# Luz ultravioleta en la conservación de alimentos

Ficha Nº 2

**Ing. Laura Domínguez - Téc. Magali Parzanese**

Los distintos métodos de conservación de alimentos pretenden incrementar la vida útil de los productos durante su almacenamiento, idealmente, aplicando técnicas que logren impedir alteraciones microbiológicas pero manteniendo la calidad.

La eficacia de estos métodos depende principalmente del cuidado de la higiene durante su producción, siendo su objetivo disminuir la carga microbiana y evitar su desarrollo. Para tal fin muchos productos son tratados térmicamente, técnica que muchas veces modifica las características, tanto sensoriales (textura, sabor y color), como nutricionales (pérdidas de vitaminas, principalmente) del alimento.

Debido a estos efectos adversos del tratamiento a altas temperaturas, se encuentran en desarrollo procesos no térmicos de conservación, también denominados tecnologías suaves. Son poco agresivos y tienen la ventaja de ofrecer productos semejantes a los frescos y por lo tanto acorde con las demandas actuales del mercado, pero sin perder sus garantías en materia de inocuidad.

Hace varios años se están investigando los efectos de la luz sobre bacterias y otros organismos, lo que comenzó a partir del concepto del daño celular causado por la incidencia de la radiación solar sobre organismos vivos. Posteriormente se estudió el efecto producido por radiaciones monocromáticas del espectro ultravioleta (UV).

Las aplicaciones de este método comenzaron alrededor de 1901 cuando se logró producir luz artificialmente. Esta técnica se emplea para desinfectar aire, agua y superficies de materiales con posible contaminación biológica (virus, bacterias, esporas, mohos, levaduras). En la industria de alimentos se utiliza para desinfectar por ejemplo cintas transportadoras, láminas y tapas de cierre, envases; como también superficies de algunos alimentos sólidos entre los que se pueden mencionar frutas, verduras, pescados y líquidos como jugos y agua. Asimismo se emplea en acuicultura por ejemplo para protección del flujo y de la recirculación en acuarios de agua dulce o salada.

En la actualidad el sistema más utilizado es continuo. Se compone de emisores de radiación encendidos en forma permanente que aplican luz UV sobre productos líquidos o sólidos. El principal uso de la técnica es el tratamiento de agua.

## APLICACIONES EN LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

La radiación UV se utiliza en diferentes sectores de la industria de alimentos, debido al efecto nocivo que causa sobre el ADN de muchos microorganismos. Asimismo, es elegida por tratarse de un proceso que no altera las propiedades organolépticas de los productos y reduce el uso de sustancias químicas. Se emplea para la preservación de alimentos líquidos y sólidos, pero en estos últimos su aplicación es efectiva a nivel superficial.

### *Alimentos líquidos*

La radiación UV se utiliza para desinfectar agua, ya sea para ser comercializada como tal o en la industria de bebidas. Asimismo se emplea para desinfectar agua de proceso, por ejemplo en transporte de peces a criaderos, en la desinfección del agua que resulta de la depuración de moluscos; ya que no deja residuos químicos que puedan afectar la vida de los animales, asegurando una elevada reducción de microorganismos, sin alterar olor, color o pH. También, se utiliza para desinfectar y aumentar la vida útil de jugos de frutas y verduras.

Cabe destacar que el poder de penetración disminuye cuando se tratan líquidos que no son transparentes y/o con sólidos en suspensión. Los líquidos con buena transmitancia[1] de luz no presentan inconvenientes en el tratamiento con radiación UV, la baja transmitancia está asociada a la concentración inicial de microorganismos, partículas en suspensión, color y composición del producto. El agua por ser un líquido transparente tiene el mayor índice de transmisividad[2]. Vale resaltar que el poder germicida de la radiación disminuye al aumentar la distancia desde la fuente de luz. Por esto, el tiempo de exposición, la dosis y el perfil de flujo son clave para lograr la reducción microbiana necesaria.

