

Ventajas y Limitaciones del Procesamiento de Alimentos con Luz Ultravioleta

J.A. Guerrero-Beltrán y G.V. Barbosa-Cánovas
Universidad del Estado de Washington

Los efectos de la radiación con luz UV sobre los microorganismos puede variar de especie a especie y, entre cepas de la misma especie, del medio de cultivo, estado del cultivo, densidad de microorganismos y otras características como el tipo y composición del alimento.



Efectos Microbiológicos

Los efectos de la radiación con luz UV sobre los microorganismos puede variar de especie a especie y, en las mismas especies, puede depender de la cepa, medio de cultivo, estado del cultivo (Chang et al., 1985; Wright et al., 2000), densidad de microorganismos y otras características como el tipo y composición del alimento. Los hongos y levaduras son más resistentes durante la desinfección; sin embargo, los niveles altos de microorganismos deben tomarse en cuenta cuando se usa UV-C para desinfectar (Bachmann, 1975).

La radiación absorbida por DNA puede detener el crecimiento celular y producir la muerte celular (Liltved y Indfald, 2000). La luz UV-C que absorbe el DNA causa un cambio físico de electrones que provoca la ruptura de los enlaces del DNA, retrasar la reproducción o muerte celular (Anonymous, 2002^a). Esto significa que el efecto bactericida de la UV-C es básicamente a nivel del ácido nucleico (Wright et al., 2000). Un enlace cruzado entre tiamina y citosina (Nucleótido de bases Pirimídicas) en la misma cadena de DNA ocurre por la radiación de UV-C. Los fotoproductos más comunes de DNA son dímeros ciclobutil pirimidina. El efecto obtenido

es que la transcripción y réplica del DNA se bloquean, comprometiendo a las funciones celulares y eventualmente produciendo la muerte celular. Los efectos en los enlaces cruzados del DNA son proporcionales a la cantidad de exposición de luz UV-C (Snowball y Hornsey, 1988; Sastry et al., 2000).

La foto reactivación puede ocurrir cuando las células dañadas por UV-C se exponen a longitudes de onda mayores a 330 nm (Liltved y Landfald, 2000). El daño ocurrido a nivel DNA se puede reparar por factores proteínicos (DNA repara genes) (Yajima et al., 1995). La separación del ácido nucleico con tratamiento con luz UV-C se puede foto reactivar (luz fluorescente) debido a la activación de la enzima fotoliasa que monomeriza los dímeros (separación de tiamina y otras piridinas) formados después del proceso de radiación. (Stevens et al., 1998). Sin embargo un ambiente oscuro puede evitar la foto reactivación de productos irradiados (Stevens et al., 1998) o restaurar las células expuestas a la luz UV-C.

Efecto de Luz UV en Alimentos

La radiación UV-C (radiación no ionizada) tiene la ventaja de que no produce residuos químicos, subpro-

Tabla 1. Características de la Luz Ultravioleta

Tipo	Longitud de Onda	Rango	Características
UV-A	Largo	320-400nm	Cambios en el color de piel (bronceado)
UV-B	Medio	280-320nm	Piel quemada (cáncer)
UV-C	Corto	200-280nm	Rango Germicida (microorganismos)
UV-V		100-200nm	Rango de UV de vacío

ductos o radiación. También es un proceso seco y frío (Bachmann, 1975; Morgan, 1989) que requiere muy poco mantenimiento (Anónimo, 2002^a), tiene bajo costo ya que no necesita energía como un tratamiento medio. Por esta razón, existe un creciente interés en usar luz UV-C para la desinfección de alimentos (Sastry et al., 2000). Sin embargo, todo producto alimenticio, líquido o sólido, tiene su propia composición y esto puede determinar la dosis de UV-C. La única desventaja en el uso de luz UV-C para desinfección es que la unidad o equipo de UV-C se debe colocar tan cerca como sea posible al objetivo en el proceso (Anónimo, 2002^b).

