

## **I. INTRODUCCIÓN.**

La implementación de Medidas Sanitarias y Fitosanitarias en la actualidad corresponde a exigencias de los mercados metas, principalmente de aquellos que buscan productos diferenciados, producidos en sistemas que aseguran no solo la calidad del producto, sino su inocuidad y contribución a la conservación del medio ambiente, la seguridad laboral y el respeto a las normas internacionales y convenios establecidos en el marco del mercadeo de los productos alimenticios.

En el mundo entero tanto a nivel de la producción primaria, como de la transformación y manipulación de alimentos, se ha dado inicio a un proceso de concientización sobre el tema de calidad e inocuidad agroalimentaria, con el objetivo no solo de poder posicionar productos en el mercado internacional, sino más bien por el reconocimiento de las responsabilidades sociales que la producción exige, en cuanto a la conservación medioambiental y la disposición a la población nacional de productos de mejor calidad e inocuidad.

Esta preocupación por la salud de los consumidores, así como el tema de las explosiones de brotes de enfermedades transmitidas por alimentos, han significado un incremento acelerado en la demanda internacional por productos de calidad e inocuos; y un aumento paulatino en su producción, lo cual evidencia la oportunidad actual que existe para países productores de alimentos en materia de captación de mercados y generación de ingresos. Pero también plantea retos importantes para los sistemas de producción, como la producción en armonía con el medio ambiente y la búsqueda de alternativas viables para la desinfección y conservación de alimentos, el aseguramiento de la inocuidad de los productos, en el combate en contra de los microorganismos que producen enfermedades al hombre y el logro de los atributos de calidad establecidos por cada uno de los mercados destinos.

En general la contaminación superficial de frutas y hortalizas varía en número y tipo, dependiendo en primera instancia del manejo, previo y posterior a la cosecha, que dicho producto haya recibido, pero también de características particulares del producto, dentro de las cuales se pueden mencionar como elementos más destacados dentro de una amplia gama de situaciones, la presencia de tricomas o vellosidades, exceso de aberturas naturales, presencias de ceras, la topografía de su superficie, entre otras. (Laverentz, 2003).

En el caso particular de las contaminaciones producidas por microorganismos asociados a partículas de tierra u otro tipo de suciedad adherida a la fruta, son de remoción relativamente sencillas a través de métodos convencionales de lavado. No

obstante, en presencia de flora asociada al biofilms en la superficie de hojas o frutos comestibles, la remoción es más difícil ya que se encuentran formando costras u colonias superficiales; u ocupan lugares poco accesibles al agua y los desinfectantes como aberturas naturales, heridas o irregularidades de la superficie, que dificultan el contacto entre los agentes de desinfección y los microorganismos.

En este contexto de riesgos y contaminación de los alimentos, todos los países necesitan contar con programas de control eficientes para garantizar que los suministros nacionales sean inocuos, de buena calidad y estén disponibles a los consumidores, para asegurar que todos los grupos de la población puedan gozar de un estado de salud y nutrición aceptable. El control de alimentos incluye todas las actividades que se lleven a cabo para asegurar la calidad e inocuidad del alimento en todas las etapas, desde la producción primaria, elaboración, almacenamiento, hasta la comercialización y el consumo. El control de alimentos incluye todas las iniciativas nacionales que se emprenden de conformidad con un procedimiento integrado, en el que participan tanto el gobierno, como los segmentos y sectores de la industria alimentaria.

Para asegurar la calidad e inocuidad de las frutas y hortalizas es necesario desde el campo y proceso, minimizar la contaminación de los productos con microorganismos patógenos que puedan afectar la salud del consumidor. A su vez, es de suma importancia, reducir al máximo el inóculo de patógenos vegetales que puedan afectar la calidad del producto durante la postcosecha, incluyendo el almacenamiento y distribución.

Existen varios métodos para reducir la flora superficial de frutas y hortalizas. Cada uno con ventajas y desventajas dependiendo del tipo de producto y proceso. En general los métodos utilizados se basan en procesos físicos como la remoción mecánica, tratamientos térmicos e irradiación y químicos mediante el uso de agentes desinfectantes superficiales.

La evaluación de la efectividad de un método desinfectante, se determina por la reducción de la carga microbiana alcanzada con el tratamiento. Esta reducción se puede expresar en porcentaje, en órdenes o unidades logarítmicas (log). Por ejemplo si la carga inicial de una fruta se expresa como  $10^6$  microorganismos/cm<sup>2</sup>, una reducción de 2 órdenes significa que luego del tratamiento la carga remanente es de  $10^4$  microorganismos/cm<sup>2</sup>, lo cual corresponde a un 99% de reducción de la carga. Si la reducción es del 99,9% significa que la flora microbiana superficial bajó 3 órdenes y por tanto la carga microbiana remanente es  $10^3$  microorganismos/cm<sup>2</sup>.

En la producción y consumo de alimentos, la insalubridad de los mismos ha representado un problema de salud para el ser humano desde antes, así que muchos de los problemas actuales en esta materia no son nuevos; y aunque los gobiernos se esfuerzan al máximo por aumentar la salubridad de los alimentos, la existencia de enfermedades de transmisión alimentaria sigue siendo un problema de salud significativo tanto en países desarrollados como en desarrollo.

Se ha calculado que cada año mueren 1,8 millones de personas como consecuencia de enfermedades diarreicas, cuya causa puede atribuirse en la mayoría de los casos a la ingesta de agua o alimentos contaminados. En consecuencia una preparación adecuada de los alimentos, así como la implementación de una estrategia efectiva para la desinfección de los mismos, puede prevenir la mayoría de las enfermedades de transmisión alimentaria.

## **II. ANTECEDENTES.**

Minimizar los peligros de contaminación biológica (microbiológicos, fitosanitarios y zoonosarios); física (clavos, vidrios, uñas) y química (plaguicidas, metales pesados, hormonas) durante todo el proceso de producción, hasta el consumo de un producto determinado, en inocuidad alimentaria implica la garantía que este alimento no causará daño en la salud de los consumidores durante su ingesta (Almonte, 2000). No obstante, la comunidad internacional no solo considera la inocuidad alimentaria como una condición deseable única, sino también “calidad alimentaria” que en su concepto más amplio incluye además de la calidad por atributos (tamaño, color, olor, apariencia y sabor) otros factores adicionales como: calidad nutricional, integridad y la amigabilidad con el medio ambiente durante la producción de estos alimentos.

Bajo este contexto, queda de manifiesto que la inocuidad alimentaria se ha convertido en una prioridad tanto para la salud pública como para mantener la competitividad, posicionamiento y mayor acceso a los mercados nacionales e internacionales. De hecho, además de tener implicaciones en la salud de los consumidores, la inocuidad alimentaria tiene impacto en la oferta, demanda, flujos comerciales, higiene y sanidad laboral, lo cual repercute en los costos de la cadena. Sin embargo, los consumidores de los países desarrollados con alto poder adquisitivo están dispuestos a pagar el costo de un régimen regulatorio que garantice estándares más altos y exigen a sus gobiernos mayor vigilancia para garantizar el abasto de alimentos inocuos, mediante la disminución de factores de riesgo (Almonte, 2000).

En 1997 el gobierno de Estados Unidos anunció la iniciativa conocida como “*Inocuidad alimentaria del campo a la mesa*”, que derivó en otra iniciativa para asegurar la inocuidad de los productos hortofrutícolas de consumo, ya sean de producción interna o importados de otros países. Asimismo, en 1998 la Agencia de Alimentos y Drogas (FDA), publicó la “*Guía para reducir riesgos microbiológicos para la inocuidad alimentaria en frutos y hortalizas frescas*”, como una recomendación de carácter

voluntaria para los productores nacionales e internacionales de frutas y hortalizas frescas. En esta guía se establecen controles y estándares a fin de reducir los factores de riesgo microbiológico asociados a la cadena producción, procesamiento, distribución y consumo mediante la adopción de Buenas Prácticas Agrícolas y de Manufactura. En 1999 se anunció la iniciativa para asegurar la inocuidad de los alimentos importados (García-Ozuna *et al*, 2007), y en el 2011 con la “*Ley de modernización de la inocuidad de los alimentos*” que entra en vigencia a mediados del 2012, en la cual se pretende optimizar la autoridad estatutaria y los recursos disponibles del FDA, USDA y US-CUSTOMS para que implementen los pasos necesarios a fin de proteger a los consumidores Estadounidenses de alimentos importados que no sean inocuos.

En lo que concierne a la Unión Europea, en Enero del 2000 presentó el “*Libro Blanco sobre Inocuidad Alimentaria*”, el cual establece una agencia europea independiente en materia de alimentos, a través de la cual se pretende garantizar un alto nivel de inocuidad alimentaria a los consumidores. La legislación propuesta en este llamado libro blanco incluye aspectos de alimentación, salud y bienestar animal, higiene, contaminantes y residuos, organismos genéticamente modificados y algunos aspectos de calidad alimentaria incluyendo aditivos y saborizantes, empaque e irradiación. También incluye una propuesta de ley general de alimentos que considera la responsabilidad de la industria de alimentos, productores y operadores; identificación de insumos alimenticios para la producción animal, alimentos y sus ingredientes; métodos de análisis de riesgos a través de evaluación, manejo y comunicación de riesgos; y la aplicación de principios de precaución, cuando se considere pertinente. (Almonte, 2000).

A raíz de los acuerdos comerciales firmados entre diferentes países del mundo con Estados Unidos y Canadá, Unión Europea, Oriente y Naciones de Centro y Sudamérica, que en su mayoría representan a países con altas exigencias en cuanto a fitozoosanidad, calidad e inocuidad de los alimentos (Almonte, 2000), así como poder adquisitivo para demandarlos y adquirirlos (García-Ozuna *et al*, 2007). Es una responsabilidad de las estructuras de gobierno asociadas a la producción, instituciones de investigación y agentes económicos involucrados directamente con la producción agroalimentaria, hacer y tomar conciencia de la problemática referente a la inocuidad de la producción, proponer y tomar medidas urgentes, claras y contundentes orientadas no sólo a mantener los mercados de exportación, sino a desarrollar un esfuerzo más amplio que garantice condiciones de mayor sanidad e higiene en la producción, manejo y consumo de los productos agroalimentarios, sean éstos para el mercado nacional o internacional

Al respecto, en el caso de Nicaragua El Ministerio Agropecuario y Forestal (MAGFOR), El Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) y otras agencias de cooperación como Catholic Relief Service (CRS), Las Universidades y proyectos como PROMIPAC, consciente de los riesgos que esta iniciativa pudiera tener para los productores hortofrutícolas nacionales que exportan o pretende exportar para estos mercados, han desarrollado diferentes esfuerzos en la consecución de recursos para el fomento a la implementación de Buenas Prácticas Agrícolas en la producción primaria,

así como MAGFOR e IICA también han coincidido en voluntades para fortalecer la implementación de Procedimientos de Operación Estándar de Sanitización (POES), las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) y el Análisis e Identificación de Puntos Críticos de Control (APCC). Sin embargo, tomando en cuenta lo incipiente de estas actividades en Nicaragua, aún se necesita de mayores esfuerzos y la estructuración de un programa nacional con metas definidas y de carácter interinstitucional de manera que se logre difundir con mayor énfasis y cobertura este tipo de sistemas enfocados al logro de la calidad de la producción, con inocuidad del producto, estableciendo así un sistema de trabajo integral que fortalezca en formación tanto a la estructura productiva, como al sistema de inspección nacional, para lograr que los productos frescos y procesados estén libres de contaminantes físicos, químicos o microbiológicos y elevar la confianza en el sistema nacional de control oficial.

### **III. JUSTIFICACIÓN.**

Tanto los gobiernos de países importadores de alimentos, como los sectores del consumo han venido desarrollando preocupaciones sobre temas como las enfermedades de transmisión alimentaria, la salud y seguridad de los trabajadores y el impacto ocasionado al medio ambiente durante la producción de alimentos. Esto ha incidido dramáticamente en el hecho de la formulación de una serie de normas de carácter voluntario asociadas al mejoramiento de los procesos de producción en términos de inocuidad y respeto al medio ambiente.

La continua normalización de los procesos de producción, asociado a un evolutivo pero “casi antojadizo” cambio en el concepto de calidad, han venido exigiendo de los productores y sus procesos, una continua modernización o cambios en sus sistemas de producción, muchos de los cuales se realizan a la luz de nuevas tecnologías en el mercado, pero que en general no son de dominio de todos, ni se encuentran al alcance de los sistemas de producción de menor escala, que en general caracteriza la realidad productiva en la agroindustria de muchos países en desarrollo, productores de alimentos, tronando estos sistemas más vulnerables.

En consecuencia a toda esta dinámica internacional, los mercados y sus diferentes segmentos, actualmente implementan altas exigencias, sobre la calidad e inocuidad de los productos alimenticios, sujetos al intercambio comercial entre las partes, lo que representa importantes retos a enfrentar en el sector de la producción y comercialización de alimentos.

Dado que uno de los problemas más importantes para garantizar la inocuidad de los alimentos, es la ausencia de residuos tóxicos y microorganismos que producen enfermedades al hombre tanto en la superficie como en el interior del producto, el conocimiento de los patógenos y metabolitos tóxicos que producen trastornos alimenticios u enfermedades, así como de los sistemas de desinfección de alimentos de consumo fresco, juegan un papel muy importante. Razón por la cual, esta publicación pretende brindar información a cierto nivel sobre las características

principales de microorganismos y metabolitos microbianos que causan Enfermedades de Transmisión Alimentaria (ETA), así como de métodos de desinfección de alimentos.

#### **IV. OBJETIVOS**

##### **4.1. Objetivo general.**

Describir los principales métodos de desinfección de frutas y hortalizas utilizados en el manejo y procesamiento de productos, así como brindar información relevante sobre nuevas tendencias de trabajo en el tema.

##### **4.2. Objetivos específicos**

- a. Describir los principales métodos actuales utilizados para la desinfección de frutas y hortalizas.
- b. Poner a disposición información sobre tecnologías prometedoras en el campo de la desinfección de frutas y hortalizas.

#### **V. HIPÓTESIS**

Existen métodos alternativos a la desinfección de frutas y hortalizas que pueden ser de utilidad para el aseguramiento de la inocuidad de los productos.

#### **VI. MATERIALES Y MÉTODOS**

El estudio se desarrollará a través de la búsqueda exhaustiva y selección de información bibliográfica que permita obtener un documento en el cual se contemple información general y relevante sobre los procesos de desinfección en frutas y hortalizas, para el aseguramiento de la inocuidad de la producción.

#### **VII. DISEÑO METODOLÓGICO**

Este es un estudio basado en la revisión y análisis de la información de diferentes autores, con el objetivo de recoger información clave sobre los procesos de desinfección utilizados en el manejo y transformación de productos para consumo fresco, como es el caso de las frutas y vegetales.

## VIII. ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN

El análisis de la información es del tipo cualitativo, principalmente extrayendo de diferentes científicos investigadores y de documentos publicados información clave y relevante sobre la desinfección de frutas y hortalizas un recuento de los microorganismos sobrevivientes.

## IX. RESULTADOS

### 9.1. DESINFECCIÓN DE LAS FRUTAS Y HORTALIZAS FRESCAS

#### 9.1.1. Generalidades

Los productos del campo que tienen una apariencia sana pueden hospedar grandes poblaciones de patógenos, particularmente durante el tiempo caluroso y lluvioso, en consecuencia los patógenos presentes sobre los frutos y vegetales cosechados recientemente, se acumulan en los sistemas que administran agua recirculada y desde ahí cuando nuevos frutos y vegetales contactan con el agua que contienen los patógenos, es frecuente que se infecten causando riesgos de enfermedades a los consumidores o se incrementa el riesgo de descomposición del producto durante el embarque y manejo ocasionando pérdidas importantes de recursos (Ritenour *et al* 2007; Garmendia & Vero, 2006).

La eficacia de los desinfectantes depende del tipo de frutas u hortalizas, de la característica de su superficie, temperatura y del tipo de patógenos. *Listeria monocytogenes* es casi siempre más resistente a los desinfectantes que *Salmonella*, *Escherichia coli* O157:H7 y *Shigella*. Existe poco conocimiento sobre los sanitizantes y su capacidad de eliminar parásitos y virus presentes en frutas frescas y hortalizas (Ritenour *et al* 2007).

El lavado con agua con tratamiento de 200ppm de cloro puede ser efectivo en la reducción de entre 10 a 100 veces las concentraciones de microorganismos en el producto, en condiciones en las cuales se sospeche de alta contaminación de las frutas y vegetales el doble lavado juega un papel importante, el primero con agua potable para desprender tierra y heces y un segundo con la adición de sustancias sanitizantes (Ritenour *et al* 2007, Garmendia & Vero, 2006).

El efecto letal del cloro ocurre entre los primeros 5 segundos del tratamiento y su eficacia se incrementa, al aumentar la dosis de cloro hasta cerca de 300ppm. No

obstante, a partir de este límite el potencial de reducción de poblaciones no es directamente proporcional al incremento de la concentración de cloro. El bromo y el Yodo tienen un limitado potencial de uso en la desinfección de frutas y hortalizas, debido que disminuye la calidad organoléptica de los productos (Ritenour *et al* 2007, Caballero. A, 2008).

El fosfato trisódico tiene un buen potencial para desinfección de frutas y hortalizas, pero su alta alcalinidad y la posibilidad de generar irritaciones en la piel, disminuye su uso en los sitios de desinfección, pero puede ser bien utilizado para desinfectar el agua de lavado, al igual que otros productos como los ácidos orgánicos (acético, láctico, cítrico y peróxido acético), el uso de ozono y el uso de agua ácida electrolizada, obtenida mediante electrólisis de una solución acuosa de cloruro de sodio. (Caballero. A, 2008).

