

Eficacia de métodos de desinfección y los efectos sobre las propiedades nutraceuticas en cilantro y fresa

Irma Salgado-Escobar¹
Guillermina Hernández-Rodríguez²
Yael del Carmen Suárez-López¹
Mijaíl Jesús Mancera-Ugarte¹
Diana Guerra-Ramírez^{2§}

¹Escuela de Ingeniería y Ciencias-Departamento de Ciencias-Campus Ciudad de México-Tecnológico de Monterrey. Calle del puente 222, Ejidos de Huipulco, Tlalpan, Ciudad de México, México. CP. 14380. Tel. 55 28997038. (isalgado@tec.mx; mijail.macera@gmail.com; yaeldesuarez@gmail.com). ²Departamento de Preparatoria Agrícola-Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Estado de México, México. CP. 56230. Tel. 595 9521500, ext. 5760. (h.guille26@gmail.com).

§Autor para correspondencia: (guerrard@correo.chapingo.mx).

Resumen

Las condiciones de cultivo y el manejo poscosecha del cilantro y las fresas, propician su contaminación microbiana. Existen diversos procedimientos para desinfectar estos productos, sin embargo, es necesario establecer ventajas y desventajas de su aplicación. Los objetivos de este trabajo fueron comparar la eficacia de algunos tratamientos de desinfección para reducir la carga bacteriana en cilantro y fresa y evaluar las propiedades antioxidantes de dichos alimentos, antes y después de la desinfección. Los tratamientos de desinfección comparados fueron: ozono generado en un aparato electrodoméstico a un flujo de $6.25 \times 10^{-5} \text{ mol min}^{-1}$ y ozono obtenido en laboratorio mediante una reacción electrolítica a un flujo de $7.75 \times 10^{-7} \text{ mol min}^{-1}$. Asimismo, se utilizaron desinfectantes comerciales a base de dióxido de cloro, plata coloidal y dos productos obtenidos de extractos cítricos, uno aplicado después de un lavado con detergente (extracto estandarizado de semillas cítricas y glicerina) y el otro utilizado directamente (extracto de semillas cítricas a base de ácidos láctico y ascórbico). Posterior a los tratamientos de desinfección se llevó a cabo el conteo de unidad formadora de colonia y se determinaron los pigmentos característicos de los productos desinfectados, el contenido fenólico total y la capacidad antioxidante por el ensayo FRAP. Los resultados demostraron que el extracto estandarizado de semillas cítricas y glicerina resultó ser más efectivo ($p < 0.05$) para desinfectar tanto fresas como cilantro, al disminuir en 97 y 99.9% las unidades formadoras de colonias, respectivamente; sin embargo, redujo la concentración de antocianinas en fresas y la capacidad antioxidante en el cilantro.

Palabras clave: desinfectantes comerciales, extractos cítricos, seguridad alimentaria.

Recibido: enero de 2020

Aceptado: marzo de 2020

Introducción

Las fresas y el cilantro son cultivos que crecen a pocos centímetros del suelo y pueden contaminarse con microorganismos a lo largo de su ciclo vegetativo, o ser inoculados durante el manejo previo y posterior a la cosecha (Wang *et al.*, 2004; Gil *et al.*, 2010). Las enfermedades gastrointestinales son una de las primeras causas de consulta médica y de muerte en México y en el mundo, por lo tanto, es apremiante asegurar la calidad e inocuidad de frutas y verduras, eliminando al máximo los microorganismos patógenos que puedan afectar la salud del consumidor.

Por otro lado, los desinfectantes comerciales generalmente son agentes oxidantes que podrían afectar las propiedades nutraceuticas de frutas y verduras, las cuales están relacionadas con el contenido de compuestos fenólicos, carotenoides, vitamina c y aceites esenciales (Rastkari *et al.*, 2015). En los últimos años se ha demostrado que las frutas y verduras contienen sustancias antioxidantes como vitaminas C y E, β -caroteno, licopeno, luteína, flavonoides y antocianinas (Murcia *et al.*, 2001). Dichos compuestos bioactivos reducen los factores de riesgo asociados a enfermedades cardiovasculares, cáncer, diabetes y obesidad (OMS, 2002). México se ubica dentro de los diez principales países productores de frutas y hortalizas, entre las que se encuentran la fresa y el cilantro (Demirsoy y Serçe, 2016; Hojilla-Evangelista y Evangelista, 2017).