Alimentos Líquidos

Se sabe que la luz UV-C sólo penetra a una profundidad muy pequeña en la superficie de líquidos que no sean agua (Shama, 1999). Por ejemplo, la penetración de luz UV en jugos es de aproximadamente 1 mm por absorción el 90% de luz (Sizer y Balasubramaniam, 1999). Esta es la razón principal para usar flujo turbulento durante el procesamiento de alimentos líquidos (Anónimo, 1999). El efecto de penetración de la radiación de UV-C depende del tipo de líquido, de la absorción UV-C, solutos solubles en el líquido y de materia suspendida. Aumentar la cantidad de sólidos reducirá la intensidad de penetración de radiación UV-C; las partículas grandes suspendidas también podrían bloquear la incidencia de luz en la carga microbiana (Shama, 1999;



Oficinas
 Emilio Carranza N° 440
 Col. El Retoño
 C.P. 09440 México, D.F.
 Tels: (52 55) 54.45.09.90 - 99

Planta
 Nemesio Díez Riega N° 9
 Parque Industrial El Cerrillo II
 C.P. 52050 Lerma de Villada
 Estado de México
 Tels: 01(728) 282.97.40 - 49



NUEVOS TELÉFONOS

Tabla 2. Dosis baja y alta de luz UV-C (254 nm) necesarios para inhibir 100% de varios tipos de microorganismos.

Organismo	Microorganismo	Dosis Baja (J/m ²)	Microorganismo	Dosis Alta (J/m ²)
Alga	<i>Chlorella vulgaris</i>	220	<i>Alga verde azul</i>	4200
Bacteria (vegetativa)	<i>Bacillus megatherium</i>	25	<i>Sarcina lutea</i>	264
Bacteria (esporas)	<i>Bacillus subtilis</i>	220	<i>Bacillus anthracis</i>	462
Hongos	<i>Oospora lactis</i>	110	<i>Aspergillus Níger</i>	3300
Virus	<i>Adeno virus tipo III</i>	45	<i>Tobacco mosaic</i>	4400
Levaduras	<i>Levadura de cerveza</i>	66	<i>Saccharomyces sp.</i>	176

Tabla 3. Desinfección de agua para beber por exposición a 254 nm de luz Ultravioleta para reducir la carga microbiana 4-log. (Fuente: Hoyer, 1998; Sastry et al., 2000).

Microorganismo	Exposición requerida sin reactivación (J/m ²)	Exposición requerida con la reactivación (J/m ²)
<i>Escherichia coli</i> ATCC 23958	50	200
<i>Vibrio cholerae</i> wild isolate	50	210
<i>Citrobacter freindii</i>	80	250
<i>Escherichia coli</i> ATCC 11229	100	280
<i>Enterobacter cloacae</i>	100	330
<i>Yersinia enterocolitica</i>	100	320
<i>Klebsiella pneumoniae</i>	110	310
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	110	190
<i>Salmonella Typhimurium</i>	130	250
<i>Serratia marcescens</i>	130	300
<i>Salmonella Typhi</i>	140	190
<i>Enterocolitica faecium</i>	170	200
<i>Mycobacterium smegmatis</i>	200	270

Tabla 4. Coeficiente de absorción de UV-C a 254 nm para alimentos líquidos

Alimento Líquido	$\alpha(\text{cm}^{-1})$
Agua destilada	0.007-0.01
Agua para beber	0.02-0.1
Jarabe clarificado	2-5
Vino blanco	10
Vino tinto	30
Cerveza	10-20
Jarabe oscuro	20-50
Leche	300

Bintsis et al., 2000). Es necesario que se expongan todas las partes del fluido a por lo menos 400 J/m² de luz UV a 254nm para asegurar una reducción adecuada de 5 ciclos log de un microorganismo subrogado, para poder obtener un alimento microbiológicamente seguro. Las dosis de UV-C se deben aplicar al sistema entero para asegurar que el alimento líquido se trata por igual (Anónimo, 1999).

Hoyer (1998) señaló que la foto reactivación de células puede ocurrir cuando las células se exponen a luz visible en el rango del espectro azul. Estas células foto reactivadas pueden ser más resistentes a la luz UV-C

cuando se aplica un segundo tratamiento de UV (Sastry, et al., 2000). Hoyer (1998) observó que se requiere una dosis mayor de UV-C para obtener una reducción 4-log de células foto reactivadas previo al tratamiento de agua con UV-C (Tabla 3).