Aunque muchos empacadores tienen como rutina adicionar cloro a sus sistemas de administración de agua de la planta empacadora, los errores en seguir las recomendaciones de IFAS para la sanitización del agua pueden disminuir fuertemente la efectividad del tratamiento en la reducción de la descomposición postcosecha. La actual recomendación es mantener constante de 100 a 150 partes por millón de cloro libre y un pH en el rango de 6.5 a 7.5 para toda el agua recirculada (Garmendia & Vero, 2006; Ritenour *et al* 2007).

### **9.1.2. Tipos de tratamientos utilizados en la higienización de alimentos.**

#### **9.1.2.1. Tratamientos térmicos**

Los tratamientos térmicos incluyen el curado e inmersión en agua caliente.

##### **a. Curado**

El curado es un tratamiento térmico en el cual el producto es sometido a temperaturas y humedades relativas altas durante varios días. La aplicación de este tratamiento ayuda a disminuir la aparición de algunas enfermedades, como el moho verde en citrus (Strange y Eckert, 1994).

Según Plaza y colaboradores (2003), citados por (Garmendia & Vero, 2006) un período de 65 horas a 33°C para naranjas Salustiana controla eficazmente el desarrollo de moho verde en fruta inoculada. Las investigaciones de Zhang y colaboradores (2005) demuestran que un curado de 48 horas a 35°C y 96% de humedad relativa son suficientes para controlar el desarrollo de *Penicillium digitatum* en heridas de naranjas



Valencia. Estos investigadores sugieren que los mecanismos por los cuales se controla el desarrollo del moho verde por curado podrían ser los siguientes:

- Inhibición de la germinación de las esporas fúngicas debido al tratamiento.
- Producción de lignina en las heridas y curado de las mismas.
- Producción de fitoalexinas en las heridas.

Fallik y colaboradores (1996) y Leverentz y colaboradores (2003) demostraron un efecto benéfico en el control de *Penicillium expansum* en manzanas al almacenar la fruta a 38°C por 96 horas. Concluyen que se trata de tratamientos con efecto curativo debido no solamente a la inhibición de la germinación del patógeno.

#### **b. Inmersión en agua caliente**

El tratamiento térmico por inmersión en agua caliente es otro método físico utilizado para lograr una sanitización superficial en vegetales. En general se trata de procesos cortos en los que los productos son tratados con agua caliente a temperaturas entre 50-70°C, dependiendo del producto a tratar (Ritenour *et al* 2007).

Según los estudios de Pao y Davis (1999), citados por (Garmendia & Vero, 2006) utilizando un tratamiento de inmersión en agua a 70°C durante 2 min es posible disminuir la carga superficial de *E. coli* en naranjas, en 5 órdenes /cm<sup>2</sup>. Ben Yehoshua (2003) demostró que una inmersión durante 2 minutos en agua caliente a 53°C prevenía la aparición de síntomas en fruta cítrica inoculada con *Penicillium digitatum*.

Por su parte, Fallik y colaboradores (1996) diseñaron y patentaron en Israel, un sistema que conjuga dos métodos físicos: la remoción mecánica y el tratamiento con agua caliente. El sistema involucra el uso de cepillos que actúan en la superficie del producto mientras el mismo es tratado con una lluvia de agua caliente durante 10 a 30 segundos. Según sus resultados este sistema logra una disminución de hasta 4 órdenes en la flora superficial del producto (Schirra *et al.*, 2000). No obstante, en este tipo de tratamiento, es de suma importancia controlar estrictamente las condiciones (temperatura y tiempo) y adecuarlas al producto a tratar, de forma de minimizar los posibles cambios adversos en la textura y color (Garmendia & Vero, 2006).

#### **9.1.2.2. Agentes desinfectantes.**

Los tratamientos con agentes desinfectantes se hacen en solución acuosa por inmersión o aspersión. El alcance del tratamiento depende del compuesto desinfectante y de los microorganismos que se quiera eliminar. Su eficacia varía con la

concentración del agente, y en mayor o menor medida con la temperatura, el pH, el tiempo de contacto y el contenido de materia orgánica (Garmendia & Vero, 2006).

Dentro de los agentes desinfectantes utilizados para tratar frutas y hortalizas se encuentran: Compuestos halogenados, Ácidos, Amonio cuaternario y Compuestos de oxígeno activo (Ritenour *et al* 2007).

**Tabla 1. Higienizantes utilizados en la industria de productos hortícolas de consumo fresco.**

Higienizante	Vegetal	Dosis	Concent	Tiempo	T°de lavado	Reducción de microflora
Ácido láctico	Endivia	-	12%	1.5 min	22°C	RT 1.6 log
Hipoclorito de sodio	Lechuga	100mg/L	30S	2-5 min	4°C	<i>E. coli</i> : 2.2-2.4 log
Hipoclorito de sodio	Brocoli	50mg/L	30S	2-5 min	4°C	<i>E. coli</i> : 1.9-2.6 log
Clorito de sodio	Col China	500mg/L	-	15 min	25°C	<i>E. coli</i> : 0.9 log
Dióxido de cloro estabilizado	Lechuga	-	-	5 min	22°C	<i>E. coli</i> (Lavados 1,2 y 3): 1.2, 1.7 y 1.84
Ácido peroxiacético	Zanahoria	80mg/L	-	2 min	25°C	<i>E. coli</i> 1.65 log; RT: 1.3 log, Hongos filamentosos: 0.35-0.92 log.
Peroxido de hidrógeno	Melón	-	-	2 min	25°C	<i>Salmonella</i> : 1.8 log
Ozono en agua	Papa	4 ppm	-	3-7 min	8°C	RT: 0; 1.14; 0.75log (día 0, 5 y 14). Psicrotrofos: 0.6 log (día 0); 1.14 (día 5), Bacterias anaerobias: 0 (día 0); 1.2 (día 14) Bacterias ácido lácticas: 0 (día 0);

						3.29 (día 14), Coliformes: 0 (día 0); 3 (día 14)
UV-C	Lechuga	-	30W	15 min	A 50cm por ambos lados	<i>E. coli</i> : 1-1.5 log.
RT: Recuento total de aerobios mesófilos; <i>E. coli</i> = <i>E. coli</i> 0157:H7						

Basado en (Behrsing *et al*, 2000; Inatsu *et al*, 2005, Singhet *et al* 2002; González *et al*, 2004; Beltrán *et al*, 2005).

#### 9.1.2.2.1. Compuestos clorados

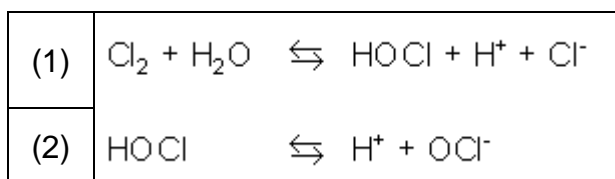
##### a. Formas de Cloro

Las formas principales de cloro usados incluyen hipoclorito de sodio (NaClO), hipoclorito de calcio (Ca(ClO)<sub>2</sub>), y cloro gaseoso (Cl<sub>2</sub>). El hipoclorito de sodio es comercializado frecuentemente en soluciones de 12 a 15 %. El hipoclorito de calcio con frecuencia es vendido en polvo o en tabletas en formulaciones de 65% y el cloro gaseoso viene en cilindros de gas presurizado (Ritenour *et al* 2007).

Cuando el hipoclorito de sodio, al igual que el hipoclorito de calcio y cloro gaseoso, es adicionado al agua, forma hidróxido de sodio (NaOH) y ácido hipocloroso (HClO), también llamado cloro disponible o cloro activo, que es el que realiza la acción biocida contra los patógenos (Ritenour *et al* 2007; Garmendia & Vero, 2006).

##### b. Cloro, sales de hipoclorito y dióxido de cloro

El cloro es el desinfectante más utilizado en la industria alimentaria. Debido a su bajo costo, se ha utilizado ampliamente para desinfección de superficies en contacto con alimentos y también para reducir la carga microbiana del agua utilizada en diferentes operaciones. En general se utilizan soluciones acuosas de hipocloritos o de cloro gas. Cuando el cloro se disuelve en agua se forma ácido hipocloroso y ácido clorhídrico estableciéndose un equilibrio entre las distintas sustancias (1).



A su vez el ácido hipocloroso (2) está en equilibrio con su forma disociada. Es así que las soluciones de cloro contienen moléculas de HOCl (ácido hipocloroso) y sus iones H<sup>+</sup> y ClO<sup>-</sup> en equilibrio. De ellos, la forma no disociada del ácido (HOCl) es la forma activa frente a los microorganismos. Cuando se disuelve hipoclorito en agua la reacción

que ocurre es la (2) a la inversa, es decir el ión hipoclorito formado en la disolución de la sal forma ácido hipocloroso, estableciéndose el mismo equilibrio.

El equilibrio entre estas sustancias químicas depende del pH. Al descender el pH, el equilibrio (2) se desplaza hacia la forma no disociada, o sea el ácido hipocloroso predomina por lo que la acción antimicrobiana es mayor. Los porcentajes de ácido hipocloroso a pH 6 y 8 son de 97 y 23% respectivamente. Sin embargo a pH más bajos el equilibrio de la reacción (1) se desplaza a la formación de cloro gas el cual se libera pudiendo producir intoxicaciones en los aplicadores. Por lo tanto, el pH es un factor de suma importancia a tener en cuenta en las soluciones de cloro. Utilizando soluciones de pH 6 se logra conseguir alta efectividad y estabilidad.

El modo de acción del ácido hipocloroso se basa en su capacidad oxidante. Es altamente reactivo en presencia de materia orgánica, reaccionando con muchos grupos funcionales oxidándolos. Su capacidad de destruir microorganismos depende de la cantidad de cloro residual libre, es decir el ácido hipocloroso restante después de reaccionar con la materia orgánica presente en el agua. Como resultado de la reacción con la materia orgánica, el ácido hipocloroso forma cloro gas pero también trihalometanos como el cloroformo de posible acción cancerígena. Es por eso que existe preocupación por los operarios que utilizan estos desinfectantes.

La exposición a vapores de cloro por tiempos prolongados puede causar irritación en la piel y el tracto respiratorio. Según la Administración de Salud y Seguridad Ocupacional de EEUU (OSHA) el límite de exposición para trabajadores es de 1ppm en aire y se recomienda no más de 0.5 ppm en aire en jornadas de 10 horas durante semanas de trabajo de 40 horas (OSHA). A su vez, la posible formación de compuestos organoclorados durante el tratamiento de fruta y hortalizas con cloro también es un peligro potencial para estos operarios.

El efecto de soluciones de hipoclorito sobre microorganismos en la superficie de frutas y hortalizas está bien documentado. En general se utiliza en concentraciones entre 50 y 200 ppm durante 1 o 2 minutos (FDA, 2001). Las máximas reducciones alcanzadas son de aproximadamente 2 órdenes, siendo en muchos casos similares a las alcanzadas por tratamiento con agua. Por ejemplo, Pao y Davis (1999) demostraron que la cantidad de *Escherichia coli* inoculada en superficie de naranjas se reducía 2 órdenes/cm<sup>2</sup> luego de la inmersión en solución de 200ppm de cloro por 8 minutos, siendo esta reducción apenas superior a la alcanzada por inmersión en agua. En esta misma línea, Winniczuk (1994) demostró que la inmersión de naranjas en soluciones de 1000 ppm de ácido hipocloroso por 15 segundos lograba una reducción del 90% de la flora superficial en comparación con el 60% lograda por inmersión en agua. Sin

embargo existen trabajos que muestran reducciones mayores, tales como el de Wu y colaboradores (2000). En dicho trabajo se documenta la reducción de 7 órdenes en la carga de *Shigella sonnei* sobre hojas enteras de perejil por inmersión en una solución de 250ppm de cloro libre durante 5 minutos.

### **c. Dióxido de cloro**

Su eficacia depende mucho menos del pH y el contenido de materia orgánica que la acción del ácido hipocloroso o del cloro. Presenta un gran poder oxidante, incluso mayor al del cloro. Sin embargo es altamente inestable, se descompone a temperaturas superiores a los 30°C y al ser expuesto a la luz. Debe tenerse en cuenta que el dióxido de cloro a concentraciones por encima de 10% es explosivo, por lo que debido a esto y a su alta reactividad no puede ser trasladado en forma concentrada. En general se utilizan generadores in situ. Los principales productos de reacción frente a la materia orgánica son cloritos y cloratos, no formándose trihalometanos como en el caso del ácido hipocloroso (Dychdala, 1991).

El uso de dióxido de cloro como agente desinfectante de frutas y hortalizas no está tan estudiado como el uso del hipoclorito. En general las concentraciones efectivas de dióxido de cloro son bastante menores que las correspondientes de hipoclorito. Rodgers y colaboradores (2004) determinaron la eficacia in vitro de dióxido de cloro (3 y 5ppm) sobre *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes*. En las condiciones del ensayo ambos patógenos fueron disminuidos en aproximadamente 5 órdenes en 19 a 21seg. Con respecto a su uso frutas y hortalizas, Zhang y Faber (1996) demostraron que cuando se inoculan hojas de lechuga con *Listeria monocytogenes* y luego se sumergen en solución de dióxido de cloro 5 ppm por 10 minutos la reducción de la carga es 1.1 órdenes mayor que la obtenida por tratamiento con agua. Singh y colaboradores (2002) también observaron una reducción de aproximadamente 1.5 órdenes en la carga de *Escherichia coli* O157:H7 inoculada sobre hojas de lechuga luego de 10 minutos de inmersión en una solución de 10 ppm de dióxido de cloro, comparado con una reducción de 1 orden cuando la muestra era tratada en agua.

Según FDA (2001) las concentraciones no deben superar los 5 ppm para el tratamiento de frutas y hortalizas sin pelar. A su vez, el límite de exposición de trabajadores en EEUU es de 0.1 ppm en aire según OSHA.

Algunas formulaciones comerciales contienen lo que se conoce como “dióxido de cloro estabilizado”. En realidad se trata de soluciones de clorito de sodio buffereadas con bicarbonato o fosfatos, los cuales manteniendo un pH alto estabilizan el clorito de sodio. El poder oxidante del clorito de sodio es mucho menor que el del dióxido de cloro y por lo tanto su acción antimicrobiana también es mucho menor. Sin embargo,

llevando la solución a pH ácido, se forma dióxido de cloro a partir del clorito en solución. El uso del clorito acidificado, en concentraciones entre 500 y 1200 ppm, ha sido aprobado como sanitizante de frutas y verduras por la FDA de Estados Unidos (Parish et al., 2003). Se aprueba su uso en conjunto con ácidos reconocidos como seguros (GRAS), tanto para baño como para aplicación por aspersión (CFR, 2000).

El dióxido de cloro, evita el desarrollo de bacterias, es incoloro e inodoro, no transmite sabor alguno a los alimentos, es seguro, disponible todo el año, económico, de uso generalizado en la Industria Alimentaria, de fácil aplicación, solo se diluye en agua de acuerdo a la siguiente tabla:

Tabla 2. **Dosificación de dióxido de cloro para diferentes usos.**

Dosificación del $\text{ClO}_2$	
Potabilización de agua	0.01 al 0.05 %
Sanitización de utensilios, recipientes e instalaciones.	0.10 al 0.50%
Sanitización de granjas.	0.10 al 0.50 %
Sanitización de locales y hospitales.	2.50 %
Frutas y legumbres.	0.50 %

#### **Factores que Influyen en la Actividad del Cloro (Ritenour et al 2007)**

- a. En soluciones de pH alto, la mayor parte del ácido hipocloroso se disocia a la forma de ión hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ), el cual no es un efectivo sanitizante. Las soluciones de cloro con pH por arriba de 8 son relativamente inefectivas contra los patógenos. Por debajo de pH 6, el cloro es más corrosivo para el equipo y la actividad se pierde rápidamente. A un pH alrededor de 7 se mantendrá cerca del 80 % del cloro en la forma disponible (ácido hipocloroso) con muy poco gas formado.

El ácido muriático (HCl) o ácido cítrico son usados comúnmente para bajar el pH, mientras que el hidróxido de sodio (soda cáustica) se usa para elevar el pH.

- b. La materia orgánica que viene en el producto o se desprende del mismo, se incorpora al agua al momento de la desinfección e inactiva poco a poco al ácido hipocloroso, con lo cual rápidamente se puede reducir la cantidad de cloro disponible.
- c. A elevadas temperaturas, el ácido hipocloroso mata a los patógenos muy rápidamente; sin embargo, también se pierde muy rápidamente, debido a las interacciones que se presentan entre el agente de desinfección, la temperatura y la materia orgánica en la solución del tanque.

Para el consumo higiénico de frutas y hortalizas tratadas con derivados del cloro, como pauta general se recomienda que los vegetales para consumo en crudo se higienicen durante al menos 5 minutos, en soluciones de hipoclorito sódico en agua apta para el

consumo (70 ppm) u otro producto autorizado de acción equivalente, procediendo a continuación al lavado con agua apta para el consumo.

#### **9.1.2.2.2. Compuestos amónicos cuaternarios**

Son surfactantes catiónicos utilizados para la desinfección de paredes, suelos, equipos y superficies en contacto con los alimentos en las plantas de procesamiento de frutas y hortalizas. En el caso de alimentos la FDA no aprueba su uso, a menos que el producto sea pelado antes de su consumo (FDA, 2001).