Como ejemplo se puede mencionar que la penetración de luz UV en jugos es de aproximadamente 1mm para obtener una absorción del 90% (Sizer y Balasubramaniam, 1999). En estos alimentos es muy importante asegurar un flujo turbulento a fin de lograr una mayor eficiencia de contacto de la radiación con el producto.

### *Alimentos sólidos*

Al aplicar radiación UV en frutas y vegetales, adicionalmente a la reducción de la carga microbiana inicial en la superficie, se produce un fenómeno denominado efecto hormético (Stevens et al., 1997, 1999). Dicho efecto puede mejorar la resistencia al ataque de ciertos microorganismos como mohos y levaduras, ya que puede estimular la producción de fenilialanina amonia-liasa que induce la formación de compuestos fenólicos (fitoalexinas), tóxicos para ellos.

Se pueden tratar distintos tipos de carne (pescado, pollo, carne bovina), antes de su refrigeración, con luz UV en la superficie para reducir la carga microbiana en dos o tres ciclos logarítmicos (dependiendo de la dosis aplicada), lo que puede aumentar varios días su vida útil. No obstante, es posible que se generen sustancias iniciadoras de la oxidación del alimento por lo que pueden modificarse las características organolépticas del producto. Por esto, hace un tiempo se comenzó a investigar su aplicación en forma pulsada. Este método se basa en la utilización de flashes o pulsos de luz intensa sobre el producto, de manera que se libera energía rápidamente a la superficie del producto. El escaso tiempo de exposición limita la formación de estos componentes, lo que evitaría dichas modificaciones químicas indeseables.

Existen diversos alimentos en los que el tratamiento con radiación UV podría ser especialmente interesante. Uno de ellos son las especias, que en general poseen elevada contaminación en origen, lo que puede provocar que la mayor parte de la carga de microorganismos en un alimento especiado provenga de éstas y no del alimento fresco. Otro

[1] Transmitancia es una magnitud que expresa la cantidad de energía que atraviesa un cuerpo por unidad de tiempo (potencia).

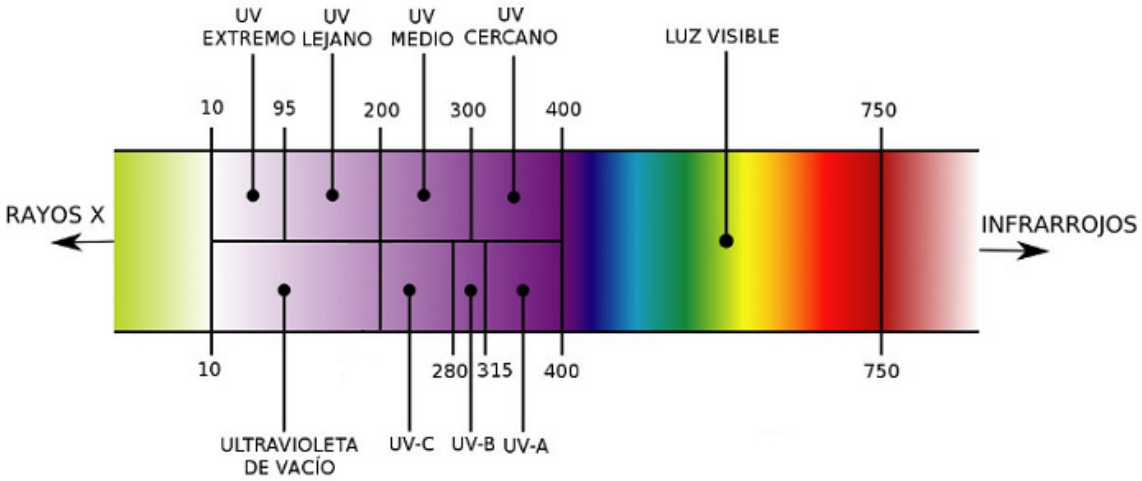
[2] Transmisividad: es la proporción de radiación solar incidente sobre un material que es capaz de ser transmitida por ese material (que es capaz de atravesar dicho material).