El cilantro es utilizado en diferentes platillos por su aroma único, alto contenido de clorofila y vitamina A (Laribi *et al.*, 2015). Por otro lado, la fresa se consume por sus atributos de sabor, color, alto contenido de antocianinas y vitamina C (Da Silva Pinto *et al.*, 2008). A la fecha, se han llevado a cabo diversas investigaciones para estudiar la eficacia de algunos desinfectantes en la reducción de carga microbiana en frutas y verduras frescas, previamente inoculadas con microorganismos (Karaca y Velioglu, 2007). Sin embargo, no se han estudiado las ventajas y desventajas de los desinfectantes comerciales más comunes para disminuirla, tampoco el efecto de dichos productos sobre sus propiedades antioxidantes.

Los objetivos de este trabajo fueron comparar la eficacia de algunos tratamientos de desinfección para reducir la carga bacteriana en cilantro y fresa, así como evaluar su efecto sobre las propiedades antioxidantes de dichos productos después del tratamiento de desinfección.

Materiales y métodos

Reactivos químicos

Los reactivos Folin-Ciocalteu, ácido gálico (GA), carbonato de sodio anhidro, ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcromano-2-carboxílico (Trolox), 2,4,6-tri(2-piridil)-s-triazina (TPTZ), ácido acético glacial, acetato de sodio trihidratado, ácido clorhídrico y cloruro férrico hexahidratado fueron adquiridos de Sigma Aldrich. El agar bacteriológico y el caldo nutritivo fueron adquiridos de Dibico y Bioxon, respectivamente.

Material vegetal

Las fresas y el cilantro fueron adquiridos en un mercado local de la Ciudad de México. En el caso de las fresas se eliminaron pedúnculo y cáliz. Los productos fueron lavados con agua potable para remover el lodo y se colocaron sobre toallas de papel para su secado. El procedimiento de

desinfección, para el caso de los productos comerciales, se hizo siguiendo las instrucciones especificadas en la etiqueta. Antes de aplicar los tratamientos de desinfección, los productos se cortaron en cuadros (fresas) y tiras (cilantro) de 1 cm utilizando un cuchillo de acero inoxidable desinfectado. Este procedimiento se hizo por triplicado.

Desinfectantes comerciales y ozono

Los productos comerciales aplicados para desinfectar las fresas y el cilantro, con excepción del ozono generado por electrólisis en el laboratorio (OEL), fueron comprados en un centro comercial.

Tratamientos de desinfección y conteo de unidades formadoras de colonias (UFC)

Las fresas (70 g) y el cilantro (5 g) previamente cortados fueron sometidos a los tratamientos de desinfección descritos en el Cuadro 1. Los desinfectantes comerciales se aplicaron de acuerdo con las instrucciones del fabricante. El conteo de microorganismos aeróbicos totales se hizo de acuerdo al método de Luksiene y Paskeviciute (2011) con modificaciones, las muestras desinfectadas fueron tratadas con 200 mL de una disolución salina fisiológica estéril al 0.9% y se dejaron reposar durante 10 min. Transcurrido dicho tiempo, una alícuota (600 μ L) de la disolución salina, en la cual estaban sumergidas las fresas, fue transferida a una caja Petri.

Cuadro 1. Tratamientos de desinfección aplicados a fresas y cilantro¹.

Tratamiento	Contenido	Forma de aplicación
OED	Flujo de ozono a 6.25×10^{-5} mol min^{-1} ²	Burbujeo de ozono en agua durante tres minutos
OEL	Flujo de ozono 7.75×10^{-7} mol min^{-1} ³	Burbujeo de ozono en agua durante tres minutos
DC	Dióxido de cloro al 10%	Se sumergió en una disolución acuosa con 5 gotas L^{-1} de DC al 10% (20 min) y luego se escurrió
PC	Plata coloidal al 0.35%	Sumergido en una disolución acuosa con 8 gotas de PC al 0.35 % L^{-1} (10 min), escurrir
EC	Extracto de semillas cítricas con base de ácidos láctico y ascórbico	Rociado con el desinfectante y espera de 10 minutos
ECD	Extracto estandarizado de semillas cítricas y glicerina	Lavado previo con agua y detergente líquido, rocío con el desinfectante y espera de 10 min

¹= fresas y cilantro se enjuagaron previamente a los tratamientos de desinfección; ²= generado con un equipo electrodoméstico 'Biozon 2000'; ³= obtenido en el laboratorio mediante la reacción electrolítica.