Presentan algunas ventajas sobre otros desinfectantes, ya que no son corrosivos y son estables a altas temperaturas. Sin embargo su espectro de acción antimicrobiana es menor que la de los sanitizantes clorados. Son muy eficaces frente hongos, levaduras y bacterias Gram positivas como *L. monocytogenes*, mientras que su acción es menor frente a bacterias Gram negativos como coliformes o *Salmonella spp.* Sin embargo, debe tenerse en cuenta que la actividad antimicrobiana varía según el amonio cuaternario utilizado (Marriott, 1999).

El modo de acción antimicrobiana se puede resumir en una adsorción del compuesto a la superficie microbiana, una posterior difusión al interior de la célula, unión a la membrana citoplasmática y ruptura de la misma con liberación de contenido citoplasmático (Merianos, 1991). Debido a su actividad surfactante, tienen buena capacidad penetrante y pueden formar films antimicrobianos sobre la superficie del producto. No se descompone en su acción frente a microorganismos, dejando residuos sobre el producto aplicado (Parish *et al.*, 2003).

Son relativamente estables en presencia de materia orgánica. El rango de pH óptimo para acción antimicrobiana, es de 6-10. No son compatibles con detergentes aniónicos.

Existen pocas referencias en cuanto al uso como sanitizante para hortalizas y frutas. Según trabajos de Winniczuk (1994) la microflora de naranjas se redujo aproximadamente 95% en 200ppm de solución de amonios cuaternarios durante 15 segundos, a diferencia de una reducción de 60% lograda por inmersión en agua.

#### **9.1.2.2.3. Compuestos ácidos**

Los ácidos orgánicos son muy utilizados para prevenir el desarrollo microbiano en Alimentos. Su uso se basa en lograr un bajo pH que impida la proliferación de microorganismos no deseados. Sin embargo también tienen acción antimicrobiana por sí mismos. En este sentido son activos a pH ácidos, en su forma no ionizada. En esta

forma el ácido pasa a través de la membrana celular llegando al citoplasma. Debido a que el pH intracelular es cercano a la neutralidad, el ácido se disocia dentro de la célula, acidificando el interior celular causando efectos inhibidores de reacciones enzimáticas y sistemas de transporte (Foegeding, y Busta, 1991).

Se han utilizado también como desinfectantes sobre alimentos. La eficacia de los ácidos orgánicos como desinfectantes varía con el tipo de ácido y el microorganismo que se busca inhibir. Su aplicación puede tener efectos negativos en propiedades sensoriales como el sabor y el aroma de los productos tratados.

Los trabajos de Wright y colaboradores (2000) demostraron que si se sumergían manzanas inoculadas con *Escherichia coli* O157:H7 durante 2 minutos en una solución al 5% de ácido acético se lograba una disminución de 3 órdenes en la carga superficial de esta bacteria. Otros estudios como el de Torriani y colaboradores (1997) demostraron que los coliformes se reducían 2 órdenes cuando se trataba una mezcla de vegetales con ácido láctico al 1%.

El trabajo de Nascimento y colaboradores (2003) demostró que el efecto de un tratamiento de 15 minutos con hipoclorito 200 ppm sobre la flora superficial de lechuga era equivalente al tratamiento con ácido acético al 4% siendo la reducción de bacterias y hongos de aproximadamente 3 órdenes.

#### **9.1.2.2.4. Compuestos alcalinos**

Fosfato trisódico (FTS) y bicarbonato de sodio (Garmendia & Vero, 2006).

Existen varios ejemplos del uso de fosfato trisódico como agente desinfectante. Rodgers y colaboradores (2004) determinaron la eficacia in vitro de FTS (100 y 200ppm) sobre *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes*. En las condiciones del ensayo la carga de ambos patógenos disminuyó en aproximadamente 5 órdenes en 27 segundos. Por su parte, Liao y Sapers (2000) demostraron que si se trataban discos de manzana inoculados con *Salmonella* durante 5 minutos con una solución de FTS al 2% la carga se reducía en 1 orden. Por otro lado, la población de *Salmonella* montevidéo sobre superficie de tomates se reducía de 5.2 órdenes /cm<sup>2</sup> a valores no detectables luego de un tratamiento de 15s en 15% FTS (Zhuang y Beuchat 1996). Sin embargo no se conoce mucho acerca de la eficacia de los FTS como agentes desinfectantes en condiciones comerciales. Se han utilizado como primer lavado en packing de citrus (FDA, 2001). La acción de TSP es muy dependiente del pH de la solución de TSP a utilizar. Sampathkumar y colaboradores (2003) estudiaron el efecto de TSP sobre *Salmonella enterica* aplicado en diferentes concentraciones (1, 2 y .5%) y en diferentes



condiciones de pH (alcalino y neutro). En medio alcalino hubo pérdida de viabilidad celular e integridad de membrana, lo que ocasionó la muerte celular. En cambio, en medio neutro este efecto no fue detectado. Otras sustancias alcalinas tales como el bicarbonato de sodio redujeron la carga superficial de *E. coli* en naranjas (Pao *et al.*, 1999).

El elevado pH de las soluciones de estos compuestos y las restricciones con respecto a la descarga ambiental de fosfatos, pueden ser factores limitantes para el uso a gran escala de estas sustancias.

#### **9.1.2.2.5. Compuestos del oxígeno activo**

##### **a. Peróxido de hidrógeno (Garmendia & Vero, 2006).**

El peróxido de hidrógeno es un fuerte oxidante. Los productos de reacción con materia orgánica son oxígeno y agua, los cuales son totalmente inocuos. Su actividad antimicrobiana está basada en su poder oxidante. De esta forma reacciona con grupos sulfhidrilo y dobles enlaces en proteínas, lípidos y afectando por lo tanto la membrana citoplasmática. Puede además inducir la formación de radicales libres que actúan contra ADN, lípidos de membrana y otros componentes celulares esenciales (Block, 1991). Existen trabajos demostrando su acción antimicrobiana sobre frutas y hortalizas. Ukuku (2004) demostró que el tratamiento de melones contaminados artificialmente, con solución de peróxido de hidrógeno al 5% durante 2 minutos causaba una reducción de 3 órdenes en la carga de *Salmonella sp.* Los trabajos de Sapers (2001) demostraron que soluciones de peróxido de hidrógeno al 1% eran capaces de reducir la población de *E. coli* en la superficie de manzanas inoculadas igual o mejor que 200 ppm de hipoclorito, llegando a una reducción de hasta 3 órdenes.

El uso de peróxido de hidrógeno como agente desinfectante está limitado a algunas frutas y hortalizas. No es aconsejable su uso sobre fresas y frambuesas, debido al blanqueamiento de pigmentos. También produce efectos negativos en hongos comestibles debido a que la oxidación de compuestos fenólicos ocasiona pérdida de color. (Sapers, 2001).

##### **b. Ácido peracético**

El ácido peracético es un fuerte agente oxidante. Comercialmente se consigue como una mezcla de ácido peracético, ácido acético y peróxido de hidrógeno.

Los productos de reacción con materia orgánica son ácido acético y oxígeno, los cuales no son tóxicos. Su actividad depende del pH, siendo más activo a pHs más bajos. Sin

embargo su actividad se mantiene en un amplio rango de pH, disminuyendo en forma importante por encima de pH =9. Su acción antimicrobiana se basa en su capacidad oxidante. Se plantea que los grupos sulfhidrilo en proteínas, enzimas y otros metabolitos son oxidados. De esta forma se pierde la funcionalidad de muchas de estas macromoléculas, lo cual trae como consecuencia la ruptura celular por pérdida de funcionalidad de la membrana citoplasmática.

Rodgers y colaboradores (2004) determinaron la eficacia in vitro de ácido peracético (80ppm) sobre *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes*. En las condiciones del ensayo ambos patógenos fueron disminuidos en aproximadamente 5 órdenes, en 70 a 75 seg. Su uso como desinfectante de frutas y hortalizas está documentado en varios trabajos. Por ejemplo Wright y colaboradores encontraron que la carga de manzana inoculadas con *Escherichia coli* O157:H7 bajaba 2 órdenes cuando se trataba con ácido peracético 80 ppm. Según los trabajos de Winniczuk (1994) la microflora superficial de naranjas se reducía un 85% después de un cepillado en agua seguido de un baño de 15 segundos en ácido peracético 200 ppm, comparado con una reducción de 60% cuando el baño se realizaba en agua.

La FDA (2001) aprueba su uso para la desinfección directa de frutas y hortalizas. La concentración recomendada es de 40-80 ppm.

#### **9.1.2.2.6. Ozono**

El ozono es un gas a temperatura ambiente, con una muy elevada capacidad oxidativa. Su poder oxidante es mayor al del hipoclorito y del dióxido de cloro. Es poco soluble en agua lográndose soluciones de hasta 10µg/ ml. Sin embargo en soluciones por encima de 1µg/ ml se libera ozono al aire por encima de los niveles de seguridad dados por OSHA (máxima concentración en lugar de trabajo= 0.1 ppm).

Al reaccionar se descompone en oxígeno sin dejar otro tipo de residuos (Smilanick et al., 1999).

Se ha demostrado su actividad en agua contra bacterias, virus, hongos y protozoarios. Su poder antimicrobiano se basa en su capacidad oxidativa. Sin embargo Sarig y colaboradores (1992) demostraron que el ozono podía controlar el desarrollo de *Rhizopus stolonifer* en uvas de mesa y que su efecto no era solamente antimicrobiano, sino que además inducía la formación de fitoalexinas en los frutos tratados. Por su parte, Rodgers colaboradores (2004) determinaron la eficacia in vitro de ozono 3pm *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes*. En las condiciones del ensayo la concentración de ambos patógenos disminuyó en aproximadamente 5 órdenes en 15 segundos.

El ozono ha demostrado ser muy eficaz en eliminar esporas de hongos presentes en el agua de lavado de frutas. Smilanick y colaboradores (1999) demostraron que un tiempo de contacto de 2 minutos en una solución de ozono de 1.5 µg/ ml era capaz de eliminar entre el 95 y el 100% de esporas de varias especies fúngicas (*Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum*, *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*). Sin embargo esta efectividad podía disminuir en el caso de existir materia orgánica suspendida en el agua que redujera por reacción la concentración efectiva de ozono. Este mismo trabajo demuestra que las heridas de citrus infectadas con esporas de patógenos no pueden ser curadas por un tratamiento de la fruta con ozono (12 µg/ ml de ozono por 5 minutos a 20°C) y que la disminución de la carga de *Botrytis cinerea* en uvas inoculadas superficialmente y tratadas con 10 µg/ ml de ozono por 1 a 4 minutos, era de alrededor del 50%. Sin embargo la disminución de la flora superficial de frutillas sumergidas por 2 minutos en 4 µg/ ml de ozono fue de alrededor de 92% para bacterias y 91% para hongos. Otros trabajos como el de Kim y colaboradores (1999) demostraron una disminución de 2 órdenes en lechuga suspendida en agua ozonizada con 1.3 mM de ozono a un flujo de 0.5 L/min.

El ozono en forma gaseosa ha sido utilizado en cámaras de almacenamiento postcosecha de frutas. Se necesitan concentraciones por encima de las 0.1 ppm para que su acción antimicrobiana sea efectiva, por lo cual se deben tomar medidas para evitar daños en la salud de los trabajadores. El ozono en estas condiciones reacciona con el etileno, con lo cual se elimina este gas de la atmósfera de incubación, retardando la maduración (Beuchat, 1998).

#### **a. Atenuantes sobre la efectividad de los tratamientos para la desinfección de frutas y hortalizas**

En la mayoría de los casos de menor efectividad en la desinfección de frutas y hortalizas a través de agentes desinfectantes, se debe en gran parte a la inaccesibilidad del agente al sitio donde se encuentran los microorganismos. Los microorganismos contaminantes pueden estar en la superficie de la fruta o también pueden alojarse en heridas o aberturas naturales de difícil acceso. En algunos casos pueden acceder al interior de la fruta debido a una infiltración producida por gradiente de temperatura en un primer lavado. La inmersión de un producto en una solución cuya temperatura sea unos 10 a 15°C menor, provoca infiltración de la solución (incluyendo microorganismos presentes) en el producto. Por ello es de suma importancia que el agua utilizada en el enfriado de frutas y hortalizas sea potable.

Otra causa de la baja efectividad de los agentes desinfectantes puede deberse a la formación de biofilms por parte de los microorganismos contaminantes. Estos biofilms

están constituidos por polisacáridos en los cuales están inmersos los microorganismos que los produjeron, lo cual dificulta la acción de los desinfectantes. En consecuencia, algunos investigadores sugieren que la desinfección sobre frutas u hortalizas podría beneficiarse con el uso de agentes tensoactivos, de forma de favorecer la llegada de los agentes desinfectantes a sitios poco accesibles. Por otro lado, dado que en muchos de los casos la reducción de la carga microbiana sobre frutas y hortalizas, no supera el 90 o el 99%, se debe tener en cuenta que la mejor forma de lograr un producto con baja carga microbiana es evitar que el mismo se contamine, siguiendo Buenas Prácticas Agrícolas previo y posterior a la cosecha y no depender de medidas correctivas de descontaminación.

## **9.2. EVALUACIÓN DE DOS ALTERNATIVAS POTENCIALES AL USO DE AGENTES DESINFECTANTES DERIVADOS DEL CLORO.**

### **9.2.1. Lavado de frutas y hortalizas mediante ozono**

Las soluciones higienizantes con hipoclorito sódico o cálcico, en el agua de lavado se han empleado para el control de microorganismos contaminantes, durante el proceso de elaboración de vegetales frescos cortados. Sin embargo, se ha desatado una gran polémica sobre la continuidad de uso de compuestos clorados (entre ellos hipoclorito sódico) por los riesgos potenciales de que los productos de reacción de estos compuestos pueden presentar a la salud humana, pues han sido calificados como cancerígenos y tóxicos para el medio ambiente y el consumidor, no garantizan la inocuidad del producto y dejan resto en la superficie de los alimentos (Gil *et al*, 2003).

El lavado o enjuague de la fruta sólo con agua, es un sistema puramente de arrastre, reduce pesticidas y parásitos por el efecto que ejerce el movimiento del agua sobre la fruta y no deja residuos tóxicos sobre el producto. A pesar de ello, en general parece no ser muy efectivo si se toma en consideración los altos volúmenes de agua y tiempo que requiere su implementación y obtención de mayor eficacia, además hay que añadirle el problema del agua de vertido, ya que esta agua queda contaminada por los pesticidas y microorganismos que ha eliminado de la fruta. De igual manera, si se añade detergentes al agua sigue siendo un tratamiento de arrastre, ya que no ejerce por sí mismo un efecto desinfectante y oxidante importante como para obtener una total eliminación de microorganismos tales como bacterias, virus, mohos, esporas, etc.

A diferencia de los otros compuestos y métodos de higienización de las frutas y vegetales, el alto poder oxidante y el poder de auto degradarse sin dejar productos de reacción, hacen del ozono un desinfectante viable para garantizar la seguridad microbiológica y calidad de los alimentos.

El uso potencial del ozono en la industria de frutas y verduras depende del hecho de

que como agente oxidativo, es 1.5 veces más fuerte que el cloro y más efectivo para un espectro más amplio de microorganismos que el cloro y otros desinfectantes (Rice *et al.*, 1982).

El ozono es un gas a temperatura ambiente, con una muy elevada capacidad oxidativa. Su poder oxidante es mayor al del hipoclorito y del dióxido de cloro. Al reaccionar se descompone en oxígeno sin dejar otro tipo de residuos (Smilanick *et al.*, 1999).

El ozono puede generarse en sistema cerrado y en el lugar y momento de su utilización por lo que no necesita almacenamiento (Gil *et al.*, 2003). Se puede generar naturalmente por la irradiación ultravioleta del sol y de la luz. Se puede generar comercialmente con luz UV (a 185nm) o por descarga con efecto corona (Xu-Liangji, 2008).

Tiene un corto tiempo medio de vida, generalmente medido en minutos en la fase acuosa y de hora en la fase gaseosa. Cualquier liberación accidental de ozono no persistirá en el ambiente por un periodo largo de tiempo, comparado con la liberación de un gas tóxico más estable. Se descompone en oxígeno diatómico simple al romperse. No formará un ambiente dañino o compuestos persistentes al reaccionar con hidrocarburos comunes, tampoco resultará en la formación de hidrocarburos clorinados como el THMs (Xu-Liangji, 2008).

### **9.2.2. Aplicaciones del ozono**

El ozono es una alternativa para la higienización de frutas y hortalizas, pudiendo además degradar pesticidas presentes en la superficie de los frutos y para tratamientos de aguas residuales. Así el empleo del ozono en la industria de alimentos es aconsejable por su capacidad de reducción de carga microbiana, disminución del nivel de compuestos orgánicos tóxicos y reducción de la demanda química y biológica en el ambiente (Gil *et al.*, 2003).

El ozono es un potente agente antimicrobiano, activo frente a bacterias, virus, hongos filamentosos, protozoos y esporas bacterianas y fúngicas; disuelto en agua es efectivo contra *Escherichia coli*, *Salmonella enteritidis*, *Pseudomonas putrefaciens*, *Pseudomonas fluorescens*, *Leuconostoc senteroides* y *Cryptosporidium parvum* (Gil *et al.*, 2003).

Sarig y colaboradores (1992) demostraron que el ozono podía controlar el desarrollo de *Rhizopus stolonifer* en uvas de mesa y que su efecto no era solamente antimicrobiano, sino que además inducía la formación de fitoalexinas en los frutos tratados.

Por su parte, Rodgers colaboradores (2004) determinaron la eficacia *in vitro* de ozono 3pm contra *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes*. En las condiciones del ensayo la concentración de ambos patógenos disminuyó en aproximadamente 5 órdenes en 15 segundos (Achen & Yousef, 2001).