grupo con potencial es el de las harinas y cereales, donde la luz UV podría reducir la carga microbiana, especialmente, la descontaminación de patógenos como *Bacillus cereus*. También es importante su aplicación en aquellos productos que no poseen en su proceso alguna etapa de reducción de microorganismos, como el tratamiento térmico.

| Ventajas | Desventajas |
|---|---|
| ✓ No produce alteraciones organolépticas en la mayor parte de los alimentos.<br>✓ Método físico en el cual la energía es el medio germicida, sin generar productos secundarios indeseables.<br>✓ El tratamiento no produce residuos químicos ni radiación.<br>✓ Es efectivo para desinfección de diversas superficies.<br>✓ Es eficaz para la inactivación de muchos microorganismos<br>✓ Es de fácil aplicación.<br>✓ Bajo costo y mantenimiento. | ✓ Los organismos protegidos por sólidos (partículas, polvo o cubiertas) no son afectados.<br>✓ Poca penetración en materiales sólidos y en líquidos no transparentes.<br>✓ La exposición prolongada a irradiación UV puede dañar la vista y causar quemaduras.<br>✓ La unidad o equipo de UV se debe colocar tan cerca como sea posible al producto a tratar.<br>✓ Los microorganismos pueden reparar los efectos destructivos de la radiación UV mediante un "mecanismo de reparación", también conocido como foto reactivación o, en ausencia de radiación, como reparación en oscuro. |

Vale recordar que a pesar de ser una tecnología aplicable a muchos alimentos, es necesario tener en cuenta la composición de estos productos, ya que se requieren dosis distintas de radiación UV según la matriz (composición química y ordenamiento estructural) propia del alimento. Por esto, sería importante realizar ensayos de laboratorio de rutina, a fin de evaluar la eficacia de la técnica.

## CONCEPTO Y DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

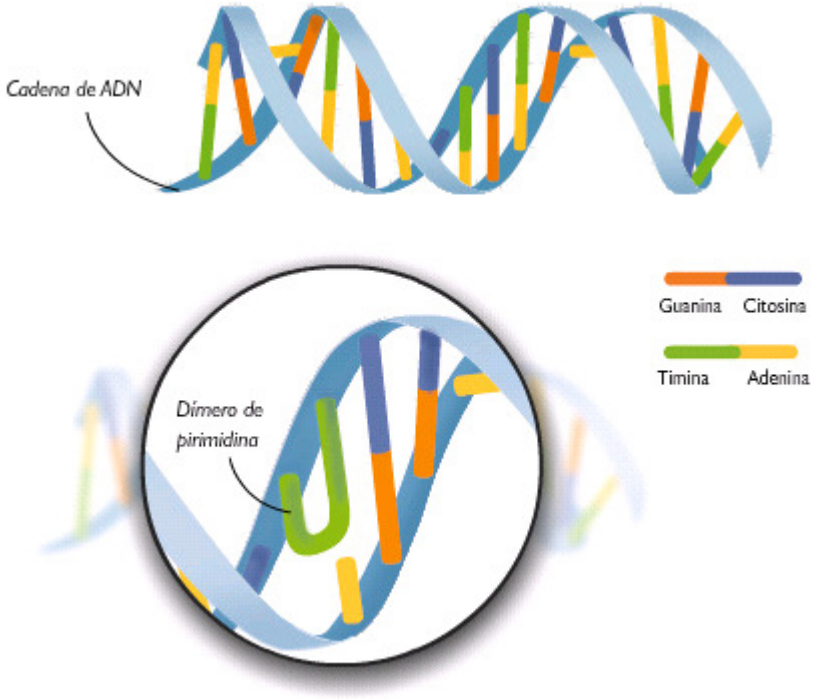



El uso de la tecnología UV con fines de desinfección implica la región ultravioleta del espectro electromagnético, con un rango de longitud de onda entre 100 y 400 nm. Éste se puede subdividir (Bolton 1999) en:

- UV de onda corta UV-C entre 200 y 280 nm. ***Rango germicida***
- UV de onda media UV-B entre 280 y 315 nm.
- UV de onda larga UV-A entre 315 y 400 nm.