Asimismo, después de hacer diluciones seriadas, se midió una alícuota (100 μ L) de la disolución salina que estaba en contacto con el cilantro, y se inoculó en otra caja Petri. La temperatura de incubación en las placas fue de 37 °C durante 48 h y los resultados fueron reportados en UFC mL^{-1} . De acuerdo a la norma oficial mexicana nom-092-ssa1-1994 se hicieron diluciones para obtener un conteo en el intervalo de 25-250 colonias. Cada tratamiento de desinfección se hizo por triplicado.

Evaluación de las propiedades antioxidantes

Preparación de extractos

Las muestras de fresa y cilantro previamente desinfectadas fueron extraídas de acuerdo con el método de (Hernández-Rodríguez *et al.*, 2016). Primero se mezclaron con metanol al 80% en una relación 1/10 (p/v), ajustando el pH a 3 con HCl al 10%. La extracción se llevó a cabo por agitación en vórtex (5 min a 3 000 rpm), sonicación (15 min) y agitación en incubadora (30 min a 30 °C). Finalmente, la mezcla fue centrifugada (1 277 g, 15 min), los sobrenadantes fueron recuperados y aforados a 10 mL con metanol al 80%. Los extractos se almacenaron protegidos de la luz y en refrigeración para su análisis posterior. Cada muestra se procesó por triplicado.

Contenido de fenoles totales

El contenido de fenoles totales fue determinado por el método de Folin-Ciocalteu (Singleton y Rossi, 1965) adaptado a microplacas. En cada pozo de una microplaca se colocaron 25 μL de la muestra a analizar, 125 μL de agua destilada, 20 μL del reactivo de Folin-Ciocalteu (diluido 1:10 con agua destilada) y 30 μL de Na_2CO_3 al 20%. La mezcla fue agitada y se dejó reaccionar durante 30 min en ausencia de luz; la absorbancia frente al blanco fue medida a 765 nm en un multidetector de microplacas Synergy 2, equipado con el software de análisis de datos Gen5 (Biotek Instruments Inc., Winoosky, VT, USA).

Los resultados fueron expresados como miligramos equivalentes de ácido gálico por gramo de muestra en base fresca ($\text{mg EAG g}_{\text{bf}}^{-1}$); la curva de calibración del ácido gálico se preparó en un intervalo de concentraciones de 0.001-0.01 mg mL^{-1} .

Capacidad antioxidante

La capacidad antioxidante de los extractos de la fresa y el cilantro se determinó por el ensayo FRAP descrito por Benzie y Strain (1996), adaptado a microplacas. Primero fueron preparadas las siguientes disoluciones: buffer pH 3.6 (4.624 g de $\text{C}_2\text{H}_3\text{NaO}_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ y 18.2 mL $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$), TPTZ 10 mM en HCl 40 mM y disolución $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 mM. La disolución FRAP fue preparada al momento de su uso, mezclando la disolución buffer pH 3.6, TPTZ 10 mM y $\text{FeCl}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ 20 mM en proporciones 10:1:1 (v/v), respectivamente.

En una microplaca de 96 pozos se colocaron 20 μL de extracto, 60 μL de agua destilada y 200 μL de disolución FRAP, como blanco se colocaron 260 μL de FRAP. Después de 10 min se midió la absorbancia a 600 nm. Los resultados se expresaron como micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base fresca ($\mu\text{mol ET g}_{\text{bf}}^{-1}$). El intervalo de la curva de calibración de Trolox fue de 3.84 - 46.10 μM .

