicidal and hermetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. *Crop Protection*. 17(1):75-84.
- Tandon, K., Worobo, R., Churley, J. y Padilla-Zakour, O. 2003. Storage quality of pasteurized and UV-treated apple cider. *Journal of Food Processing Preservation*. 27: 21-35.
- Torkamani, A. E. y Niakousari, M. 2011. Impact of UV-C light on orange juice quality and shelf life. *International Food Research Journal*. 18(4): 1265-1268.
- Tran, M. T. y Farid, M. 2004. Ultraviolet treatment of orange juice. *Innovative Food Science Emerging Technology*. 5 (4): 495-502.
- Uysal, C. y Kirka, A. 2012. Effects of UV-C light processing on some quality characteristics of grape juices. *Food Bioprocess Technology*, doi: 10.1007/s11947-012-0808-7.
- Wright, H. B. y Cairns, W. L. 1998. Desinfección del agua por medio de luz ultravioleta. Simposio OPS: Calidad del Agua: Desinfección efectiva. Lima, Perú. 26-29 Octubre.
- Wright, J. R., Sumner, S. S., Hackney, C. R., Pierson, M. D. y Zoecklein, B. W. 2000. Efficacy of ultraviolet light for reducing *Escherichia coli* O157:H7 in unpasteurized apple cider. *Journal of Food Protection*. 63(5): 563-567.
- Yajima, H., Takao, M., Yasuhira, S., Zhao, J. H., Ishii, C., Inoue, H. y Yasui, A. 1995. A eukaryotic gene encoding an endonuclease that specifically repairs DNA damage by ultraviolet light. *The EMBO Journal*. 14(10): 2393-2399.