El ozono ha demostrado ser muy eficaz en eliminar esporas de hongos presentes en el agua de lavado de frutas. Smilanick y colaboradores (1999) demostraron que un tiempo de contacto de 2 minutos en una solución de ozono de 1.5 µg/ ml era capaz de eliminar entre el 95 y el 100% de esporas de varias especies fúngicas (*Penicillium digitatum*, *Penicillium italicum*, *Penicillium expansum*, *Botrytis cinerea*). Sin embargo esta efectividad podía disminuir en el caso de existir materia orgánica suspendida en el agua que redujera por reacción la concentración efectiva de ozono. Este mismo trabajo demuestra que las heridas de *citrus* infectadas con esporas de patógenos no pueden ser curadas por un tratamiento de la fruta con ozono (12 µg/ ml de ozono por 5 minutos a 20°C) y que la disminución de la carga de *Botrytis cinerea* en uvas inoculadas superficialmente y tratadas con 10 µg/ ml de ozono por 1 a 4 minutos, era de alrededor del 50%. Sin embargo la disminución de la flora superficial de frutillas sumergidas por 2 minutos en 4 µg/ ml de ozono fue de alrededor de 92% para bacterias y 91% para hongos. Otros trabajos como el de Kim y colaboradores (1999) demostraron una disminución de 2 órdenes en lechuga suspendida en agua ozonizada con 1.3 mM de ozono a un flujo de 0.5 L/min.

El ozono en forma gaseosa ha sido utilizado en cámaras de almacenamiento postcosecha de frutas. Se necesitan concentraciones por encima de las 0.1 ppm para que su acción antimicrobiana sea efectiva, por lo cual se deben tomar medidas para evitar daños en la salud de los trabajadores. El ozono en estas condiciones reacciona con el etileno, con lo cual se elimina este gas de la atmósfera de incubación, retardando la maduración (Beuchat, 1998).

Bailey y Col. en 1975 indica que el ozono puede oxidar ligaduras múltiples de carbono olefínico y carbono y carbono acetilénico, moléculas aromáticas, carbocíclicas, heterocíclicas, ligaduras carbono-hidrógeno en alcoholes, éteres, aldehidos, aminas, e hidrocarburos; ligaduras silicio-carbono, silicio-silicio, y silicio-hidrógeno y varios tipos de ligaduras carbono-metal. Wang *et al.* (2008) mencionan diferentes trabajos que permitieron reducir los contenidos de aflatoxinas entre 78 a 95% en semillas de algodón, maní y maíz.

**Tabla 3. Concentraciones de diferentes desinfectantes para la eliminación de diferentes microorganismos.**

Agente patógeno	Desinfectante			
	Cloro libre (pH 6-7)	Cloramina (pH 8-9)	Dióxido de cloro (pH 6-7)	Ozono (pH 6-7)
<i>E. coli</i>	0,0034 - 0,05	95 - 180	0,4 - 0,75	0,02
<i>Poliovirus-1</i>	1,1 - 2,5	768 - 3740	0,2 - 6,7	0,1 - 0,2
<i>Rotavirus</i>	0,01 - 0,05	3806 - 6476	0,2 - 2,1	0,006 - 0,06
<i>Giardia lamblia a</i>	47 - 150	2200	26	0,5-0,6
<i>Cryptosporidium</i>	7200	7200	78	5 - 10

Valores de CT (C (mg / l) x T (min)) al 99% de eficiencia biocida para diferentes desinfectantes. Fuente: Parzanese, 2006.

### 9.2.3. Modo de acción

El ozono se descompone en solución produciendo los radicales Hidroxiperoxil, hidroxil y superóxido. La alta reactividad del ozono se atribuye al alto poder oxidante de estos tres radicales libres (Gil *et al*, 2003).

Dependiendo del tipo de microorganismo, la pared celular está formada por distintos componentes, en las bacterias se constituye de peptidoglicano, o en otros casos como en las arqueobacterias se presentan distintas composiciones químicas, incluyendo glicoproteínas, pseudopeptidoglicano o polisacáridos (Parzanese, 2006).

Dado que el ozono es muy reactivo con la mayoría de los compuestos o constituyentes de la pared celular y membrana que sirven de protección a las bacterias, actúa sobre estos componentes celulares, oxidándolos a otros compuestos que no forman parte de la pared celular, rompe además la actividad enzimática de las células al actuar sobre los grupos sulfhídricos en ciertas enzimas. A partir de este momento la bacteria pierde su capacidad de degradar azúcares y producir gases. El deshidrogenado de glucosa fosfato-6 es afectado del mismo modo que el sistema enzimático, en consecuencia la muerte de la bacteria puede ser debido a los cambios en la permeabilidad celular, posiblemente seguido de una lisis celular (Parzanese, 2006). Aún en el caso de bacterias que forman esporas que son 10 a 15 veces más resistentes que una bacteria normal (lo único que demanda es mayor tiempo de exposición de estos microorganismos a la acción del agente de desinfección). (Gil *et al*, 2003).

El ozono dentro de la célula daña los constituyentes de los ácidos nucleicos (ARN y ADN), como consecuencia, los microorganismos no son capaces de desarrollar inmunidad al ozono como lo hacen frente a otros agentes desinfectantes (Parzanese, 2006).

Los virus son microorganismos acelulares, compuestos solamente de ácido nucleico y una proteína que lo encierra llamada cápside (Parzanese, 2006). Sobre los virus el

ozono oxida la envoltura proteica de estos provocando su destrucción y dejando al ácido nucleico desprotegido, con lo cual puede ser muy efectivo para la eliminación de virus como el de la hepatitis que se transmite efectivamente a través de alimentos que hay estado en contacto con personal enfermo durante la manipulación y procesamiento de los mismos (Gil *et al*, 2003).

El ozono oxida la materia orgánica en suspensión actuando como un coagulante de la misma en el agua de procesado, con lo cual se mejora la calidad de la misma, aunque significa también una disminución de la concentración del ozono y por ende en su efectividad como agente de desinfección (Gil *et al*, 2003).

Tabla 4. **Diferencias entre ozonización y cloración.**

<b>Características</b>	<b>Cloro</b>	<b>Ozono</b>
<b>Olor.</b>	Desagradable en agua	Ninguno
<b>Sabor.</b>	Desagradable en agua	Ninguno
<b>Color.</b>	Amarillento	Incoloro
<b>Poder de oxidación.</b>	1,36 V	2,07 V
<b>Mecanismo de reacción.</b>	Oxidación indirecta	Oxidación directa
<b>Características de los residuos.</b>	Persistentes y peligrosos	Sin residuos
<b>Acción bacteriana.</b>	Variable por especies.	Elevada.
<b>Capacidad de originar resistencia.</b>	Origina resistencia.	Ninguna.
<b>Acción antivírica.</b>	Prácticamente nula.	Elevada
<b>Acción antiparasitaria.</b>	Leve	Elevada
<b>Actividad antifúngica.</b>	Leve	Elevada
<b>Actividad sobre quistes y esporas.</b>	Leve	Elevada
<b>Actividad estructural en micro contaminantes</b> (hidrocarburos, detergentes fenólicos, sustancias clóricas, plaguicidas).	Ninguna o leve	Elevada

Fuente: Parzanese, 2006.

#### **9.2.4. Aplicaciones potenciales del efecto oxidante del ozono**

- Eliminación de hierro y manganeso.
- Eliminación de color, sabor, y olores desagradables.
- Mejoras en las etapas de floculación.
- Destrucción de algas y control de su desarrollo.
- Oxidación y eliminación de fenoles.
- Eliminación de detergentes.
- Oxidación de pesticidas



- Eliminación de colorantes.
- Eliminación de compuestos nitrogenados.
- Eliminación de metales disueltos.

### 9.2.5. Eliminación de pesticidas

La ozonización de compuestos disueltos en agua por sí misma puede constituir un proceso de oxidación avanzada en el que interviene el radical hidroxilo procedente de la descomposición de ozono catalizada por ión hidroxilo, o bien iniciada por la presencia de trazas de otras sustancias, como cationes de metales de transición.

En un proceso de ozonización hay que considerar dos posibles vías de acción oxidante: la directa debida a la reacción entre el ozono y los compuestos disueltos y la radical derivada de las reacciones entre los radicales generados en la descomposición del ozono (radical hidroxilo) y los propios compuestos disueltos. La combinación de ambas vías para la eliminación de compuestos dependerá de la naturaleza de los mismos, del pH del medio y de la dosis de ozono.

En la tabla siguiente se indican algunos resultados concernientes a la ozonización de pesticidas.

Tabla 5. **Degradación de pesticidas presentes en frutas y hortalizas, mediante el uso de ozono en el agua de lavado y desinfección.**

PESTICIDA	Concentración inicial	Dosis de ozono Mg/l-1	PH	Degradación %
Aldrin	20 mg.l-1	3,7	-	95
DDT	26 mg.l-1	-	4,15	94
Dieldrin	1,3mg.l-1	149	6,6-9,8	99
Lindano	503mg.l-1	149	6,9-9,8	90-100
Malathion	1003mg.l-1	1-5	-	38-85
Parathion	873mg.l-1	0-5	-	100
2,4D	223mg.l-1	61,8	-	100
MCPA	0,5-453mg.l-1	-	3,5-8	18-78
MCPB	183mg.l-1	4,35	8	99
Propoxur/Baygon	443mg.l-1	-	5,3	99
Carbaryl/Sevin	213mg.l-1	25	-	100
Amitrol	153mg.l-1	-	5,1	100
Atrazina	63mg.l-1	14,9	5,5	100

Diuron	33mg.l-1	4,5-9	1,5-11,2	100
PCP	703mg.l-1	-	10	99

Otros efectos y uso del ozono se dan sobre la retardación de la maduración de las frutas por la destrucción que ejerce en el gas etileno ( $H_2C=CH_2$ ) descomponiéndolo en dióxido de carbono y agua ( $CO_2 + H_2O$ ), incrementando el periodo de vida en anaquel, lo cual se ha demostrado en experimentos desarrollados con plátanos, uvas, manzanas, moras, cebollas, papas, lechuga, remolacha y zanahoria. Para ello las aplicaciones de ozono gaseoso han demostrado tener buenos resultados al respecto. No obstante el uso de ozono gaseoso debe realizarse con mucha precaución (Gil *et al*, 2003, Rice *et al.*, 1982; Xu-Liangji, 2008).

El ozono gaseoso es un sanitizante fuerte y agente fumigante que se puede usar para higienizar alimentos en almacenes y durante el transporte para prevenir ataque de bacterias, hongos y levaduras, incluso para controlar insectos (Rice *et al.*, 1982).

Según Parzanese, 2006, Dependiendo de las condiciones de temperatura y humedad y del tipo de producto a conservar, la dosis de aplicación de ozono en cámaras frigoríficas varía de 0,6 a 1,6 mg / m<sup>3</sup>. Es posible afirmar que la ozonización cumple cuatro objetivos esenciales que aseguran una correcta conservación de los alimentos, tanto en cámaras frigoríficas como en locales de manipulación, conservación y distribución:

- Mantiene la limpieza y desinfección del ambiente.
- Evita o disminuye la pérdida de peso de los alimentos durante su almacenamiento.
- Desodoriza completamente el ambiente, impidiendo la transmisión de olores de un alimento a otro.
- Favorece la conservación de los alimentos por un período de tiempo mayor.

#### **9.2.6. Otras Ventajas del uso de ozono (Parzanese, 2006).**

- Necesita menor concentración y tiempo de contacto que otros desinfectantes para lograr el mismo resultado que estos.
- Su acción es independiente del pH de agua (a niveles de pH entre 6 y 9).
- Los microorganismos no desarrollan resistencia frente a él.
- Los tratamientos de desinfección con ozono carecen por completo de impacto ambiental.
- Oxida hierro y manganeso, lo cual permite remover color.
- No existe riesgo de sobre-dosificación.

- No requiere el manejo de productos químicos.
- No produce subproductos halogenados, excepto en agua con alto contenido de bromo.

#### **9.2.7. Desventajas del uso de ozono**

- a. Aunque es poco soluble en agua lográndose soluciones de hasta 10µg/ ml. Sin embargo en soluciones por encima de 1µg/ ml se libera ozono al aire por encima de los niveles de seguridad dados por OSHA (máxima concentración en lugar de trabajo= 0.1 ppm) (Rice *et al.*, 1982).
- b. El ozono reacciona rápidamente con moléculas orgánicas complejas, perdiendo eficacia para la destrucción de microorganismos (Xu-Liangji, 2008).
- c. La asociación de microorganismos con los componentes de la materia orgánica en suspensión, puede obstaculizar la accesibilidad del ozono (Rice *et al.*, 1982).
- d. Las bajas temperaturas del agua conllevan a la reducción de la velocidad de reacción del ozono, por lo tanto para conseguir la máxima efectividad higienizante se debe encontrar el equilibrio entre menor temperatura, con mayor solubilidad y máxima capacidad de reacción (Rice *et al.*, 1982; Xu-Liangji, 2008).
- e. Es muy reactivo y corrosivo, por lo que se requiere el uso de materiales en acero inoxidable, además de ser un gas irritante y tóxico a partir de concentraciones de 10 ppm (Aguayo *et al*, 2006).
- f. El gas residual debe ser destruido para evitar el contacto con los trabajadores, lo que implica hacerle frente a retos de diseño y operación de las plantas procesadoras (Chauhan *et al*, 2011).
- g. Los equipos y las tecnologías para el tratamiento con ozono son más complejos que los requeridos para el uso de cloro o luz ultravioleta para el control microbiano, por ejemplo. (Aguayo *et al*, 2006, Chauhan *et al*, 2011, Choi & Nielsen, 2005).

### **9.3. USO DE RADIACIÓN ULTRAVIOLETA**

El uso de tratamientos con fungicidas para el control del ataque de microorganismos durante la postcosecha, se ha visto restringido por los residuos que dejan en el producto y que pueden afectar la salud del consumidor. En general, los tratamientos térmicos favorecen el control de los microorganismos, pero causan

cambios en la calidad visual y sensorial del producto con pérdidas de color, firmeza y aumento de algunos compuestos bioactivos (fenoles, flavonoides, fitoalexinas y otros). Por ello el desarrollar tecnologías emergentes a base de sustancias antifúngicas antagonistas de origen natural y tratamientos suaves que activen los mecanismos de defensa del producto, y al mismo tiempo obtener un efecto benéfico en la calidad del producto son situaciones deseables. Entre estos tratamientos la irradiación ultravioleta (UV) tipo C (UV-C) puede ser considerada como una nueva tecnología para prolongar la vida postcosecha de frutas y hortalizas enteras y cortadas. (Shama, 2007; Shama & Alderson, 2005).

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*”. Dicho efecto puede mejorar la resistencia al ataque de ciertos microorganismos tales como mohos y levaduras, dado que puede estimular la producción de fenilalanina amoníalasa, que induce la formación de compuestos fenólicos (*fitoalexinas*), tóxicos para ellos (Domínguez y Parzanese 2006).

Según Calabrese y Baldwin (2002), hormesis es una respuesta adaptativa con características diferenciables por la relación dosis-respuesta, que es inducida por un proceso de acción directa o de sobre-estimulación a dosis bajas. En plantas equivale al efecto de la aplicación de dosis bajas de un tratamiento biótico o abiótico potencialmente dañino, que induce respuestas positivas o negativas en los tejidos contra varios tipos de estrés (Shama y Alderson, 2005).

### **9.3.1. Concepto y descripción de la técnica**

La luz ultravioleta es una radiación no ionizante con una longitud de onda de 100 a 400nm; se clasifica en tres tipos: UV-A (315-400nm), UV-B (280-315nm) y UV-C (200-280nm). La irradiación UV-C tiene su máximo pico de emisión a 254nm y se ha comprobado que es en esta longitud de onda donde presenta su mayor acción germicida, por lo que ha sido ampliamente estudiada en varios tejidos vegetales (Artés y Allende, 2005; Domínguez y Parzanese 2006).

En función de la intensidad y longitud de onda, la irradiación UV puede inducir un estrés biológico en plantas y activar algunos mecanismos de defensa de los tejidos vegetales, con la consecuente producción de fitoalexinas (Mercier, 1993b). La acumulación de estos compuestos podría estar acompañada por otros sistemas de defensa inducidos, tales como modificación de las paredes celulares, síntesis de enzimas de defensa e incluso la muerte celular.

### **9.3.2. Inactivación de microorganismos por UV-C**

La irradiación UV-C se utiliza como alternativa para la esterilización química, porque reduce el crecimiento de microorganismos en superficies inertes y en frutos. (Stevens *et al.*, 1998a y b). El componente UV de la luz solar es la causa principal de muerte de microorganismos en el ambiente exterior, donde la velocidad de mortalidad varía entre patógenos, dosis aplicadas y tiempos de exposición; el tiempo puede variar de unos segundos a minutos para producir la muerte de 90 a 99 % de virus o bacterias. Algunas bacterias ambientales y esporas suelen ser más resistentes y sobrevivir a exposiciones mayores.

Tabla 6. **Dosis Mínimas y máximas requeridas para inhibir el 100% de diferentes microorganismos.**

Microorganismo	Intervalo Germinicida	
	Dosis mínima	Dosis Máxima
Alga	0.220	4.200
Bacteria (vegetativo)	0.025	0.264
Bacteria (esporas)	0.220	0.462
hongos	0.110	3.300
Virus	0.045	4.400
Levaduras	0.066	0.176

Fuente: Rivera-Pastrana *et al*, 2007.