Contenido de antocianinas totales

La cuantificación de antocianinas en las fresas se llevó a cabo por el método de diferencia de pH descrito por Lee *et al.* (2015), adaptado a microplacas. Se prepararon dos muestras por separado: 1 mL de extracto de fresa se mezcló con 1 mL de buffer pH= 1, por otro lado, la misma cantidad

del extracto se mezcló con 1 mL de buffer pH= 4.5. Ambas mezclas se agitaron durante 3 min en un vórtex a 1 000 rpm. Posteriormente, se colocaron 100 μ L de cada una de las mezclas en una microplaca de 96 pozos y se midieron las absorbancias a 513 y 700 nm. La concentración de antocianinas totales se expresó como miligramos de cianidina 3-glucósido por gramo de muestra en base fresca ($\text{mg C}_{\text{yd-3-glu}} \text{g}^{-1}_{\text{bf}}$), de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$\text{Antocianinas totales (mg g}_{\text{bf}}^{-1}) = \frac{(A_{513 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH} 4.5} - (A_{513 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH} 1.0}}{(\epsilon \cdot 0.38)} \cdot \text{PM} \cdot \text{FD} \cdot 10^3$$

Donde: A = $(A_{513 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH} 1.0} - (A_{513 \text{ nm}} - A_{700 \text{ nm}})_{\text{pH} 4.5}$; PM= 449.2 $\text{g} \cdot \text{mol}^{-1}$ es el peso molecular de la cianidina 3-glucósido; FD= factor de dilución de las muestras; $\epsilon = 26\,900 \text{ mol}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ (coeficiente de extinción molar de cianidina 3-glucosido) y 0.38 es la longitud de trayectoria o factor de corrección por uso de microplacas.

Contenido de clorofilas totales

El contenido de clorofila se determinó de acuerdo con Lichtenthaler (1987). Primero, el cilantro se mezcló con metanol al 90% en una relación 1:20 (p/v). Después, la extracción se llevó a cabo por agitación en vórtex (10 min a 3 000 rpm), sonicación (15 min) y centrifugación (10 min, 1 300 g). Posteriormente, los sobrenadantes fueron recuperados y aforados a 10 mL con el disolvente empleado para la extracción. Finalmente, se midieron las absorbancias a 665 y 652 nm en el lector de microplacas. La determinación se hizo por triplicado. La concentración de clorofila total fue expresada en miligramos por cada 100 g de muestra fresca ($\text{mg } 100 \text{ g}_{\text{bf}}^{-1}$) y se calculó de acuerdo con la siguiente ecuación.

$$C_{\text{total}} = \frac{(0.28A_{665} + 27.64A_{652}) \times V}{m} \times 100$$

Donde: A= es la absorbancia a 665 y 652 nm; V= es el volumen en litros de metanol al 90% y m= es la masa en gramos de la muestra en base fresca.

Análisis estadístico

Los experimentos se condujeron de acuerdo a un diseño completamente al azar con los tratamientos y las repeticiones descritos previamente. Se aplicó un análisis de varianza y comparación de medias de tratamientos (Tukey, $p < 0.05$) mediante el paquete estadístico SAS (versión 9.4).

Resultados y discusión

La forma más frecuente para desinfectar alimentos es sumergiéndolos en una solución que contiene un desinfectante (Rastkari *et al.*, 2015; Nascimento *et al.*, 2003). Recientemente, los desinfectantes se aplican también por aspersion (Chang y Schneider, 2012). Los productos más utilizados para reducir la carga microbiana de frutas y verduras están formulados a partir de compuestos clorados y ácidos orgánicos, aunque también se utiliza ozono generado in situ (Martinelli *et al.*, 2017; Chen y Hung, 2018; Gómez-Aldapa *et al.*, 2018).

En el Cuadro 2 se muestran los resultados de los distintos tratamientos de desinfección. Como se observa, el tratamiento ECD resultó ser más efectivo ($p < 0.05$) tanto en fresas como en cilantro al disminuir 97 y 99.9% las UFC, respectivamente. El porcentaje de efectividad de cada tratamiento con respecto al control se calculó con la siguiente fórmula.

$$\% \text{ de efectividad} = 100 - \frac{\text{células sobrevivientes UFC mL}^{-1}}{\text{cuenta viable inicial}}$$

Cuadro 2. Unidades formadoras de colonias en fresa y cilantro después de aplicar diferentes tratamientos de desinfección.