UV-C se ha aplicado para reducir la carga microbiana de varios tipos de microorganismos en algunos alimentos líquidos. Wright et al. (2000) usó una unidad de desinfección con una película delgada de UV-C (10 cámaras individuales en series) para tratar jugo de manzana sin pasteurizar inoculado con una mezcla de 5 cepas de *E. coli* 0157:H7. Evaluaron la reducción log de *E. coli* usando diferentes velocidades de flujo, en un rango de 0.999 a 6.48L/min, lo que corresponde a un rango de 610 a 94 J/m² encontrando una reducción de 3.81 log (cfu/ml) en jugo de manzana. Sin embargo, esta reducción no es suficiente para alcanzar la reducción microbiana de 5-log recomendada para alimentos líquidos.

Harrington y Hills (1968) obtuvo una reducción microbiana total de 2.673-log en jugo de manzana con una buena vida de anaquel durante 35 días a 2.2°C. Fairred et al (2001) trató una película delgada de jugo de naranja que resbalaba por una pared de un sistema

de UV a 214.2 W/m² y encontró que el jugo de naranja tratado con UV duplicó su vida de anaquel sin cambios en color y sabor.

Alimentos Sólidos

Frutas y Vegetales

La luz UV-C también se aplica en frutas frescas, vegetales y raíces antes de almacenarse para cumplir dos objetivos. Uno es el de reducir la carga microbiana inicial en la superficie del producto y el otro es el de inducir la resistencia del huésped a los microorganismos. El efecto benéfico de la luz UV-C en alimentos frescos se denomina 'hormesis' y el agente (luz UV) se llama 'hormetina' o 'efecto hormético' (Stevens et al., 1997, 1999). El efecto hormético de la luz UV-C puede estimular la producción de fenilalanina amonía-liasa (PAL) que induce la formación de fitoalexinas (compuestos fenólicos), que pueden, en cambio, mejorar la resistencia de frutas y vegetales de microorganismos (Tabla 5).

Por ejemplo, PAL incluye la resistencia de la papa dulce al hongo *Fusarium solani* (Stevens et al., 1999). Se ha reportado la producción de escoparona y escopoletina en el flavedo de frutas cítricas después del tratamiento con UV-C. Estas fitoalexinas mejoraron la resistencia de los cítricos contra patógenos (D'hallewin et al., 2000; Ben-Yehoshua et al., 1992). Stevens et al. (1997, 1998) aplicó la luz UV-C en duraznos y encontró una concentración aumentada y una disminución en la síntesis de etileno que mejoró la vida de anaquel de la fruta al retrasar la maduración.

Stevens et al. (1997) aplicó dosis de luz UV-C como un agente hormético para reducir la putrefacción causada por *Monilinia fruticola* en duraznos, hongo verde causado por *Penicillium digitatum* en mandarinas, putrefacción suave causada por *Rhizopus*

stolonifer en jitomates y papas dulces durante el almacenamiento.

Pescado, Pollo y Carne

Se pueden tratar varios tipos de carne con UV-C en la superficie para reducir la carga microbiana antes de su refrigeración. La carne fresca irradiada con luz UV-C reduce la carga microbiana en dos o tres ciclos log, dependiendo de la dosis. Al incrementar la dosis, la reducción microbiana mejora. Sin embargo, la radiación no penetra los materiales opacos (Stermer et al., 1987). La luz UV-C utilizada para desinfectar no cambia el color o apariencia general de la carne fresca. Djenane et al., (2001) irradió continuamente filetes de res empacada en bolsas de polietileno con atmósferas modificadas (70% O₂, 20% CO₂, 10% N₂) almacenadas a 1°C. Señalaron que la vida de anaquel de la carne fresca se extendió de 12 a 28d. Wallner-Pendleton et al. (1994) aplicaron luz UV (dosis de 825.6-864.0W/m²) para pollo en canal para reducir la población de *Salmonella typhimurium*, aerobios y hongos en el cascarón de huevos, observando una reducción significativa en la población microbiana.