La máxima eficiencia para la desinfección se sitúa en 254 nm.

La radiación UV produce cambios fotoquímicos, cuyos efectos pueden variar según la especie de microorganismo que se trate. El mecanismo de acción letal depende de su absorción por el ADN, pudiendo detener el crecimiento celular y provocar la muerte. La radiación absorbida por los nucleótidos produce cambios físicos de electrones, formando uniones cruzadas entre tiamina y citocina, (nucleótidos de bases pirimidínicas) pertenecientes a la misma cadena, lo que provoca la formación de dímeros ciclobutil pirimidina.




Fuente: Aliment@tec. - http://www.alimentatec.com/index.php?option=com_content&view=article&id=500&Itemid=54

Esto produce distorsiones en la forma del ADN interfiriendo en el apareamiento normal de las bases. Como resultado se bloquea la síntesis de ADN y consecuentemente quedan afectadas las funciones celulares pudiendo provocar la muerte. Los efectos en los enlaces cruzados son proporcionales al tiempo de exposición e intensidad de la luz UV (Snowball y Hornsey, 1988; Sastry et al., 2000).

No obstante, es posible que ocurra una reactivación. 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 del ácido nucléico debido a la activación de la enzima fotoliasa que monomeriza los dímeros (separación de tiaminas y otras pirimidinas) formados después del proceso de radiación (Stevens et al., 1998). Vale aclarar que un ambiente oscuro puede evitar la foto reactivación de productos tratados con radiación UV o restaurar las células expuestas. Estas células foto reactivadas pueden ser más resistentes a la radiación UV cuando se aplica un segundo tratamiento de UV (Sastry, et al., 2000).

Las células reactivadas pueden ser más resistentes si se someten a un segundo tratamiento. Se observó que sería necesaria una dosis mayor de radiación para lograr una reducción 4-log de células foto reactivadas, previo al tratamiento de agua con UV (Hoyer, 1998; Sastry et al., 2000):

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

A fin de lograr la inactivación microbiana, la exposición a la radiación UV debe ser al menos 400 $J/m^2$ en toda la superficie del producto. Los factores críticos incluyen la transmisividad del producto, la configuración geométrica del reactor, la potencia, la longitud de onda y la disposición física de la fuente de UV, el perfil de flujo de producto y la trayectoria de la radiación.

La radiación emitida se mide en Watts (W) y la intensidad de la radiación en $W/m^2$. Para una desinfección eficaz es importante conocer la dosis de radiación necesaria para reducir la carga del microorganismo, la cual es el producto entre la intensidad de la radiación (I), expresada como energía por unidad de área y el tiempo de residencia o contacto con la luz UV (t) en segundos. La dosis (D) se mide en $J/m^2$ (1 Joule = 1 Watt x segundo):

$$\mathbf{D}\ (J/m^2) = \mathbf{I}\ (W/m^2)\ \mathbf{x}\ \mathbf{t}\ (s)$$

También suele expresarse en $mJ/cm^2 = \mu W\ s/cm^2$

La resistencia de los organismos a la luz ultravioleta es variada. El ambiente en el que se encuentran también influye en la dosis necesaria para su destrucción.

La relación entre la dosis y la destrucción de un microorganismo por tratamiento con luz UV puede verse de la siguiente forma (Mani, 2003):

$$\mathbf{N = N_0\ e^{-KD}}$$

Donde:

$N_0$ = número inicial de microorganismos

N = Numero de microorganismos después del tratamiento

K = Constante de velocidad de inactivación

D = Dosis

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.