Tratamiento	Fresa (UFC mL ⁻¹)	Efectividad respecto al control (%)	Cilantro (UFC mL ⁻¹)	Efectividad respecto al control (%)
Control	1351.25 a		63082.5 a	
OED	170 cde	87.42	6940 de	89
OEL	203.89 cd	84.91	7333.33 d	88.38
DC	135.83 de	89.95	3493.33 ef	94.46
PC	203.89 bc	84.91	2630 f	95.83
EC	262.08 b	80.6	13173.33 c	79.11
ECD	42.78 f	96.83	50.00 f	99.92

OED= ozono generado en un aparato electrodoméstico; OEL= ozono generado electrólisis en el laboratorio, desinfectantes comerciales con base de; DC= dióxido de cloro al 10%; PC= plata coloidal al 0.082%; EC= extracto cítrico con ácido láctico y ascórbico; ECD= extracto estandarizado de semillas cítricas y glicerina. Medias con letras iguales dentro de la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). Los datos son el promedio de tres repeticiones.

Las semillas cítricas y los ácidos ascórbico y láctico tienen efectos antimicrobianos (Tajkarimi y Ibrahim, 2011; Damián-Reyna *et al.*, 2017; Jung *et al.*, 2017). De acuerdo con la información proporcionada por el fabricante, el producto ECD contiene un extracto estandarizado de semilla de cítricos y glicerina; de manera general, entre los componentes encontrados en las semillas cítricas están los ácidos (2E)-hidroxicinámico, gálico, siríngico y rosmarínico entre otros (Moulehi *et al.*, 2012), cuya forma no ionizada predomina a pH ácido, atraviesan la membrana celular hasta llegar al citoplasma.

Debido a que el pH intracelular es cercano a la neutralidad, el ácido se disocia dentro de la célula microbiana inhibiendo reacciones enzimáticas y sistemas de transporte (Foegeding, 1991). El producto comercial ECD se aplica por aspersión y su efectividad puede explicarse por la acción surfactante de la glicerina (López *et al.*, 1998), que permite un mayor tiempo de contacto entre los agentes activos y los microorganismos. Otro aspecto que podría influir en la disminución de carga microbiana al aplicar el ECD, respecto al resto de los tratamientos utilizados, es la recomendación de un lavado previo con detergente líquido.

Los tratamientos ECD y EC tienen una formulación similar (extracto de semillas cítricas). Sin embargo, EC contiene además los ácidos ascórbico y láctico. En estudios previos se ha reportado el efecto sinérgico que ejercen los ácidos ascórbico y láctico, a una concentración de 0.2%, en la inhibición del crecimiento de *Escherichia coli* O157:H7 en jugo de zanahoria (Tajkarimi y Ibrahim,

2011). En este caso, EC resultó 18.57%, en promedio, menos eficiente que ECD para inhibir las UFC. Esto se podría explicar considerando la baja concentración de los ácidos orgánicos en el desinfectante y porque no se le aplica un lavado previo con detergente.

En 1998, la Administración de Medicamentos y Alimentos, por sus siglas en inglés, Food and Drug Administration (FDA), agencia federal del Departamento de Salud del gobierno de los Estados Unidos de América, permitió el uso del dióxido de cloro para desinfectar frutas y verduras. Sus ventajas con respecto al hipoclorito de sodio, ampliamente utilizado, son las siguientes: 1) es 2.5 veces más oxidante; 2) no reacciona con compuestos fenólicos y, por lo tanto, no produce clorofenoles con sabor y olor desagradables; y 3) cuando reacciona con la materia orgánica produce cloritos y cloratos, en lugar de compuestos tóxicos como los trihalometanos (Gómez-López *et al.*, 2009).

El tratamiento que contiene plata coloidal (PC) resultó ser estadísticamente ($p < 0.05$) igual a ECD para el caso del cilantro. El ion plata (Ag^+) podría generar radicales superóxidos capaces de oxidar los lípidos presentes en las membranas celulares de los microorganismos (Hwang *et al.*, 2008). Asimismo, los iones plata pueden causar daños a las células por diferentes mecanismos: 1) formación de enlaces con ADN y ARN generando pérdida de la función biológica; 2) reacción de los iones Ag^+ con los péptidos que contienen azufre, dentro y sobre la membrana celular, afectando su viabilidad; 3) desestabilización de la membrana celular de las proteínas e inhibición de varias enzimas intracelulares; y 4) una concentración elevada de iones Ag^+ afecta al citoplasma y ácidos nucleicos, mientras que a bajas concentraciones los iones Ag^+ tienden a impedir la permeabilidad de protones y fosfatos en la membrana (Sintubin *et al.*, 2011).