### 9.3.3. Modo de acción

El mecanismo directo de acción de la irradiación UV-C en la inactivación microbiana reside en el daño que causa al ADN y generar así mutaciones que bloquean la replicación celular, la cual si no es reparada conduce a la muerte celular. La irradiación UV-C también actúa de manera indirecta al inducir mecanismos de resistencia por acumulación de compuestos fungicidas como fenoles, flavonoides y poliaminas (Rivera-Pastrana *et al*, 2007).

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*. Esto produce distorsiones en la forma del ADN interfiriendo en el apareamiento normal de las bases, lo que da como resultado el bloqueo de la pudiendo provocar la muerte. Los efectos en los enlaces cruzados son

proporcionales al tiempo de exposición e intensidad de la luz UV. No obstante, es posible que ocurra una reactivación dado que el ADN puede ser reparado por factores proteínicos cuando las células dañadas se exponen a longitudes de onda superiores a 330nm. Un ambiente oscuro puede evitar la foto reactivación de productos tratados con radiación UV o restaurar las células expuestas (Guerrero y Barbosa 2004).

Las células reactivadas pueden ser más resistentes si son sometidas a un segundo tratamiento, en consecuencia 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). La siguiente tabla muestra los cambios que podrían ser necesarios.

**Tabla 7. Irradiación necesaria para la eliminación de microorganismos en condiciones normales y con reactivación de las células.**

<b>Microorganismo</b>	<b>Exposición requerida sin reactivación (J/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Exposición requerida con la reactivación (J/m<sup>2</sup>)</b>
<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</i> Typhimurium	130	250
<i>Serratia marcescens</i>	130	300
<i>Salmonella</i> Typhi	140	190
<i>Enterocolitica faecium</i>	170	200
<i>Mycobacterium smegmatis</i>	200	270

Fuente: Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004; tomado de Domínguez y Parzanese 2006.

El tiempo de aplicación de UV-C oscila entre 1 y 5 min, periodo que no incrementa significativamente la temperatura del tejido (1-3 °C), ni produce alteraciones o favorece los procesos deteriorativos del producto. Una ventaja es que no deja residuos y no afecta las características sensoriales (sabor y aroma) del producto. Pero la sensibilidad de los tejidos al tratamiento con UV-C difiere en función del genotipo, y en ocasiones las dosis altas pueden favorecer la oxidación de compuestos bioactivos del fruto, como vitamina C, carotenos y fenoles, así como el oscurecimiento superficial del tejido (González-Aguilar *et al* 2001, 2006).

### 9.3.4. Inactivación de microorganismos por UV-C

Al evaluar dosis de irradiación UV-C para inhibir el crecimiento de *Salmonella spp.* y *Escherichia coli* O157:H7, en muestras de manzana 'Red Delicious', lechuga de hoja verde y frutos de tomate, en un rango de  $0.55-8.64 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$ , Yaun *et al.*, (2004) encontraron que la dosis máxima ( $8.64 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$ ) aplicada en manzana redujo el crecimiento de *E. coli* O157:H7 en 3.3 unidades de logaritmo, mientras que esta misma dosis en tomate inoculado con *Salmonella spp.* y lechuga inoculada con *Salmonella spp.* y *E. coli* O157:H7, sólo dio una reducción de 2.19, 2.65 y 2.79 unidades log, respectivamente.

En cubos frescos cortados de sandía (*Citrulus lanatus* Schard cvs. 'Matsum' y 'Nakai') expuestos a UV-C antes de ser empacados, se encontró que una dosis de  $4.2 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$  resulta óptima para reducir de 1 a 1.5 unidades log el conteo bacteriano. Sin embargo, la reducción del crecimiento bacteriano por el tratamiento de UV-C es efectiva únicamente cuando se lleva a cabo un control estricto de las prácticas de seguridad e higiene. Esta disminución en la cuenta microbiana puede ser resultado de la acción directa de la UV-C sobre algunas bacterias y, además, puede generar una respuesta antiestrés en la superficie de sandía fresca cortada (Fonseca y Rushing, 2006).

Tabla 8. Dosis de Luz UV-C en frutas, vegetales y raíces aplicadas con diferentes propósitos horméticos.

Frutas	Efecto hormético / Microorganismo	Dosis (kJ/m <sup>2</sup> )	Fuente
Fresas	<i>Botrytis cinerea</i> (control decay)	0.25 - 1.0	Baka <i>et al.</i> (1999)
Tomates	<i>Alternaria alternata</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i>	1.3 - 4.0	Liu <i>et al.</i> (1993)
Limones	<i>Penicillium digitatum</i> (Producción de fitoalexinas)	5.0 - 15.0	Ben-Yehoshua <i>et al.</i> 1992
Duraznos y Manzanas	Reducción de pudriciones	0.84 – 40.0	Lu <i>et al.</i> , 1991
Mandarinas	<i>Penicillium digitatum</i>	1.30	Stevens <i>et al.</i> 1997
Duraznos	<i>Monillinia fructicola</i>	7.50	Stevens <i>et al.</i> 1997
Tomates y papas	<i>Rhizopus stolonifer</i>	3.6	Stevens <i>et al.</i> 1997
Toronjas	Producción de fitoalexinas	0.50	D'hallewin <i>et al.</i> 2000

Fuente: Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2009

La irradiación UV-C se ha estudiado como un tratamiento alternativo reciente para la preservación de frutas y hortalizas como frutos de fresa (*Fragaria vesca* Coville), manzana (*Pyrus malus* Borkh), mango (*Mangifera indica* L.), chabacano (*Prunus*

*armeniaca* Blanco), durazno (*Prunus persica* L.), nectarina (*Prunus persica* L.), limón (*Citrus limon* L.), uva de mesa (*Vitis vinifera* L.), tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) y otros; también en hortalizas como cebolla (*Allium cepa* L.), zanahoria (*Daucus carota* L.) y otros (Rivera-Pastrana *et al*, 2007).

La aplicación de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas ha resultado un sistema efectivo para prolongar la vida útil de estos productos por ser letal para la mayoría de microorganismos. Baka *et al.* (1999) la aplicaron en frutos de fresa para controlar la pudrición causada por *Botrytis cinerea* y encontraron que dosis de  $0.25 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$  resulta efectiva a temperaturas de almacenamiento de 4 a 13 °C y aumenta la vida de anaquel del fruto de 4 a 5 d. Stevens *et al.* (1997) señalaron que el tratamiento con UV-C fue efectivo para contrarrestar la pudrición causada por *Monilinia fructicola* en durazno, el deterioro por ataque de *Penicillium digitatum* en mandarina (*Citrus reticulata* Blanco) y la pudrición causada por *Rhizopus stolonifer* en tomate durante el almacenamiento. Una dosis de UV-C de  $0.024 \text{ kgf s}^{-2}$  por 4 min aplicada al melón (*Cucumis melo* L.) mínimamente procesado antes y durante el corte, fue efectiva en reducir las poblaciones de levaduras, hongos y *Pseudomona spp.* durante el almacenamiento a 10 °C; las poblaciones de microorganismos mesófilos aerobios y bacterias lácticas se redujeron sólo cuando la UV-C se aplicó durante el procesamiento (Lamikanra *et al.*, 2005).

Rivera-Pastrana *et al*, 2007, menciona que de acuerdo a los trabajos de diversos autores, al evaluar varias dosis de irradiación UV-C sobre el crecimiento de microorganismos mesófilos, psicrófilos, enterobacterias, bacterias ácido-lácticas y levaduras, no encontró una respuesta clara. Por el contrario, Erkan *et al.* (2001) encontraron una reducción significativa en la población microbiana de rebanadas de calabaza después de ser tratadas con UV-C en dosis de  $4.93$  y  $9.86 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$ . Allende y Artés (2003a, b) también encontraron que dosis de 0.4, 0.81, 2.44, 4.07 y  $8.14 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$  redujeron la cuenta de bacterias psicotróficas, coliformes y levaduras en lechuga (*Lactuca sativa* L.) mínimamente procesada. Marquenie *et al.* (2002) reportaron un retraso en el crecimiento fúngico (*Botrytis cinerea* y *Monilinia fructigena*) en fresa a la que se aplicó una dosis de  $5 \text{ kgf s}^{-2}$  de UV-C.

Con  $7.5 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$  de irradiación UV aplicada en tomate en dos etapas de maduración, se redujo el deterioro causado por *Erwinia spp.*, en frutos inoculados a diferentes tiempos durante el almacenamiento. Los frutos de tomate tratados con dosis de  $3.6$  y  $4.8 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$  retrasaron en 35% el cambio de color verde a rojo maduro, reportado como el porcentaje de frutos que alcanzaron la madurez (100 % rojo) en comparación con el obtenido con otras dosis administradas (45-100 %) (Liu *et al.*,



1993), por lo que los autores propusieron que la reducción del deterioro es un efecto secundario del retraso en el proceso de maduración, al provocar un aumento de sustancias inhibidoras de patógenos deteriorativos durante el almacenamiento.

#### **9.3.5. Efecto sobre el metabolismo de compuestos fenólicos**

El tratamiento de UV-C ha estimulado la síntesis de la enzima fenilalanina amonioliasa (PAL), que es clave en la síntesis de fenilpropanoides, y dado lugar a la formación de fenoles, fitoalexinas y ligninas con capacidad antifúngica (Ryalls *et al.*, 1996).

La aplicación de UV-C en duraznos aumenta la síntesis de fenilalanina amonioliasa y disminuye la síntesis de etileno, lo cual prolonga la vida de anaquel del fruto al retrasar la maduración (Stevens *et al.*, 1997,1998a). También Ryalls *et al.* (1996) reportaron un incremento en la síntesis de las fitoalexinas escoporona y escopoletina en naranja (*Citrus sinensis* Osbeck) y otros cítricos, en respuesta al tratamiento con UV-C, y con esto aumentó la resistencia del fruto a diversos patógenos (D'Hallewin *et al.*, 2000; Ben-Yehoshua *et al.*, 1992).

La irradiación UV-C resulta efectiva para inducir la acumulación de la fitoalexina 6-metoximeleina en rebana das de zanahoria, a una dosis óptima de  $2.2 \text{ kgf s}^{-2}$  y una temperatura de almacenamiento de 20 °C. (Mercier *et al* 1993a).

La acción del corte bajo luz UV-C en melón induce una respuesta antioxidante porque aumenta la acumulación de la enzima ascorbato peroxidasa (Lamikanra *et al.*, 2005). El procesamiento del fruto de melón bajo luz ultravioleta parece reducir la actividad de la esterasa en el fruto cortado. Puesto que la mayoría de los compuestos volátiles responsables del aroma de los frutos son ésteres, la inactivación de la esterasa en frutos mínimamente procesados bajo UV-C retrasará la pérdida de aroma en el producto, para así mantener la calidad organoléptica del fruto fresco (Lamikanra *et al.*, 2005).

Recientemente se ha hecho énfasis en el uso del tratamiento de UV-C en uvas, debido al aumento de compuestos bioactivos y antifúngicos. Según Nigro *et al.* (1998), el tratamiento de UV-C produjo un claro efecto protector contra *Botrytis cinerea*, el cual se atribuyó a la inducción de las enzimas fenilalanina amonioliasa y peroxidasa y a la inducción de fitoalexinas, principalmente al compuesto resveratrol (3, 5, 4' trihidroxiestilbeno).

González-Aguilar *et al.* (2006) observaron una disminución significativa en el deterioro causado por *Penicillium* en mangos frescos cortados y un aumento en los

niveles de fenoles totales y flavonoides en el tejido, después del tratamiento con UV-C. En otro estudio con mango entero, González-Aguilar *et al.* (2007b) reportaron un aumento en la actividad de fenilalanina amonioliase y en los contenidos de fenoles y flavonoides totales, como resultado de la exposición a la irradiación UV-C a dosis de 0.25 y 0.5 kgf s<sup>-2</sup>, atribuible a la activación de una respuesta de defensa antiestrés.

#### **9.3.6. Retraso de maduración y senescencia**

Lu *et al* 1991; Barka *et al* 2000b, reportaron que el tratamiento de UV-C en frutos de manzana y durazno retrasa el proceso de maduración, retraso que sugieren está íntimamente relacionado a una mayor resistencia al deterioro. Los frutos de tomate tratados con dosis de 3.6 y 4.8 x 10<sup>3</sup> kgf s<sup>-2</sup> presentaron cambios menores en el color externo (de verde a rojo), se mantiene firmeza y maduración de tomates por más tiempo, debido a la reducción en la actividad de enzimas de degradación de la pared celular, como: poligalacturonasa, pectinmetilesterasa, celulasa, xilanas y  $\beta$ -D-galactosidasa).

La actividad antisenescente de las poliaminas radica en su alta capacidad para secuestrar radicales libres. Maharaj *et al.* (1999) sostienen que las poliaminas suprimen la degradación de la pared celular y la actividad de la poligalacturonasa en tomate, y al parecer mediante un mecanismo similar al del calcio, al involucrar la formación de enlaces catiónicos cruzados con ácido péctico y otros polisacáridos. Stevens *et al.* (1998b) atribuyeron el retraso de la maduración de tomate tratado con UV-C a los altos niveles de putrecina y espermina encontrados en el tejido; al mismo tiempo observaron un aumento en el alcaloide tomatina en el fruto después de 72 h del tratamiento, que correlacionó con la tolerancia a *Rhizopus stolonifer*.

Tabla 9. Efectos del tratamiento de UV-C en frutos de clima templado.

Especie / Variedad	Dosis (10 <sup>3</sup> kgf s <sup>-2</sup> )	Efecto	Mecanismo de acción
Durazno ('Elberta, Loring')	7.5	Protección contra <i>Monilinia fructicola</i> .	Mejor protección lograda con UV-C en combinación con CaCl <sub>2</sub> y <i>Debaromyces hansenii</i> .
Durazno ('Jefferson')	0.41 – 2.46	Reducción de síntomas de daño por frío y aumento de vida de almacenamiento.	Aumento en los niveles de poliaminas en el epicarpio, como respuesta de defensa.
Durazno ('Elberta')	0.84-40 (óptimo 7.5)	Protección contra <i>M. fructicola</i> . Retrasa maduración.	Suprime síntesis de etileno, aumenta actividad de enzima fenilalanina amonioliase e incrementa el número de levaduras antagonistas <i>Debaromyces hansenii</i> en la superficie del fruto.
Fresa ('Kent')	0.25 – 1.0	Resistencia a <i>B. cinerea</i>	Los frutos tratados con la dosis más baja mostraron menor tasa de senescencia, y extendieron la vida útil en 4-5 días
Fresa ('Kent')	0.5 – 15.0	Resistencia a <i>B. cinerea</i> y <i>Monilinia fructigena</i> .	Redujo el desarrollo fúngico en todas las dosis. La combinación de UV-C y bajas temperaturas permite la aplicación efectiva de dosis más bajas.
Manzana ('Red Delicious')	7.5	Defensa contra deterioro por <i>P. expansum</i>	La aplicación temprana (96 h previas a la inoculación del patógeno) enciende mecanismos de defensa y prepara a fruto para contrarrestar la infección
Pera ('Gialla')	0.75	No tiene efecto contra el deterioro. Causa daño en dermis del fruto.	
Cereza (varios culti- vares)	0.5 – 15.0	No presenta efecto sobre desarrollo de	

		<i>Botrytis cinerea</i> y <i>Monilinia fructigena</i>	
Uva ('Italia')	0.12 – 4.0	Disminuye incidencia de deterioro por <i>B. cinerea</i> .	La irradiación previa (24-48 h) a la inoculación disminuye la aparición del hongo; a dosis mayores de 1 ( $10^3 \text{ kgf s}^{-2}$ ) induce decoloración de piel.

Fuente: Rivera-Pastrana *et al*, 2007.

Tabla 10. Efectos del tratamiento de UV-C en frutos tropicales y subtropicales.

Especie / Variedad	Dosis ( $10^3 \text{ kgf s}^{-2}$ )	Efecto	Mecanismo de acción
Limón (Eureka)	0.0 – 15.0	Reduce deterioro por <i>P. digitatum</i> . Incrementa niveles de escoporona.	La reducción de deterioro sólo se presenta si la inoculación del patógeno es aplicada al menos 24 h antes de la UV- C.
Mango (Tommy Atkins)	4.9 – 9.9	Incrementa resistencia a deterioro. Mejor apariencia y textura.	Inducción de espermidina y putrescina. La dosis mayor induce senescencia.
Mango (Haden)	2.46 – 4.93	Aumenta contenido fenoles y flavonoides totales y aumenta actividad enzimática de LOX	Respuesta de defensa contra estrés oxidativo y activación de enzima PAL.
Naranja (Biondo Comune, Washington Navel, Tarocco, Valencia Late)	0.5 – 3.0	Reduce deterioro.	Dosis de $0.5 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$ fue efectiva en la reducción de deterioro. Dosis mayores ( $1.5 \times 10^3 \text{ kgf s}^{-2}$ ) aumentaron este efecto sólo en frutos recién cosechados. Incremento de escoporona y escopoletina en todas las variedades, proporcional a la dosis suministrada
Naranja (Shamouti, Valencia)	0.2 – 15.0	Resistencia a <i>P. digitatum</i> .	Incremento en niveles de escoporona después de la irradiación UV, en todas las dosis probadas.
Kumkuat (Nagami)	0.2 – 15.0	Aumenta niveles de escoporona. Disminuye deterioro	Aumenta síntesis de escoporona en todas las dosis de UV-C, y no se presenta signos de deterioro por <i>P. digitatum</i> después de dos semanas de almacenamiento a bajas temperaturas.
Toronja (Star Ruby')	0.5 – 3.0	Retraso de deterioro y aumento en	Dosis mayores de $1.5 (10^3 \text{ kgf s}^{-2})$ causan pardeamiento y necrosis del

		síntesis de escoparona y escopoletina.	tejido irradiado.
Mandarina (Dancy)	1.3	Inactivación de <i>P. digitatum</i> .	Mayor efectividad del tratamiento en combinación con CaCl <sub>2</sub> y <i>Debaromyces hansenii</i> .