Procesamiento con UV y Equipo para Alimentos Líquidos

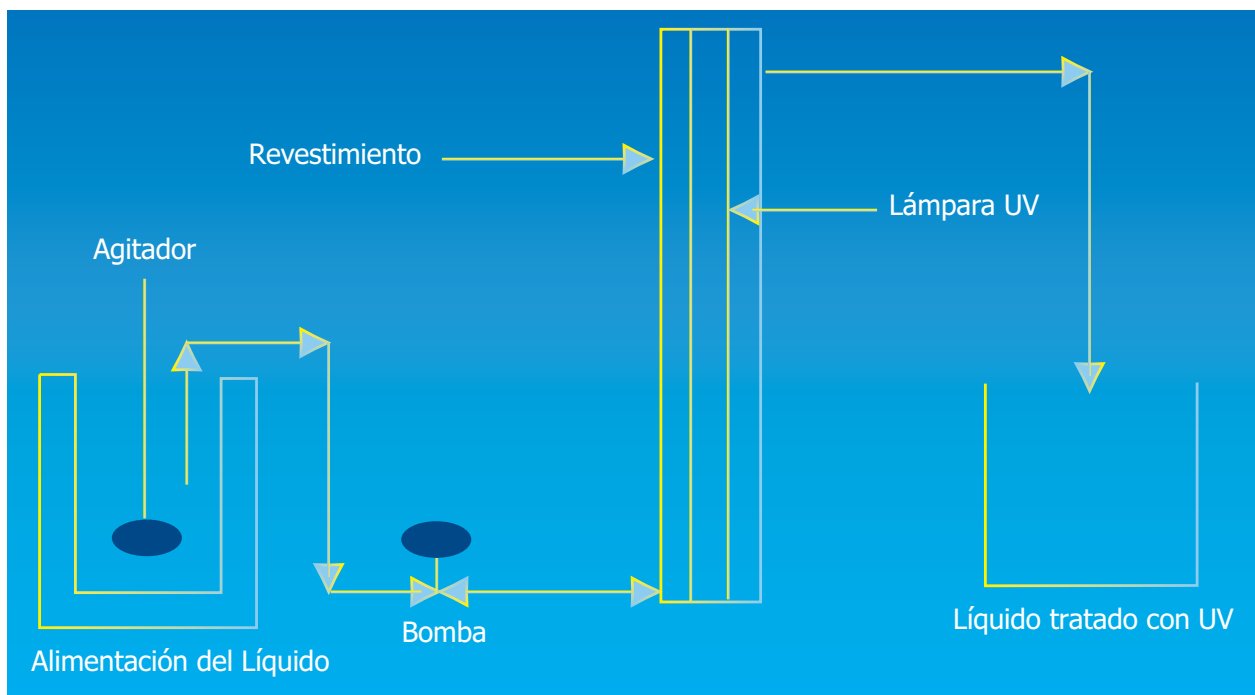
Procesamiento con UV

La manera más simple de construir un sistema UV-C para tratar alimentos líquidos es usando un sistema de tubos concéntricos con una lámpara UV, contenedores para los líquidos, tubos de plástico o tuberías sanitarias, sistemas de refrigeración y bombas.

Una lámpara ultravioleta recubierta con una revestimiento (o funda) hecha de cuarzo (Shama, 1999), como en un intercambiador de calor, puede colocarse dentro de un sistema concéntrico. El líquido fluirá a través de la parte anular.

Tabla 5. Dosis de Luz UV-C en frutas, vegetales y raíces aplicadas con diferentes propósitos horméticos.

Fruta	Efecto hormético/Microorganismo	Dosis (kJ/m ²)	Fuente
Fresas	Botrytis cinerea (control decay)	0.25-1.0	Baka et al. (1999)
Jitomates	Altemaria alternata, Botrytis cinerea, Rhizopus stolonifer	1.3-4.0	Liu et al. (1993)
Limones	Penicillium digitatum (phytoalexins prod.)	5-15.0	Ben-Yehoshua et al. (1992)
Duraznos y manzanas	Reduction of rot and delayed ripening	0.84-40.0	Lu et al. (1991)
Mandarinas	Penicillium digitatum	1.30	Stevens et al. (1997, 1998)
Duraznos	Monillinia fruticola	7.50	Stevens et al. (1997)
Jitomates y papas dulces	Rhizopus stolonifer	3.6	Stevens et al. (1997)
Toronjas (Ruby Star)	Production of phytoalexins	0.50	D'hallewin et al. (2000)