La desinfección de frutas y verduras con plata coloidal es de fácil aplicación y baja toxicidad (Zhao y Stevens, 1998), por esta razón el consumidor abusa en el uso de dicho desinfectante, lo que puede dar como resultado una acumulación de los iones plata en la superficie de las frutas y vegetales. Además, el agua que se utiliza en el proceso de desinfección se convierte en un residuo contaminante. Durante mucho tiempo, el ozono se ha utilizado para desinfectar agua, aunque en las últimas décadas algunas investigaciones se han dirigido hacia la posibilidad de aplicar ozono en diferentes campos de la industria alimentaria.

De acuerdo con la FDA, el ozono es una sustancia generalmente reconocida como segura, por sus siglas en inglés, Generally Recognized As Safe (GRAS) debido a que no genera residuos tóxicos cuando se utiliza para controlar el crecimiento de microorganismos durante el almacenamiento o procesamiento de los alimentos. A nivel industrial, el ozono se ha aplicado, tanto en forma gaseosa como en agua ozonizada (mediante lavado o inmersión), para desinfectar frutas y verduras (Öztekin *et al.*, 2006; Ibrahim *et al.*, 2012; Bermúdez-Aguirre y Barbosa-Cánovas, 2013; Chitravathi *et al.*, 2015).

Respecto a los tratamientos de desinfección con ozono, el flujo generado por el OEL ($7.75 \times 10^{-7} \text{ mol min}^{-1}$) fue 80 veces menor que el OED ($6.25 \times 10^{-5} \text{ mol min}^{-1}$), aunque no se observaron diferencias significativas en las UFC mL^{-1} . Por lo tanto, el flujo de ozono generado por la reacción electrolítica fue suficiente para disminuir la carga bacteriana. Por otro lado, al comparar los tratamientos OEL, OED, DC y PC para el caso de la fresa, tampoco se observaron diferencias significativas en las UFC mL^{-1} . Resultados similares fueron reportados por Singh (2002) al comparar la efectividad del ozono y el dióxido de cloro disuelto en agua para

disminuir la carga microbiana en lechuga y zanahoria baby; sin embargo, la desinfección con ozono es más recomendable debido a que el ozono residual se descompone espontáneamente a los 15 minutos de ser generado (Jin-Gab *et al.*, 1999).

Además, el agua empleada durante este tratamiento puede ser reutilizada después de aplicar una filtración, para eliminar los sólidos suspendidos. Esto es recomendable en lugares donde hay escasez de agua.

Contenido de polifenoles, antocianinas y clorofilas totales

El contenido de fenoles para fresas y cilantro sin tratamiento de desinfección fue de 0.92 ± 0.21 y 0.84 ± 0.04 mg EAG g^{-1}_{bf} , respectivamente. Después de aplicar los tratamientos de desinfección (OED, OEL, DC, PC, EC, ECD) no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) para dichos valores (Cuadro 3), lo cual concuerda con lo reportado por Beltrán *et al.* (2005); López-Gálvez *et al.* (2010) en lechuga y por Restuccia *et al.* (2014) en alcachofa. Respecto al contenido total de antocianinas en fresas, la mayoría de los tratamientos fueron estadísticamente iguales, excepto ECD, en el que se observó una disminución significativa (46%) respecto al control.

Esto podría explicarse por la degradación enzimática de las antocianinas o su transformación a compuestos fenólicos secundarios (Chitravathi *et al.*, 2015). La clorofila total cuantificada en el cilantro después de aplicar los tratamientos de desinfección se encontró en el intervalo de 38.27 ± 2.64 a 51.11 ± 4.04 mg $100 g^{-1}$ y no se observaron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al control (50.10 ± 5.98 mg $100 g^{-1}$). Esto concuerda con lo reportado por Wang *et al.* (2004) en cilantro desinfectado con ozono, agua ácida electrolizada, cloro y una combinación de ozono con agua ácida electrolizada y en acelga al utilizar cloro, peróxido de hidrógeno y ozono como desinfectantes (Karaca, 2016).

Cuadro 3. Fenoles totales (FT) y capacidad antioxidante total (FRAP), antocianinas y clorofila total en fresa y cilantro después de aplicar diferentes tratamientos de desinfección.