***Valores de requerimientos de dosis para la destrucción del 90% de algunos microorganismos***

| Especies | Dosis ($mJ/cm^2$) |
|---|---|
| Bacillus subtilis (espora) | 12.0 |
| Clostridium tetani | 4.9 |
| Legionella Pneumophilla | 2.04 |
| Pseudonomas aeruginosa | 5.5 |
| Streptococcus feacalis | 4.5 |
| Hepatitis A virus | 11.0 |
| Hepatitis Poliovirus | 12.0 |
| Saccharomyces cervisiae | 6.0 |
| Infectious pancreatic necrosis | 60.0 |

***Relación entre la dosis y la destrucción UV, para E. coli (indicador patógeno transmitido por el agua) = 5,4 mJ/cm2***

| Dosis $mJ/cm^2$ | Reducción en el número de microorganismos vivos |
|---|---|
| 5.4 | 90.0% |
| 10.8 | 99.0% |
| 16.2 | 99.9% |
| 21.6 | 99.99% |
| 27.0 | 99.999% |

http://www.lenntech.es/uv-informacion.htm#ultraviolet#ixzz3pMUXC4uc

## PROCESO PARA EL TRATAMIENTO DE AGUA

La luz ultravioleta se produce por medio de lámparas de vapor de mercurio. Existen varios tipos dependiendo del uso y la potencia necesaria. Entre otras variantes las hay con y sin generación de ozono, compactas, para uso en aire, agua, etc. Los tipos de lámparas UV utilizadas en la industria son:

- Baja presión
- Presión media
- Baja presión de alta intensidad
- Presión media de alta intensidad
- Amalgama

Las de baja presión son generalmente utilizadas para situaciones de flujos bajos que no poseen elevado requerimiento de potencia. Las lámparas de alta presión son empleadas para flujos mayores que requieren alta intensidad de energía UV. Las de amalgama presentan las ventajas de las lámparas de baja presión, alta eficiencia en la emisión de una determinada longitud de onda, pero con mayor potencia.

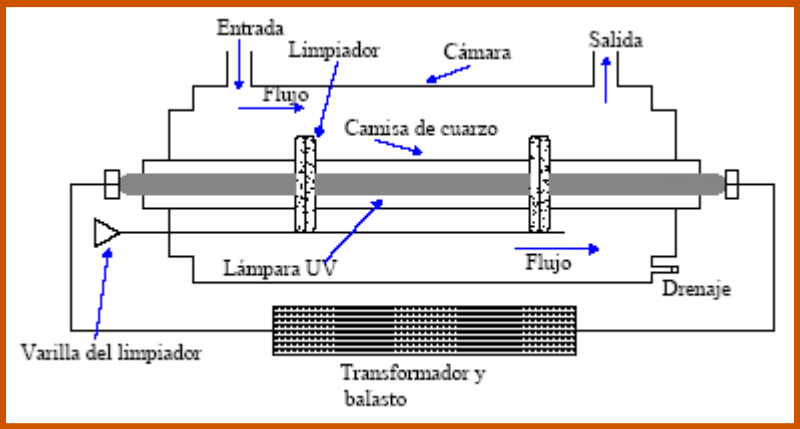
Su apariencia es similar a las lámparas fluorescentes. Poseen una vida útil promedio de un año de trabajo sin interrupción. En general, las encontradas en el mercado producen una longitud de onda de luz ultravioleta cerca de 254 nm (máxima eficiencia para la desinfección).

El tipo básico de cámara de exposición para agua a la radiación ultravioleta, presenta lámparas sumergidas en el agua. Generalmente, cada una se encuentra rodeada por una camisa de cuarzo, material que no interfiere en el paso de la luz.

Un sistema de desinfección de agua por radiación UV puede incluir lo siguiente:

- Una cámara de exposición de material anticorrosivo (acero inoxidable), el cual alberga el sistema.
- Lámparas ultravioleta.
- Limpiadores mecánicos, limpiadores ultrasónicos u otros mecanismos de auto limpieza.
- Sensores conectados a sistemas de alarma para el monitoreo de la intensidad de la luz ultravioleta.
- Dispositivo de control de velocidad de flujo y temperatura.
- Dispositivo de control de funcionamiento de las lámparas (dosis, fallas de encendido, etc.).
- Balasto (ordena el flujo de electrones).