Fuente: Rivera-Pastrana *et al*, 2007.

Tabla 11. Efectos del tratamiento de UV-C en hortalizas.

Especie / Variedad	Dosis (10 <sup>3</sup> kgf s <sup>-2</sup> )	Efecto	Mecanismo de acción
Brócoli (Cicco)	10.0	Retrasa degradación de clorofila y aumenta capacidad antioxidante.	Disminuye la actividad de enzimas peroxidasa, aumenta actividad de clorofilasa en almacenamiento. No hay un efecto directo de UV-C en las moléculas de clorofila y la acumulación de feofitinas, posiblemente a través de un mecanismo bioquímico que depende de muchos factores.
Champiñón ( <i>A. bisporus</i> y <i>A. bitorquis</i> )	0.295 -1.47 (x 10 <sup>-3</sup> )	Aumenta la síntesis de vitamina D <sub>2</sub> .	Se activa un mecanismo antioxidante en respuesta a UV-C, que induce la síntesis de ergosterol
Chile (Bell Boy, Delphin)	0.22 – 2 - 20 (0.88 óptimo para <i>Botrytis cinerea</i> )	Resistencia a infecciones naturales y <i>B. cinerea</i> .	Todas las dosis protegen contra infecciones naturales, mientras que para <i>B. cinerea</i> sólo hay protección si se inocula artificialmente después de la irradiación, no antes
Tomate (Tuskegee 80-130, Floradade, Better Boy)	1.3 – 40.0	Protección contra <i>Alternaria alternata</i> , <i>Botrytis cinerea</i> , <i>Rhizopus stolonifer</i> .	Dosis de 3.6 y 4.8 x 10 <sup>3</sup> kgf s <sup>-2</sup> retrasan maduración.
Tomate (Tuskegee 80-130, Floradade)	3.6	Inactivación de <i>Rhizopus stolonifer</i> .	Mayor efecto de inactivación en combinación con CaCl <sub>2</sub> y <i>Debaromyces hansenii</i> .
Tomate (Capello)	3.7 – 24.4	Retraso de senescencia.	Posible relación entre el incremento de niveles de putrescina y el retraso de maduración. A la menor dosis se logra

			retraso en senescencia por 7 días.
--	--	--	------------------------------------

Fuente: Rivera-Pastrana *et al*, 2007.

### **9.3.7. Ventajas del uso de radiación ultravioleta** (Domínguez & Parzanese, 2006 & Parzanese, 2006).

- No produce alteraciones organolépticas en la mayor parte de los alimentos.
- Método físico en el cual la energía es el medio germicida, sin generar productos secundarios indeseables.
- El tratamiento no produce residuos químicos ni radiación.
- Es efectivo para desinfección de diversas superficies.
- Es eficaz para la inactivación de muchos microorganismos.
- Es de fácil aplicación.
- Bajo costo y mantenimiento.

### **9.3.8. Desventajas del uso de radiación ultravioleta** (Guerrero-Beltrán & Barbosa-Cánovas, 2004).

- Los organismos protegidos por sólidos (partículas, polvo o cubiertas) no son afectados.
- Poca penetración en materiales sólidos y en líquidos no transparentes.
- La exposición prolongada a irradiación UV puede dañar la vista y causar quemaduras.
- La unidad o equipo de UV se debe colocar tan cerca como sea posible al producto a tratar.
- 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.

### **9.3.9. Efectos adversos**

La susceptibilidad del tejido vegetal al tratamiento de irradiación difiere significativamente entre variedades, estados fisiológicos, composición y grosor de la piel del fruto u hortaliza. Por tanto, la irradiación de UV-C puede tener efectos adversos cuando la intensidad es superior a la tolerada por el producto. El principal efecto dañino ocurre con dosis muy altas y se manifiesta como manchado y de coloración de la piel, y su intensidad varía con el tiempo de exposición a la UV-C (Rivera-Pastrana *et al*, 2007).

En tomate, el aumento de la dosis a un nivel superior a  $2 \times 10^4 \text{ kgf s}^{-2}$  causó maduración anormal y pardeamiento del exocarpio, similar al escaldado por sol, así como decoloración indeseable del endocarpio (Maharaj *et al.*, 1999, Liu *et al.*, 1993).

Marquenie *et al.* (2002) trataron fresas con dosis de 1.0 y 1.5 kgf s<sup>-2</sup>, las cuales afectaron la apariencia del cáliz y causaron oscurecimiento y deshidratación de las hojas. Mau *et al.* (1998) lograron incrementar los niveles de vitamina D2 en champiñones con la dosis más baja probada (0.295 kgf s<sup>-2</sup>), pero también se presentó una decoloración superficial que afectó la aceptabilidad del producto.

También se ha reportado engrosamiento de la pared celular del pericarpio de las bayas, debido al aumento de celulosa, hemicelulosa y material lipídico, que puede considerarse como una respuesta similar al daño físico o una barrera contra el ataque de patógenos (González-Barrio *et al.*, 2005).

Si se ha de llevar la aplicación de la irradiación UV-C a escala industrial también se deben implementar medidas de seguridad, ya que la exposición de seres humanos puede provocar efectos adversos como inflamación de córnea, enrojecimiento retardado de la piel e importantes efectos en el sistema inmune. Se pueden minimizar los riesgos para el personal expuesto a una fuente cercana de irradiación UV-C mediante la implementación de sencillas medidas de seguridad, como uso de equipos de protección (lentes, guantes y protectores para la piel), además de capacitación sobre los efectos adversos a la salud (Shama *et al.*, 2007).

## **X. CONCLUSIONES**

### **10.1. Riesgos de contaminación de alimentos y enfermedades de transmisión alimentaria.**

- a. En la industria alimentaria, los riesgos de contaminación de los alimentos son diversos y en general se distribuyen a lo largo de la cadena de producción, desde la producción primaria hasta el consumo, lo que dificulta alcanzar la inocuidad de los alimentos haciendo uso de los métodos artesanales de producción y manipulación de los productos alimenticios.
- b. La diversidad de microorganismos asociados al ataque de productos vegetales de consumo fresco que disminuyen su calidad y vida de anaquel, así como de los patógenos capaces de contaminarlos y producir enfermedades al hombre, hacen de la desinfección de los alimentos una necesidad de primer nivel.
- c. El costo a la familia, la industria y los sistemas nacionales de salud de las intoxicaciones o enfermedades alimentarias, han incidido directamente en la búsqueda y exigencias de los consumidores de opciones cada vez más eficaces

para la desinfección de los alimentos, lo que ha catapultado a la inocuidad a nivel de requisitos primarios en el comercio de alimentos a nivel mundial.

## **10.2. Disminución de riesgos de contaminación frutas y vegetales.**

- a. Entre los diferentes métodos de desinfección de frutas y hortalizas, los derivados del cloro, son los más utilizados. Con su uso como desinfectante de la superficie de las frutas y hortalizas, la eliminación de esporas en germinación y micelios se logra eficientemente, no obstante su efecto es prácticamente nulo frente a patógenos que están creciendo en el interior de los tejidos de frutos y vegetales (adentro de las magulladuras o pasivas infecciones).
- b. Por otro lado, el descubrimiento de la presencia de residuos de cloro en los alimentos, en niveles considerados peligrosos, con sus correspondientes riesgos de impacto sobre la salud de los consumidores de productos desinfectados con estos productos, ha venido exigiendo la búsqueda de métodos de desinfección de alimentos más seguros.
- c. El ozono por su alto poder oxidante, ha sido uno de los higienizantes de agua más efectivos, por su capacidad de no dejar residuos, además de poder ser producido en el sitio a utilizar, lo que elimina la necesidad de su almacenamiento. Razón por la cual, debe ser considerado como una alternativa que merece ser evaluada para lograr una aplicación más amplia en las industrias agroalimentarias como higienizante de frutas y hortalizas para consumo fresco.
- d. El ozono presenta buenas cualidades para preservar alimentos bajo condiciones de almacenamiento o venta, alargando su periodo de vida útil en anaquel, por su acción directa en la destrucción del etileno que es un elemento involucrado en la madurez de los frutos. No obstante, debido a que se usa ozono gaseoso, bajo las condiciones de la pequeña y mediana industria de alimentos esta situación exige un manejo cuidadoso de este producto por su alta irritabilidad, equipo y anaqueles especializados bajo condiciones de venta.
- e. Debido a los resultados mostrados por diferentes autores, la irradiación ultravioleta tipo C es una opción interesante a ser tomada en cuenta como desinfectante en frutos y hortalizas frescos, así como para la preservación de los mismos e inducción a una mayor vida en anaquel.
- f. Dado que la radiación UV-C es un tratamiento que no deja residuos y no genera



cambios indeseables en las características sensoriales y nutritivas del producto. Podría considerarse como una herramienta complementaria a la refrigeración y al envasado para preservar la calidad organoléptica y nutricional, y aumentar la comercialización de alimentos mínimamente procesados.

- g. Debido a que la efectividad del tratamiento de irradiación con UV-C depende de muchos factores, como la dosis administrada, la fuente de luz, la especie y el cultivar, entre otros. Al tomar en cuenta que algunas respuestas naturales de defensa inducidas por la UV-C proporcionan un valor nutricional agregado al alimento, se requiere profundizar sobre los cambios en el metabolismo del producto, como son la síntesis de compuestos fenólicos, antioxidantes y anti senescentes, a partir de los efectos visibles en la maduración y calidad organoléptica.

### **10.3. Prevención y control de micotoxinas**

- a. Existen factores biológicos y ambientales que pueden promover la formación de micotoxinas en el campo, entre los que se incluyen la invasión por insectos, la susceptibilidad o resistencia de los cultivos, las deficiencias nutricionales de las plantas, las condiciones de sequía o lluvias excesivas. Por otro lado, una vez ocurrida la contaminación de los alimentos por micotoxinas es muy difícil eliminarlas. No se les puede destruir con tratamientos térmicos, y si bien se han propuesto algunos métodos de destoxificación (ejemplo, tratamiento con amoníaco y extracción con solventes), ninguno de ellos hasta el momento ha resultado ser suficientemente eficaz como para ser llevado a la práctica, razón por la cual para prevenir enfermedades alimentarias con este tipo de productos, es importante la implementación en la producción primaria de Buenas Prácticas Agrícolas.
- b. En la etapa de la cosecha es importante recolectar los productos en el estado justo de madurez y evitar los daños mecánicos. La etapa de poscosecha es crítica, principalmente en relación con ciertas toxinas producidas por *Aspergillus* y *Penicillium*. Un control de la temperatura ambiental, de la humedad y la aireación son los parámetros principales que permiten lograr el almacenamiento seguro.

### **10.4. Sobre consideraciones para la prevención de riesgos de contaminación frutas y vegetales.**

- a. La aplicación de los lineamientos para minimizar el riesgo microbiano en frutas y hortalizas, representa un serio reto, tanto para los productores, como para las instituciones responsables del sector agroindustrial.
- b. En este sentido, las principales innovaciones en un futuro inmediato para la producción, cosecha, almacenamiento y distribución de frutas y hortalizas frescas mínimamente procesadas, deberán estar dirigidas a la implementación objetiva y clara de “Buenas Prácticas Agrícolas”, debido a que estas permiten minimizar al máximo el riesgo de deterioro en la calidad durante las diferentes etapas de siembra, cosecha, manejo, empaque, transporte, y distribución.
- c. Dado que en la industria alimentaria, el problema de la contaminación de los alimentos con microorganismos nocivos o compuestos químicos tóxicos, se ha tornado en una preocupación de carácter mundial enfocada cada vez más a la necesidad de disponer al público de alimentos sanos y seguros, los productores, funcionarios del sector público e instituciones de investigación asociadas a la producción, están obligados a ahondar en la comprensión, conocimientos y enseñanzas sobre estos temas de manera de contribuir a mejorar el nivel de conocimiento de todos los actores en torno a la inocuidad de los alimentos.

#### **10.5. Comentarios generales sobre la inocuidad de los alimentos**

Tomando en cuenta la legislación de diferentes países importadores de alimentos con respecto a la inocuidad de la producción. En la actualidad, las restricciones de ingreso a territorio de los países importadores o rechazo de los productos alimenticios, *“No solo debe verse en correspondencia a su aceptable condición fitosanitaria como usualmente ha sucedido, sino también a las características de inocuidad de los mismos”* que son situaciones actuales que obligan a romper viejos paradigmas; y por el hecho mismo que con demasiada frecuencia, en países en desarrollo donde la producción agrícola es parte importante de sus aportaciones al PIB, las acciones y recursos de cooperación a favor de la inocuidad de los alimentos se están disponiendo para el tema de las exportaciones de productos hacia países desarrollados y no para el desarrollo de una campaña integral que permita el abastecimiento a la población nacional de productos inocuos, principalmente cuando dicho abastecimiento suficiente e inocuo en lo particular para niños y ancianos, es una cuestión crítica.

##### ***En consecuencia:***

- a. Debería tomarse como una responsabilidad de las estructuras de gobierno asociadas a la producción, así como de instituciones de investigación y agentes

económicos involucrados con la producción agroalimentaria, hacer y tomar conciencia de la problemática referente a la inocuidad de la producción, así como proponer y tomar medidas urgentes, claras, reales y contundentes orientadas no sólo a mantener los mercados de exportación, sino a desarrollar un esfuerzo más amplio que garantice condiciones de mayor sanidad e higiene en la producción, manejo y consumo de los productos agroalimentarios, sean éstos para el mercado nacional o internacional.

- b. Debería establecerse una estrategia que permita equilibrar las inversiones o recursos destinados para la vigilancia fitozoosanitaria, tratando de desarrollar acciones relacionadas al mejoramiento de las técnicas de producción, fundamentados en sistema de control ecológico de poblaciones de insectos plagas y enfermedades, así como del suelo y el cultivo que sustenta.
- c. Es imperante para el buen desarrollo de las exportaciones de productos alimenticios, como parte de la responsabilidad social de gobierno y de la restitución de los derechos de la población al consumo de alimentos sanos, inocuos y nutritivos, desarrollar un programa nacional del tipo interinstitucional para el fomento real a la implementación de programas prerrequisitos como las Buenas Prácticas Agrícolas en la producción primaria y Buenas Prácticas de Manufactura en la transformación o manipulación de productos alimenticios, que permita y potencialice la producción nacional con calidad e inocuidad para todos.
- d. Desarrollar una agenda de investigación y un programa de gestión del conocimiento “incluyente” (Estructuras de investigación estatales y entes privados, universidades y gremios de la producción), que permita brindar respuestas alternativas a las necesidades del sector productor de alimentos (producción primaria y transformación) sobre los procesos de producción y transformación de productos, principalmente en la pequeña y mediana producción, que representa a la mayoría productiva, que son el pilar primario de la disponibilidad de alimentos y el sector que posee poca disponibilidad de inversión para la adquisición de tecnología moderna tanto para la producción, como para la desinfección de productos alimenticios.
- e. Es necesario asegurar las iniciativas y recursos necesarios para mantener y robustecer la credibilidad del sistema de inspección nacional, a través de la actualización metodológica de sus procesos de apoyo a la producción, la profesionalización y fortalecimiento técnico en el cumplimiento y aplicación efectiva de métodos y normas internacionales, así como de la tecnología de producción que permita asegurar la obtención de alimentos inocuos en los diferentes procesos de transformación.

## BIBLIOGRAFÍA

Abdelhamid, A.M.; Dorra, T.M. (1990). Study on effects of feeding laying hens on separate mycotoxins (aflatoxins, patulin, or citrinin) contaminated diets on the egg quality and tissue constituents. *Arch Tierernahr* 40(4):305-16.

Achen M., Yousef A.E. Efficacy of ozone against *Escherichi coli* O157:H7 on apples. *Journal of Food Science* (66) 1380-1384.

Ackers ML, Mahon BE, Leahy E, Goode B, Damrow A, Hayes PS. 1998. An outbreak of *Escherichia coli* O157:H7 infections associated with leaf lettuce consumption. *Journal Infections Diseases* 1998; 177(6):1588-93.

Aguayo E, Escalona VH, Artés F. 2006. Effect of cyclic exposure to ozone gas on physicochemical, sensorial and microbial quality of whole and sliced tomatoes. *Postharvest Biology and technology*, 39: 169-177.

Allende A; Artés F. 2003b. Combined ultraviolet-C and modified at- mosphere packaging treatments for reducing microbial growth of fresh processed lettuce. *Food Sci. Technol.* 36:739-746.

Allos BM. 2001. *Campylobacter jejuni* Infections: update on emerging issues and trends. *Clinical Infection Diseases* 2001;15;32(8):1201-1206.

Almonte, J. 2000. Estrategia sobre inocuidad y calidad alimentaria. Taller interno de capacitación y establecimiento de líneas prioritarias sobre Inocuidad Alimentaria. SAGARPA-INIFAP. México, D. F. Abril del 2000. 31 p.

Andrade-Cuvi, MJ; Moreno-Guerrero C; Henríquez-Bucheli A; Gómez-Gordillo A & Concellón A. 2010. Influencia de la radición UV-C como tratamiento postcosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. Asociación Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, S.C.México; Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha, vol. 11, núm. 1, p. 18-27.

Artes F, Allende A. 2005. Processing lines and alternative preservation techniques to prolong the shelf-life of minimally fresh processed leafy vegetables. Eur. J. Hort. Sci. 70:231-245.