Figura 2. Sistema simple para el tratamiento de fluidos con irradiación-UV

La lámpara UV-C que se encuentra en el centro del sistema proporcionará la cantidad de luz requerida para la desinfección. Por tanto el revestimiento requiere de tubos conectores en las salidas del sistema para utilizarlos como un sistema de circulación. El líquido que pasa a través del sistema se puede re-circular o tratar continuamente en la parte anular para alcanzar el efecto germicida requerido. Sin embargo, se puede conectar más de un sistema de tubos concéntricos en un arreglo para aumentar el efecto germicida en el alimento líquido sin tener que recircularlo. Se puede añadir un sistema de refrigeración en la entrada o salida del sistema concéntrico para enfriar el líquido antes del tratamiento con luz UV. Se pueden usar bombas para controlar la velocidad de flujo y así aplicar la dosis requerida.

Se necesitan dispositivos mezcladores antes y después de la unidad de UV-C para asegurar una mezcla apropiada de microorganismos en el sistema y obtener así una muestra representativa para evaluar los microorganismos residuales después del procesamiento (Sastry et al., 2000). Es necesario un flujo turbulento durante el procesamiento con luz UV para asegurar que todo el producto recibió la misma dosis de luz UV (Anonymous, 1999). También se recomienda que el producto líquido (bien mezclado) se exponga a

por lo menos 400 J/m² de radiación de luz UV-C para lograr por lo menos una reducción de 4-log de carga microbiana (Sastry et al., 2000). Sastry et al (2000) señalaron dos consideraciones importantes cuando se utiliza un sistema de luz UV-C para la desinfección de alimentos líquidos:



- a) la unidad se debe programar para emitir la misma energía al alimento y
- b) el tiempo de exposición se debe ajustar para alcanzar los niveles de energía apropiados.

Se han utilizado varios arreglos para tratar líquidos con UV. Por ejemplo, las compañías proveedoras de sistemas de desinfección de agua en el mundo han desarrollado unidades de desinfección con UV-C de agua para beber. Sin embargo, la mayoría de productos líquidos no son transparentes o sin color. Esto significa que se necesitan algunas características específicas para aplicar UV como un medio de desinfección de alimentos líquidos.

Las maneras más comunes para desinfectar líquidos con luz UV-C es corriendo el líquido a través de un ánulo, como los que se usan para la desinfección de agua para beber. Sin embargo, la desinfección puede no ser efectiva si el grosor de la capa del líquido no es lo suficientemente pequeña, ya que la penetración de la UV depende de la absorción del líquido (Shama, 1992). Se recomiendan películas delgadas del líquido

para aumentar la efectividad de la penetración UV-C dentro del líquido para asegurar la dosis letal contra las bacterias (Shama, 1992).

Salcor, Inc. (Fallbrook, CA) ha fabricado un prototipo para el tratamiento con ultravioleta de jugos con una tubería de Teflon™ transparente en espiral rodeada de lámparas UV-C. De acuerdo con el fabricante, el sistema tiene dos ventajas:

- a) se conservan el sabor, color, textura y actividad enzimática;
- b) la carga bacteriana se reduce significativamente.

Otras ventajas observadas incluyen:

- a) se puede monitorear la cantidad de luz UV-C y presión de flujo durante el procesamiento;
- b) el sistema proporciona información escrita para asegurar que el tratamiento del jugo fue satisfactorio (Anónimo, 1999).

Purificadores de agua por medio de luz ultravioleta

Calidad, Confianza, Garantía y Servicio

Equipos desde 4 hasta 3,800 litros por minuto también contamos con:

- Portacartuchos
- Cartuchos Filtrantes
- Lámparas Germicida
- Filtros Multicapa
- Filtros Carbón Activado
- Suavizadores
- Desmineralizadores
- Osmosis Inversa
- Generadores de Ozono
- Plantas Embotelladoras y mucho más...