***Instalación típica de un equipo de radiación UV***




Fuente Organización Panamericana de la Salud (OPS)

http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo4.pdf

En el diseño del equipo es importante asegurarse que cada microorganismo reciba la dosis de radiación necesaria para ser eliminado, determinando el espacio correcto entre las lámparas y las superficies reflectoras del interior de la cámara, como también una adecuada agitación del agua a fin de exponer el flujo a la misma dosis de radiación, logrando un proceso eficaz. El flujo del agua puede ser paralelo o perpendicular a la longitud de las lámparas. Si es perpendicular se puede producir la turbulencia necesaria para que todo el volumen quede expuesto a la dosis requerida, cuando el flujo es paralelo sería conveniente utilizar agitadores estáticos.

***Dinámica de flujo perteneciente a las rutas de las dosis en un sistema UV convencional con forma de U***

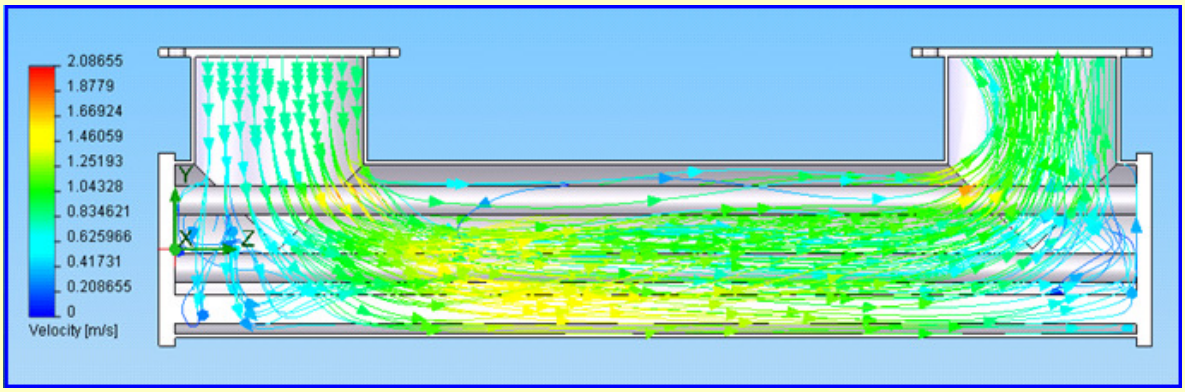



Imagen provista por la compañía "Atalntium" – http://www.atlantium.com.mx/index.html

Sistema UV con líneas de corrientes de agua

Cada línea de corriente se caracteriza por una determinada velocidad del agua e intensidad de luz.

La dosis UV de una línea de corriente es la intensidad acumulada de luz UV a la que fue expuesto un microorganismo al cruzar dicha corriente.

Vale aclarar que es fundamental contar con una etapa previa de filtrado o clarificado, con el objeto de eliminar los sólidos en suspensión que puedan interferir en la eficacia del tratamiento.

## COSTO DEL TRATAMIENTO DE AGUA POR RADIACIÓN UV

En Argentina existen varias empresas dedicadas al tratamiento de aguas utilizando esta tecnología, ya que se trata de la aplicación más difundida y desarrollada en el país.

Entre las compañías consultadas se pueden mencionar *Orbital* y *Atlantium*, quienes informaron acerca de las características, aplicaciones y costo de los equipos para desinfección de agua:

### *I. Orbital, Ingeniería en Tratamiento de Agua* – http://www.orbitalingenieria.com.ar

Empresa argentina radicada en Córdoba con más de 10 años de trayectoria como proveedor de tecnología para tratamiento de aguas.