Artés-Hernández F; Aguayo E; Gómez P & Artés F. 2009. Productos vegetales mínimamente procesados o de la “cuarta Gama”. Horticultura Internacional: Postcosecha. N° 69. p 52-57.

Ashkenazi S, Cleary TG. 1997. *Campylobacter*. In Behrman RE, Kliegman RM, Arvin AM Eds. Tratado de Pediatría. 15 ed La Habana, Cuba: Ciencias Médicas; V.II: p.100-157.

Aucott J. 1997. *Giardia lamblia*. In Behrman RE, Kliegman RM, Arvin AM, editores. Tratado de Pediatría. 15 ed. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas; 1997, V.II,p.1221-23.

Baka M, Mercier J, Corcuff F, Castaigne F, Arul J. 1999. Photo- chemical treatment to improve storability of fresh strawberries. J. Food Sci. 68:1068-1072.

Barka E A, Kalantari S, Makhoul J, Arul J. 2000b. Impact of UV-C irradiation on the cell wall-degrading enzymes during ripening of tomato (*Lycopersicon esculentum* L) fruit. J. Agric. Food Chem.48:667-671.

Behrsing, J., Winkler, S., Franz, P. y Premier, R. 2000. Efficacy of chlorine for inactivation of *Escherichia coli* on vegetables. Postharvest Biology and Technology, 19: 187–192.

Bello, J.; López de Cerain, A. (2001). *Fundamentos de Ciencia Toxicológica*. Ed. Díaz de Santos. S.A. Madrid, España. 122p.

Beltrán, D., Selma, M.V., Tudela, J.A. y Gil, M.I. 2005. Effect of different sanitizers on microbial and sensory quality of fresh-cut potato strips stored under modified atmosphere or vacuum packaging. Postharvest Biology and Technology, 37, 37–46.

Ben-Yehoshua, S. 2003. Effects of postharvest heat and UV applications on decay, chilling injury and resistance against pathogens of citrus and other fruits and vegetables. *Acta Hort.* (ISHS) 599:159-173.

Ben-Yehoshua S, Rodov V, Kim J, Carmeli S. 1992. Preformed and induced antifungal materials of citrus fruits in relation to the enhancement of decay resistance by heat and ultraviolet treatments. *J. Agric. Food Chem.* 40:1217-1221.

Beuchat LR. 1998. Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review. World Health Organization, Food Safety Unit WHO/FSF/FOS/98.2. <http://www.who.int/fsf/fos982~1.pdf>

Block, S.S. 1991. Peroxygen compounds. En: Block SS (ed). *Disinfection, Sterilization and Preservation*. 4th ed Lea and Febiger. Philadelphia. p167-181.

Bonomo Robert A, Salata Robert A. Amebiasis. En Behrman R.E, Kliegman R.M, Arvin A.M. *Tratado de Pediatría*. 15 ed. Ciencias Médicas;1997,V.II.p.1214-16.

Brown JE. 1995. Nutrition now. *In The Multiple dimensions of food safety*. Edit. West Publishing Company. p 32-46.

Caballero Torres A, Lengomín Fernández M E. 1988. Causas más frecuentes de problemas sanitarios en alimentos. *Rev Cubana Aliment Nutr*;12(10):20-2.

Caballero Torres AE. 2008. *Temas de higiene de los alimentos*. Editorial Ciencias médicas, La Habana, Cuba. 382p.

Calabrese EJ, Baldwin LA. 2002. Defining hormesis. *Human Exp.Toxicol.* 21:91-97.

CFR. 2000. Code of Federal Regulations. Secondary Direct Food Additives Permitted in Food for Human Consumption: Acidified sodium chlorite solutions. Disponible en: [http://a257.g.akamaitech.net/7/257/2422/14mar20010800/edocket.access.gpo.gov/cfr\\_2003/aprqr/pdf/21cfr173.325.pdf](http://a257.g.akamaitech.net/7/257/2422/14mar20010800/edocket.access.gpo.gov/cfr_2003/aprqr/pdf/21cfr173.325.pdf).

Chauhan OP; Raju PS; Ravi N; Singh A; Bawa AS. 2011. Effectiveness of ozone in combination with controlled atmosphere on quality characteristics including lignification of carrot sticks. *Journal of Food Engineering*, 102: 43–48.

Choi L. H., Nielsen, S. S. 2005. The effects of thermal and nonthermal processing methods on apple cider quality and consumer acceptability. *Journal of Food Quality*, 28: 13–29.

Cleary T.G, Ashkenazi S. 1997. Infecciones por Salmonella. *In* Behrman RE, Kliegman RM, Arvin AM editores. Tratado de Pediatría, 15 ed. La Habana: Ciencias Médicas, 1997, V.II. p.984-989.

Committee on Environmental Health, American Academy of Pediatrics. 1999. Environmental Health. Handbook of Pediatrics, A.C.P. USA. p.215-222.

Cordero Valdivia D, Aguilar Liendo AM. 1993. Diarrea y mortalidad hospitalaria. Revista de la Sociedad Boliviana de Pediatría 1993;32 (1):3-8.

Dalmau Juanola D, Garau Alemany X, Moreno Camacho A., Gatell Artigas JM. 2000. Gastroenteritis infecciosa. *In*. Farreras, Rozman editores. Tratado de Medicina Interna, 14 ed.: Madrid, España Harcourt, S.A. 2000, [ISBN V.I:84-8174-3585], [www.harcourt.es](http://www.harcourt.es).

De Campos, M. (1991). Condiciones que favorecen el crecimiento de hongos y la producción de micotoxinas. Taller Conjunto FAO/OPS sobre prevención y control de micotoxinas en América Latina y el Caribe. FAO/OPS Roma. p. 114-126.

D'Hallewin G, Schirra M, Pala M, Ben-Yehoshua S. 2000. Ultraviolet C irradiation at 0.5 kJ m<sup>-2</sup> reduces decay without causing damage or affecting postharvest quality of Star Ruby grapefruit (*C. paradise* Macf.). J. Agric. Food Chem. 48: 4571-4575.

Domínguez. L, Parzanese. M, (2006). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Luz ultravioleta en la conservación de alimentos, *In* Revista Alimentos Argentinos, ficha 2, p 71 – 76.

Dorransoro I, Sarasqueta R, Perfecto B, Gonzalez AI. 1996. Epidemiology of gastroenteritis by *Salmonella* (1983-1994). Enferm Infecc Microbiol Clin 1996; 14(10):604-607

Dychdala, G.R. 1991. Chlorine and chlorine compounds *In*: Block SS (ed). Disinfection, Sterilization and Preservation, 4th ed. Lea and Febiger. Philadelphia. p131-151.

Effler P, leong Mc, Kimura A, Nakata M, Burr R, Cremer E, Slutsker L. Sporadic *Campylobacter jejuni* infections in Hawaii: associations with prior antibiotic use and commercially prepared chicken. J Infect Dis 2001;183(7):115255.

Erkan MC & Wang, DT Krizek. 2001. UV-C irradiation reduces microbial populations and deterioration in *Cucurbita pepo* fruit tissue. Env. Exp. Bot. 45:1-9.

Eyda Otero Fernández-Trevejo. 2008. Micotoxinas en alimentos *In* temas de higiene de los

alimentos, editorial Ciencias Médicas, La Habana, Cuba. p. 100 – 115.

Fallik E; Grinberg S; Gambourg, M; Klein JD; Lurie, S. 1996. Prestorage heat treatment reduces pathogenicity of *Penicillium expansum* in apple fruit Plant Pathology 45(1): 92-97.

FAO, Organización de Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 2000. Capacitación de los vendedores callejeros de alimentos. Guía didáctica. Santiago de Chile, Italia, Roma.

FAO (2002); Sistemas de calidad e inocuidad de los alimentos: Manual de capacitación sobre higiene de los alimentos y sobre el sistema de Análisis de Peligros y de Puntos Críticos de Control (APPCC), Publicado en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación y el Ministerio de Sanidad y Consumo de España, Italia, Roma. 232p.

Fasano A. 2000. Bacterial Infections. *In*. Eds. Walker AW, Durie PR, Hamilton JR, Walker-Smith JA, Watkins J. Pediatric Gastrointestinal Disease: BC Decker Inc, Ontario, Canadá.

FDA. 2001. Methods to Reduce/Eliminate Pathogens from Fresh and Fresh-Cut Produce En: Analysis and Evaluation of Preventive Control Measures for the Control and Reduction/Elimination of Microbial Hazards on Fresh and Fresh-Cut Produce <http://www.cfsan.fda.gov/~comm/ift3-5.html>

FDA, U.S. Department of Health and Human Services. 1998. Directivas para la industria: Guía para reducir al mínimo el riesgo microbiano en los alimentos, para frutas y hortalizas frescas, USA. 50p.

Fernández Nuñez F. Giardiasis En. Llop Hernández A, Valdés-Dapena Vivanco MM, Zuazo Silva JL, editores. 2001. Tratado de Microbiología y Parasitología Médica. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas, 2001;V.III.p.31-37.

Flanagan T. 1997. *Criptosporidiosis* infecciones por coccidios. *In* Behrman RE, Kliegman RM, Arvin AM, editores. Tratado de Pediatría. 15 ed. La Habana: Ciencias Médicas; 1997, V.II.p.1219-21.

Foegeding, P.M. y Busta, F.F. 1991. Chemical food preservatives. En Block SS (ed). Disinfection, Sterilization and Preservation. Lea and Febiger. Philadelphia. p 802-832.

Fonseca JM, Rushing JW. 2006. Effect of ultraviolet-C light on quality of fresh-cut watermelon. Postharv. Biol. Technol. 40:256-261.



Fonte Galindo L. 2001. Ameba. *In*. Llop Hernández A, Valdés-Dapena Vivanco MM, Zuazo Silva JL, editores. Tratado de Microbiología y Parasitología Médica. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas, 2001;V.III: p31-37.

Fonte Galindo L. 2001. *Cryptosporidium*. *In*. Llop Hernández A, Valdés-Dapena Vivanco M M, Zuazo Silva JL, editores. Tratado de Microbiología y Parasitología Médica. La Habana: Ciencias Médicas; 2001, V.III:p.177-189.

García-Osuna JA; Morales-Loredo A, Álvarez-Ojeda G. Secretaria de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA); Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP). 2007. Manual de Buenas Prácticas de Manejo y Procedimientos de Operación Estándar de Sanitización (POES) en empaques de mango para exportación adecuado a las condiciones de Nayarit. Publicación técnica no 1, México. 137p.

García Y, Fragoso T, Valdés-Dapena M, Sagaró E, Gorrín N. 1995. Estudio de la microflora intestinal en niños con diarrea aguda y persistente. *Rev Gastroint Perú* 1995; 15:35-41.

Garmendia G & Vero S. 2006. Métodos de desinfección de frutas y hortalizas. Facultad de Química, Cátedra de microbiología. 17p.

Guerrero-Beltrán, J.A. Barbosa-Cánovas, G.V. 2004 Review: Advantages and Limitations on Processing Foods by UV Light. *In* Food Science Technology International. EUA, p 52-90.

Guerrero-Beltrán JA & Barbosa-Cánovas GV. 2004. Ventajas y Limitaciones del Procesamiento de Alimentos con Luz Ultravioleta *In* Food Science Technology International. USA, Mundo Alimentario. p 10-16.

Gil, MI; Periago, PM & Beltran D. 2003. Uso del ozono en la higienización de frutas y hortalizas *In* Horticultura: Tecnología de poscosecha n° 169. P 44-48.

Gómez Henry F, Cleary Thomas G. 1997. *Shigella*. *In* Behrman R.E, Kliegman R.M, Arvin A.M. Tratado de Pediatría. 15 ed. La Habana: Ciencias Médicas, 1997; V.II.p.992-995.

González-Aguilar GA, Wang CY, Buta GJ, Krizek DT. 2001. Use of UV-C irradiation to prevent decay and maintain postharvest quality of ripe 'Tommy Atkins' mangoes. *Internatl. J. Food Sci. Technol.* 36:767-773.

González-Aguilar GA, Villegas-Ochoa MA, Cuamea-Navarro J; Ayala-Zavala F. 2006. Efecto de la irradiación UV-C sobre la calidad de mango fresco cortado. *In: I Simposio Ibero-Americano de Vegetales Frescos Cortados*. G A González-Aguilar y F Cuamea-Navarro (eds). p: 59-64.

González-Aguilar GA, Zavaleta-Gatica R, Tiznado-Hernández ME. 2007b. UV-C Irradiation activates the defense response in mango 'Haden' fruit. *Postharv. Biol. Technol.* 45:108-116.

González-Barrio R, Salmenkallio-Marttila M, Tomas-Barberan FA, Cantos E, Espín JC. 2005. Etiology of UV-C-induced browning in var. Superior white table grapes. *J. Agric. Food Chem.* 53:5990-5996.

González, R.J., Luo, Y., Ruiz-Cruz, S. y Mcevoy, J.L. 2004. Efficacy of sanitizers to inactivate *Escherichia coli* O157:H7 on fresh-cut carrot shredded under imulated process water conditions. *J Food Prot.*, 67: 2375–2380.

Grennan B, Sullivan NA, Fallon R, Carroll C, Smith T, Glennon M, Maher M. 2001. PCR-ELISAs for the detection of *Campylobacter jejuni* and *Campylobacter Coli* in poultry samples. *Biotechniques, USA*. 2001; 30(3):602-606.

Grillo Rodríguez M, Lengomín, Fernández ME, Caballero Torres A, Castro Domínguez A, Hernández Álvarez AM. 1996. Análisis de las enfermedades transmitidas por lo alimentos en Cuba. *Rev Cubana Aliment Nutr* 10(2):100-104.

Herrera Monteache A, Conchello Moreno P. 1999. La cadena alimentaria como riesgo para la Salud Pública. Contaminación y alteración alimentaria. *In Hernández Rodríguez M, Sastre Gallego A. Tratado de Nutrición*. Madrid: Díaz de Santos, p 504-541.

Inatsu, Y., Bari, M.L., Kawasaki, S., Isshiki, K. y Kawamoto, S. 2005. Efficacy of acidified sodium chlorite treatments in reducing *Escherichia coli* O157:H7 on chinese cabbage. *J Food Prot.*, 68: 251–255.

Kim J.G.; Yousef A.E.; Chism G.W. 1999. Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. *Journal Food Safety* 19(1):17-34.

Lamikanra O, Kueneman D, Ukuku D, Bett-Garber KL. 2005. Effect of processing under ultraviolet light on the shelf life of fresh-cut cantaloupe melon. *J. Food Sci.* 70:534-61539.

Lehner A, Schneck C, Feierl G, Pless P, Deutz A, Brandl E, 2000. Epidemiologic application of pulsed-field gel electrophoresis to an outbreak of *Campylobacter jejuni* in an Austrian youth centre. *Epidemiol Infect* 2000; 125(1):13-6.

Leverentz, B.; Conway, W.S.; Janisiewicz, W.J.; Saftner, R.A.; Camp, M.J. 2003. Effect of combining MCP treatment, heat treatment and biocontrol on the reduction of postharvest decay of 'Golden Delicious' apples postharvest biology and technology. *Postharvest Biology and technology*. 27(3): 221-233

Leyva Castillo V, Cisneros Despaigne E, Valdés Amey E, Nolasco Charón T, Pérez Rodríguez O. 1998. Aislamiento de Salmonellas atípicas en camarones congelados. *Habana, Cuba: Rev Cubana Aliment Nutr* 1998; 12(1):11-15.

Liao, C.H.; Sapers, G.M. 2000. Attachment and growth of *Salmonella* Chester on apple fruits and in vivo response of attached bacteria to sanitizer treatments. *Journal of Food Protection*. 63(7):876-883.

Liu J, Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Adeyeye O, Kabwe MK, Pusey PL, Chalutz E, Sultana T, Droby S. 1993. Application of ultraviolet-C light on storage rots and ripening of tomatoes. *J. Food Protect.* 56:868-872.

Lillard H.S. 1979. Levels of chlorine and chlorine dioxide of equivalent bactericidal effect in poultry processing water. *Journal of Food Science* 44:1594-1597.

López D, Sagaró E, Valdés-Dapena MM, Fragoso T. 1995. Agentes infecciosos en la diarrea aguda y persistente. Tesis. La Habana, Cuba: HPU "JMM".

López FR, Montero M, Díaz J, Gran M A. 1997. Factores de riesgo de giardiasis en niños de 0 a 6 años. *Rev Cubana Medicina General Integral* 1997 13(3). Disponible VRL:<http://bvs.sld.cu/revistas/mgi/vol13-3-97/mgi04397.htm>

Lu JY, Stevens C, Khan VA, Kabwe M, Wilson CL. 1991. The effect of ultraviolet irradiation on shelf-life and ripening of peaches and apples. *J. Food Qual.* 14:299-305.

Maharaj R, Arul J, Nadeau P. 1999. Effect of photochemical treatment in the preservation of fresh tomato (*Lycopersicon esculentum* cv 'Capello') by delaying senescence. *Postharv. Biol. Technol.* 15:13-23.

Marquenie D, C W Michiels, A H Geeraerd, A Schenk, C Soontjens, J F Van Impe, B M Nikolai (2002) Using survival analysis to investigate the effect of UV-C and heat treatment on storage rot of strawberry and sweet cherry. *Internatl. J. Food Microbiol.* 73:187-196.

Marriott N.G. 1999. En Principles of Food Sanitation. 4th ed. Gaithersburg (MD): Aspen. p 147-149.