Agua purificada para siempre

Tel: (777) 380-0791

info@instapura.com.mx

Fax sin costo: 01800-202-3845

Subida a Chalma 2044, Lomas Tetela
62158, Cuernavaca, Mor. México

www.instapura.com.mx

Somos Fabricantes

Shama (1992) y Shama et al., (1996) desarrollaron un foto reactor de película delgada que tiene una boquilla con un diseño especial para formar una campana líquida por aspersión. El equipo tiene una lámpara UV-C colocada axialmente dentro de la campana líquida formada y cuatro lámparas localizadas circunferencialmente afuera de la campana del líquido para mejorar el efecto germicida de los UV. Cada lámpara se mantuvo a una distancia de 10 cm de la campana líquida. Shama et al., (1996) recircularon 32 L de *E. coli* (1.2×10^7 cfu/ml) suspendida en agua o ácido húmico a una velocidad de 13.5 L/min. Encontraron que la carga inicial se redujo a fracciones de supervivencia de 1.88×10^{-5} y 1.84×10^{-4} para absorciones de 0.18 cm^{-1} (agua) y 4.0 cm^{-1} (ácido húmico), respectivamente, después de 30 min de tratamiento. La dosis empleada fue de entre 20.3 J/m^2 a 48.4 J/m^2 para una y 5 fuentes, respectivamente.

Parámetros clave en el Procesamiento de Alimentos con UV

La efectividad de la penetración de UV en alimentos líquidos se ve afectada por factores como la fuente de la luz, composición del producto, perfil de flujo y configuración geométrica.

Fuente de Luz

La fuente de luz se restringe a luz UV-C o, más específicamente, a 254 nm por su efecto germicida en microorganismos. Conforme la radiación UV-C pasa a través del líquido, su intensidad se reduce (Shama, 1999). Por ejemplo, la radiación UV pierde 30% de su intensidad a 40 y 10 cm por debajo de la superficie del agua destilada y agua de mar, respectivamente (Bintsis et al., 2000). Por esta razón, el tiempo de exposición, dosis y perfil de flujo son críticos para lograr el efecto requerido sobre la carga microbiana en líquidos para generar alimentos microbiológicamente seguros.

Composición del Producto

Los líquidos que tienen alta transmitancia de luz se pueden tratar fácilmente con radiación UV-C, pero los líquidos con baja transmitancia, la cual se asocia con materiales particulados o compuestos orgánicos, pueden presentar dificultades. La población microbiana inicial, partículas y materia orgánica son factores asociados con transmitancia baja de radiación UV-C (Shama et al., 1996). Las levaduras son más grandes que las células bacterianas y esto puede causar turbidez del medio. Las pequeñas partículas en el líquido pueden

reducir la penetración de UV y el efecto germicida de UV puede reducirse enormemente (Shama et al., 1996; Wright et al. 2000). Por consiguiente, los líquidos con partículas suspendidas se deben tratar formando primero una película delgada para mejorar la penetración de luz UV (Shama et al., 1996). La penetración de luz UV-C en jugos es de aproximadamente 1 mm con absorción de luz al 90%. Por tanto se recomienda un flujo turbulento para mejorar el efecto germicida en la mayoría del jugo que fluye a través del sistema UV (Sizer y Balasubramaniam, 1999). El color, contenido de sólidos solubles y composición de alimentos líquidos puede causar una reducción en la transmisividad de la luz UV a través del líquido. El agua pura, como un líquido transparente e incoloro, tiene el índice mayor de transmisividad; sin embargo, la radiación se pierde conforme la luz pasa a través del agua.

Configuración Geométrica y Perfil de Flujo

La configuración geométrica es crítica para asegurar una desinfección adecuada en el alimento. Por esta razón, algunos investigadores han estado trabajando con diferentes configuraciones geométricas en el equipo para producir:

- una película delgada a lo largo de las tuberías (Wright et al., 2000);
- una campana formada aplicando el líquido con boquillas (shama, 1992; Shama et al., 1996); o
- flujo turbulento a lo largo de todas las tuberías (Anónimo, 1999). Esto significa que el sistema UV debe arreglarse para producir un perfil de flujo que rinda mejor para el efecto germicida deseado.

Fuente de la que se extrajo la información para este artículo:

Guerrero-Beltrán, J.A. Barbosa-Cánovas, G.V. *Review: Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light*. Food Science Technology International. EUA, 2004.

Traducción: I.A. Violeta Morales V.