Comercializa dos tipos de equipos:

- Esterilizadores UV: equipos provistos de una o varias lámparas UV, que eliminan el 99.9% de la carga microbiana del agua que circula en torno a ellas.

- Unidades Integrales Esterilizadoras (UIE): equipos provistos de una o varias lámparas UV y un sistema de electrólisis que desprende pequeñas cantidades de plata. De esta manera, combinan las fortalezas de la esterilización UV y el efecto residual de la ionización con plata.

Se puede optar por equipos con capacidades desde los 1.500 litros por hora (l/h) a 10.000 l/h y superiores.

Costo aproximado: un equipo UV con capacidad 1.500 l/h vale alrededor de U$S 1.100 + IVA (10.5%). Equipos mayores, a intervalos de 1.500 l/h se encuentran cerca de los U$S 600 + IVA (10.5%) por cada incremento.

### *II. Atlantium, Illuminating Water Technologies* – http://www.atlantium.com

Empresa de origen israelita, que comercializa su tecnología en nuestro país y en otros de América Latina, como Venezuela, Perú, Brasil y Chile (donde su principal aplicación es en el agua de transporte de peces vivos de criaderos, desde el lugar de su etapa inicial hacia el mar; donde finalizan su crecimiento).

Esta compañía adapta el principio de reflexión interna total a fin de aumentar la eficiencia de la desinfección del agua.

El distintivo del sistema es una cámara de desinfección fabricada en cuarzo y rodeada por un bloque de aire. Esta configuración captura los rayos de luz UV (de lámparas UV de presión media de alta intensidad – MPHI, personalizadas) y los fuerza a rebotar repetidamente dentro de la cámara de desinfección, lo cual le da a la luz una ruta más larga en la cual eliminar dentro de la cámara, los microorganismos especificados. Éstos reciben la dosis necesaria de manera uniforme logrando altos niveles de inactivación microbiana. El costo estimado es de U$S 20.000 a U$S 25.000 por cada 30 $m^3$ por hora de agua desinfectada, acorde a normas internacionales y nacionales.

**En Argentina** diversas industrias de alimentos y bebidas aplican la tecnología de desinfección por radiación UV en sus procesos de producción.

Adicionalmente existen varias líneas de investigación con relación a este tema, como las desarrolladas por el Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de los Alimentos – CIDCA, la Universidad de Buenos Aires y el Instituto de Investigaciones Biotecnológicas (IIB-INTECH) de la Universidad Nacional de San Martín y el Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (UNSAM-CONICET).

**Fuentes consultadas**


- Guerrero-Beltrán, J.A. Barbosa-Cánovas, G.V. Review: Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. Food Science Technology International. EUA, 2004.
- Reiff, F.;Witt, V. Guía para la selección y aplicación de tecnologías de desinfección del agua para consumo humano en pueblos pequeños y comunidades rurales en América Latina y el Caribe. Documento OPS/OMS, Serie Técnica No. 30 (1995).
- Wright, H.B.; Cairns, W.L. Desinfección de agua por medio de luz ultravioleta. Trabajo presentado en los Anales simposio OPS: Calidad de agua, Desinfección efectiva (1998). Publicado también en CD-Rom. Disponible en la OPS/CEPIS
- FDA: Kinetics of Microbial Inactivation for Alternative Food Processing Technologies – Ultraviolet Light

  http://www.fda.gov/Food/ScienceResearch/ResearchAreas/SafePracticesforFoodProcesses/ucm103137.htm
- Ventajas y desventajas de los tratamientos con luz ultravioleta (EPA, 1999). http://es.scribd.com/doc/1559175/Environmental-Protection-Agency-cs99064
- http://www.lenntech.es/uv-informacion.htm#ultraviolet
- http://www.uvgi.es/alimentacion.htm
- http://www.bvsde.paho.org/bvsacg/fulltext/desinfeccion/capitulo4.pdf
- http://www.lighting.philips.pt/pwc_li/pt_pt/connect/assets/TABELA_LAMPADAS_ESPECIAIS_2011.pdf