Mau JL, Chen PR, Yang JH. 1998. Ultraviolet irradiation increased vitamin D2 content in edible mushrooms. J. Agric. Food Chem. 46:5269-5272.

Mencías, E.; Mayero, LM. (2000). Manual de Toxicología básica. Ed. Díaz de Santos. Madrid. Otero E. (2004). Micotoxinas en Nutrición. Editorial MINSAP. La Habana, Cuba, Pirr.

Mendoza HR. 1998. Tendencias en la investigación de la enfermedad diarreica aguda. Archivos Gastroenterol Rep Dom 1998; 6(1-3):21-29.

Mercier J, J Arul, R Ponnampalam, M Boulet (1993a) Induction of 6- methoxymellein and resistance to storage pathogens in carrot slices by UV-C. J. Phytopathol. 137:44-54.

Mercier J, Arul J, Julien C. 1993b. Effect of UV-C on phytoalexin accumulation and resistance to *Botrytis cinerea* in stored carrots. J. Phytopathol. 139:17-35.

Merianos, J.J. 1991. Quaternary ammonium antimicrobial compounds. En: Block SS (ed). Disinfection, Sterilization and Preservation. Lea and Febiger. Philadelphia. p 225-255.

Michel P, Wilson JB, Martin SW, Clarke RC, McEwen SA, Gyles CL. 1998. A descriptive study of verocytotoxigenic *Escherichia Coli* (VTEC) cases reported in Ontario, Canadá, 1990-1994. Can J Public Health 1998; 89(4):253-7.

Ministerio de Salud Pública. 2001. Anuario Nacional de Estadística del MINSAP: Morbilidad de enfermedad diarreica aguda en CUBA. La Habana, Cuba: MINSAP. 180p.

Ministerio de Salud Pública. 2001. Guía para el establecimiento del Sistema de Vigilancia de Enfermedades Transmitidas por Alimentos (VETA) y el estudio de las enfermedades transmitidas por los alimentos. La Habana, Cuba:OPS/OMS. 120p.

Nascimento, MS.; Catanozi, MP.; Silva, K.C. 2003. Effects of different disinfection treatments on natural microbiota of lettuce. Journal of Food Protection. 66: 1697-1700.

Nigro F, Ippolito A, Lima G. 1998. Use of UV-C light to reduce *Botrytis* rot of table grapes. Postharv. Biol. Technol. 13:171-181.

Olsen SJ, Hanser GR, Bartlett L, Fitzgerald C, Sonder A, Marjrekar R, 2001. An outbreak of *Campylobacter jejuni* infections associated with food handler contamination. *Journal Infections Diseases* 2001;183(1):164-167.

Ombui JN, Kagiko MM, Arimi SM. Food diseases in Kenya. *East Afr Med J* 2001;78(1):40-44.

Organización Mundial de la Salud (OMS). 2007. Manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos, Francia, 30p.

Organización Mundial de la Salud (OMS), Departamento de Inocuidad de los Alimentos, Zoonosis y Enfermedades de Transmisión Alimentaria. 2007. Manual sobre las cinco claves para la inocuidad de los alimentos, Francia, 32p.

Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud. (OPS/OMS).1995. Enfermedades Diarreicas. Prevención y Tratamiento. Washington (DC). USA. 168p.

Organización Panamericana de la Salud, Organización Mundial de la Salud (OPS/OMS). 1996. Guía para el establecimiento de Sistemas de Vigilancia Epidemiológica de Enfermedades transmitidas por alimentos (VETA) y la investigación de brotes de toxi-infecciones alimentarias. Washington (DC), USA.

Organización Panamericana de la Salud (OPS). 1997. Manual para el control de las enfermedades transmisibles. 16 ed., Washington DC: OPS; (Publicación. Científica; 564).

Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. 1994. Lineamientos para el control de epidemias por *Shigella dysenteriae* 1. Control de enfermedades diarreicas. CDD/Ser/88.12;1994; p1-17.

Organización Panamericana de la Salud (OPS), 1992. Guía para la planificación de actividades de alimentación y nutrición en programas de emergencia. Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá INCAP, Guatemala 192.

Otero E., Arias JA., Arauce J., Sersa R. (2004). Validación de método para determinar fumonisina B1 por HPLC empleando fluorescencia como agente derivatizante. *Alimentaria* (356): 33-6.

Pao, S; Davis, CL. 1999. Enhancing microbiological safety of fresh orange juice by fruit immersion in hot water and chemical sanitizers. *Journal Food Protection* 62: 756- 760.

Parish, ME.; Beuchat, LR.; Suslow, TV.; Harris, L.J.; Garrett, E.H.; Farber, J.N.; Busta, F.F. Methods to reduce/eliminate pathogens from fresh and fresh-cut produce. Chapter V. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety.

Parzanese. M, (2006). Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca. Tecnologías para la industria alimentaria: Ozono en alimentos, *In* Revista Alimentos Argentinos, ficha 4, 14 p.

Perch M, Sodemann M, Jakobsen MS, Valentiner-Bronth P, Steinsland H, Fisher TK, Lopes DD, Aahy P, Molbak K. 2001. Seven years of experience with *Cryptosporidium parvum* in Guinea- Bissau, West Africa. Ann Tropical Pediatría 200; 21(4):313-318.

Plaza, P; Usall, J; Torres, R; Lamarca, N; Viñas, I. 2003. Control of green and blue mould by curing oranges during ambient and cold storage. Post-Harvest Biology and Technology. 28: 195-98.

Ramírez Álvarez M, Bravo Fariña L, Hernández Llop A, Cabrera Ortega R, García Rodríguez B, Fernández Abreu A. 1999. Caracterización de un brote de *Shigella boydii* 14 por primera vez en Cuba. Rev Cubana Hig Epidemiol 1999; 37(2):90-93.

Ritenour MA; Sargent S.A; Bartz JA & Lon Kan EE. 2007. Uso de cloro en las líneas de empaque de productos cosechados frescos. Departamento de Horticultural Ciencias, Servicio de Extensión Cooperativa de la Florida, Instituto de Alimentos y Ciencias Agrícolas, Universidad de la Florida. (UF/IUFAS). USA. 6p.

Rivera-Pastrana DM; Gardea AA; Martínez MA, Rivera, M; González GA. 2007. Efectos bioquímicos postcosecha de la irradiación UV-C en frutas y hortalizas. Revista. Fitotecnia Mexicana Vol. 30 (4): 361 – 372.

Riverón Corteguera RL. 1992. Cólera, Shigellosis, Rotavirus. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas/ MINSAP. 80p.

Riveron Corteguera RL. 1992. Etiología Infecciosa de las Enfermedades diarreicas agudas. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas/ MINSAP. 90p.

Riverón Corteguera R.L, Mena Miranda VR, González Fernández MA. 2000. La Morbilidad y mortalidad por enfermedades infecciosas intestinales.1980-1999.Rev Cub Ped 2000; 72(2):72-80.

Rodgers, SL; Cash, NJ; Siddiq, M; Ryser, ET. 2004. A comparison of different chemical sanitizers for inactivating *Escherichia coli* O157:H7 y *Listeria monocytogenes* in solution

and in apple, lettuce, strawberries and cantaloupe. Journal of Food Protection. 67(4):721-731.

Rodríguez-Salinas Pérez E, Aragón Pena AJ, Allue Tango M, Lopaz Pérez MA, Jiménez Maldonado M, Domínguez Rodríguez MJ. 2000. Outbreak of *Cryptosporidium* In Guadarrama (Autonomous Community of Madrid). Rev Esp Salud Pública 2000; 74(5-6):527-536.

Roll R, Matthiaschk G, Korte A. (1990). Embryotoxicity and mutagenicity of mycotoxins. J Environ Pathol Toxicol Oncol 10(1-2):1-7.

Ryalls JA, Neuenschwander UH, Willits MG, Molina A, Steiner HY, Hunt MD. 1996. Systemic acquired resistance. Plant Cell 8:1809-1819.

Sagaró E, Rivera L, Fragoso T, Gorrín N, Valdés-Dapena M, Alonso A. 1995. Factores de riesgo para la Diarrea Persistente. Rev Gastroent Perú 1995; 15: 231-238.

Shama G, Alderson P. 2005. UV hormesis in fruits: a concept ripe for commercialization. Trends Food Sci. Technol. 16:128-136.

Shama G. 2007. Process challenges in applying low doses of ultraviolet light to fresh produce for eliciting beneficial hormetic responses. Postharv. Biol. Technol. 44:1-8.

Sampathkumar, B.; Khachatourians, G.G.; Korber, D.R. 2003. High pH during trisodium phosphate treatment causes membrane damage and destruction of *Salmonella enterica* Seroovar *Enteritidis*. Applied and Environmental Microbiology. 69(1):122-129.

Sapers, G.M. 2001. Efficacy of washing and sanitizing methods. Food Technology and Biotechnology. 39, 305-311.

Sarig, P.; Zahvi, T.; Zutkhi, Y.; Yannai, S.; Lisker, N.; Ben-Arie, R. 1996. Ozone for control of postharvest decay of table grapes caused by *Rhizopus stolonifer*. Physiol. Molecular Plant Pathology. 48, 403-415.

Satcher D. 2000. Food safety: a growing global health problem. JAMA 283:1817-21.

Secretaría de Salud. 1999. Manual de aplicación del análisis de riesgos, identificación y control de puntos críticos en la industria de agua purificada. Subsecretaría de Regulación y Fomento Sanitario, Dirección General de Calidad Sanitaria de Bienes y Servicios. México, D.F.

Silvestre, A.A. (1995). *Toxicología de los Alimentos*. En: Micotoxinas, Graciela Vaamonde. p. 153-192.

Schirra, M.; D'hallewin, G.; Ben-Yehoshua, S.; Fallik, E. 2000. Host-pathogen interaction modulated by heat treatment. *Postharvest Biology and Technology*. 21: 71 - 85.

Singh, N.; Singh R.K.; Bhunia, A.K. Stroshine, R.L. 2002. Efficacy of chlorine dioxide, ozone and thyme essential oil or a sequential washing in killing *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce and baby carrots. *Lebensmittel-Wissenschaft & Technologie*.35, 720-729.

Singh, N., Singh, R.K., Bhunia, A.K. and Stroshine, R.L. (2002) Effect of inoculation and washing methods on the efficacy of different sanitizers against *Escherichia coli* O157:H7 on lettuce. *Food Microbiol* 19, 183–193.

Smilanick, J.L; Crisosto, C; Mlikota. F. 1999. Postharvest use of ozone on fresh fruit. *Perishables Handling Quarterly Issue*. 99: 10-14

Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Pusey PL, Igwegbe ECK. 1997. Integration of ultraviolet (UV-C) light with yeast treatment for control of postharvest storage rots of fruits and vegetables. *Biol. Control* 10:98-103.

Stevens C, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Pusey PL, Kabwe MK. 1998a. The germicidal and hormetic effects of UV-C light on reducing brown rot disease and yeast microflora of peaches. *Crop Protect.* 17:75-84.

Stevens C, Liu J, Khan VA, Lu JY, Wilson CL, Igwegbe ECK, Kabwe MK, Chalutz E, Droby S. 1998b. Application of hormetic UV-C for delayed ripening and reduction of *Rhizopus* soft rot in tomatoes: the effect of tomatine on storage rot development. *J. Phytopathol.* 146:211-221.

Strange RR. Jr. y Eckert JW. 1994. Influence of post-harvest handling and surfactants on control of green mould of lemons by curing. *Phytopathology*. 84: 612-616.

Studahl A, Andersson Y. 2000. Risk factors for indigenous *Campylobacter* infection: a Swedish case- control study. *Epidemiol Infect* 2000; 125(2):269-275.

Suthienkul O, Siripanichgon K, Promachot P, Echevarría P, Lexomboon U, Rakue Y. 1999. Bacterial contamination of bottle milk in infants under 6 months in Children's Hospital, Bangkok, Thailand. *Southeast. Asian J Trop Med Public Health* 1999; 30(4):770-775.

Solórzano Santos F, Penagos Paniagua M, Meneses Esquivel R, Miranda Novales MG, Leanos Miranda B, Angulo González D, Fajardo Gutiérrez A. 2000. *Cryptosporidium*



*parvum* infection in malnourished and non-malnourished children without diarrhea in a Mexican rural population. Rev Invest Clin 2000; 52(6):625-31.

Thorns CJ. 2000. Bacterial. Food-borne zoonoses. Rev Sci Tech 2000; 19(1):226-239.

Torres ME, Pérez MC, Schelotto F, Varela G, Parodi V, Allende F. 2001. Etiology of children's diarrhea in Montevideo, Uruguay: associated pathogens and unusual isolates. J Clin Microbiol 2001; 39(6):2134-9.

Torriani, S.; Orsi, C.; Vescovo, M. 1997. Potential of *Lactobacillus casei*, culture permeate, and lactic acid to control microorganisms in ready-to-use vegetables. Journal Food Protection 60:1564-1567.

Ukuku, D.O. 2004. Effect of hydrogen peroxide treatment on microbial quality and appearance of whole and fresh-cut melons contaminated with *Salmonella* spp. International Journal Food Microbiology. 95(2):137-146.

Valdés-Dapena MM, Rodríguez O, Cevallos E, Pérez J, Pérez N, González C. 1992. Pesquisa de *E. coli* enterohemorrágica como causa de diarrea en niños. Rev Soc Bol Ped 1992; 31(2):34-36.

Váldez-Dapena MM. *Campylobacter, Helicobacter* y microorganismos afines. 2001. In: Llop A, Valdés-Dapena MM, Zuazo JL editores. Tratado de Microbiología y Parasitología Médica. Ciencias Médicas; 2001, V.I.p.345-354.

Váldez-Dapena M.M. Plesiomona y Aeromonas. 2001. In: Llop Hernández A, Valdés-Dapena Vivanco MM, Zuazo Silva JL editores. Tratado de Microbiología y Parasitología Médica. La Habana: Ciencias Médicas; 2001, V.1.p.341-344.

Valdés-Dapena Vivanco MM, Rodríguez Castillo O, Gorrín Castellanos N, Jorrín Guides M. 1992. Etiología bacteriana de la enfermedad diarreica aguda. Rev Soc Bol Ped 1992; 31(3):63-67.

Valdés-Dapena Vivanco MM. 2001. Enterobacterias. In: Llop A, Valdés-Dapena MM, Zuazo JL editores. Tratado de Microbiología y Parasitología Médica. La Habana, Cuba: Ciencias Médicas; 2001, V.I.p.252-80.

Vergara Castiblanco C, Santos Núñez S, Freire Santos F, Ares Masas. 2000. *E. Cryptosporidiosis* In the Andean region of Colombia: seroprevalence and recognition of antigens. Rev Panam Salud Public 2000; 8(6):373-9.

VISAVET, Centro de Vigilancia Sanitaria Veterinaria. 2006. Higienización de frutas y hortalizas crudas: hacia un consumo seguro y saludable, Madrid, España. Disponible en [www.madrimasd.org/alimentación/2006/11/27/52762](http://www.madrimasd.org/alimentación/2006/11/27/52762).

Wang Y., King J.M., Xu Z., Losso J., Prudente A. 2008. Lutein from ozone-treated corn retains antimutagenic properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* (56):7942–7949.

Warlow GM, Insel PM, Seller MF. 1994. Contemporary Nutrition. Issues and insights *In* Food Safety. Edit. Mosley year Book. p 540-548.

Winsor DK, Cleary TG. 1997. *Escherichia Coli, Aeromonas y Plesiomonas*. *In* Behrman RE, Kliegman RM, Arvin AM. Tratado de Pediatría. 15 ed. La Habana: Ciencias Médicas; 1997, V.II.p.995-1002.

Winniczuk, P.P. 1994. Effects of sanitizing compounds on the microflora of orange fruit surfaces and orange juice [M.S.]. Gainesville (FL): Univ of Florida Graduate School.

Winqvist AG, Roome A, Mshar R, FlorentinoT, Msher P, Hadler J. 2001. Outbreak of campylobacteriosis. *J Am Geriatric Soc* 2001; 49(43):304-7.

Wright, J.R.; Sumner, S.S.; Hackney, C.R.; Pierson, M.D.; Zoecklein, B.W. 2000. Reduction of *Escherichia coli* O157:H7 on apples using wash and chemical sanitizer treatments. *Dairy Food Environment Sanitization* 20:120-126.

Wu, F.M.; Doyle, M.P.; Beuchat, L.R.; Wells, J.G.; Mintz, E.D.; Swaminathan, B. 2000. Fate of *Shigella sonnei* on parsley and methods of disinfection. *Journal Food Protection* 63: 568-72.

Wu FM, Doyle MP, Beuchat LR. 2000. Fate of *Shigella sonnei* on parsley and methods of disinfection. *J Food Prot* 2000; 63(5):68-72.

Wurgler FE, Friederich U, Schlatter J. (1991).Lack of mutagenicity of ochratoxin A and B, citrinin, patulin and cneine in *Salmonella typhimurium* TA102. *Mutat Res* 261(3):209-216.

Xu-Liangji. 2008. Uso de Ozono para Mejorar la Seguridad de Frutas y Vegetales Frescos in Mundo alimentario: Tecnología. p 7-13.

Yaun BR, Sumner SS, Eifert JD, Marcy JE. 2004. Inhibition of pathogens on fresh produce by ultraviolet energy. *International Journal*.

Zhang, J.; Swingle, PP. 2005. Effects of curing on green mold and stem-end rot of citrus fruit and its potential application under Florida packing system. *Plant Disease*.89 (8):834-840.

Zhang, S. y Farber, J.M. 1996.The effects of various disinfectants against *Listeria monocytogenes* on fresh-cut vegetables. *Food Microbiology* 13:311-21.