Tratamiento	Fresas			Cilantro		
	Fenoles mg EAG g^{-1}_{bf}	FRAP $\mu\text{mol Trolox } g^{-1}_{bf}$	Antocianinas mg Cyd-3-glu g^{-1}_{bf}	Fenoles mg EAG g^{-1}_{bf}	FRAP $\mu\text{mol Trolox } g^{-1}_{bf}$	Clorofila total mg $100 g^{-1}_{bf}$
Control	0.92 a	5.17 a	0.11 a	0.84 a	4.2 a	50.1 ab
OED	0.81 a	4.15 ab	0.085 ab	0.8 a	4.74 ab	51.11 ab
OEL	0.81 a	4.5 ab	0.095 ab	0.75 a	3.51 a	41.44 ab
DC	0.71 a	4.02 ab	0.083 ab	0.8 a	3.67 a	50.79 a
PC	0.74 a	4.14 ab	0.078 ab	0.84 a	4.07 ab	47.2 ab
EC	0.63 a	3.35 b	0.1 ab	0.87 a	3.86 ab	38.27 b
ECD	0.75 a	4.05 ab	0.059 b	0.69 a	2.96 b	50.79 ab

OED= ozono generado en un aparato electrodoméstico; OEL= ozono generado electrólisis en el laboratorio, desinfectantes comerciales con base de; DC= dióxido de cloro al 10%; PC= plata coloidal al 0.082%; EC= extracto cítrico con ácido láctico y ascórbico; ECD= extracto estandarizado de semillas cítricas y glicerina. Medias con letras iguales dentro de la misma columna no son estadísticamente diferentes (Tukey, $p < 0.05$). Los datos son el promedio de tres repeticiones.

Los tratamientos OED, OEL, DC y PC no mostraron diferencias significativas ($p < 0.05$) con respecto al control. Esto es contrario a lo descrito por Liu *et al.* (2016), quienes encontraron que para alargar la vida útil de manzanas, la aplicación de ozono acuoso disminuye la capacidad antioxidante durante los primeros días. En general, los tratamientos de desinfección aquí estudiados tienen una eficiencia aceptable para disminuir la carga bacteriana en fresa y cilantro y pueden utilizarse de acuerdo con su disponibilidad de ciertos lugares. Sin embargo, los extractos de semillas cítricas son muy accesibles y no generan residuos tóxicos. Por otro lado, los tratamientos EC y ECD afectan las propiedades nutraceuticas de fresas y cilantro, respectivamente.

Conclusiones

El tratamiento con el extracto estandarizado de semillas cítricas y glicerina (ECD) resultó ser más efectivo para desinfectar tanto fresas como cilantro, al disminuir 96.83 y 99.92% las unidades formadoras de colonias, respectivamente; sin embargo, la concentración de antocianinas en fresas se redujo 46% y la capacidad antioxidante en el cilantro en 30%, con respecto a las muestras sin desinfectar.

El tratamiento con plata coloidal (PC), también resultó ser útil para disminuir las UFC mL⁻¹ en cilantro 95.83%.

Literatura citada

- Beltrán, D.; Selma, M.; Marín, A. and Gil, M. 2005. Ozonated water extends the shelf life of fresh-cut lettuce. *J. Agr. Food Chem.* 53(14):5654-5663.
- Benzie, I. F. F. and Strain, J. J. 1996. The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Anal. Biochem.* 239(1):70-76.
- Bermúdez-Aguirre, D. and Barbosa-Cánovas, G. V. 2013. Disinfection of selected vegetables under nonthermal treatments: Chlorine, acid citric, ultraviolet light and ozone. *Food Control.* 29(1):82-90.
- Chang, A. S. and Schneider, K. R. 2012. Evaluation of overhead spray-applied sanitizers for the reduction of Salmonella on tomato surfaces. *J. Food Sci.* 77(1):65-69.
- Chen, X. and Hung, Y. C. 2018. Development of a chlorine dosing strategy for fresh produce washing process to maintain microbial food safety and minimize residual chlorine. *J. Food Sci.* 83(6):1701-1706.
- Chitravathi, K.; Chauhan, O. P; Raju, P. S. and Madhukar, N. 2015. Efficacy of aqueous ozone and chlorine in combination with passive modified atmosphere packaging on the postharvest shelf-life extension of green chillies (*C. annuum* L.). *Food Bio. Tech.* 8(6):1386-1392.
- Da Silva Pinto, M.; Lajolo, F. M. and Genovese, M. I. 2008. Bioactive compounds and quantification of total ellagic acid in strawberries (*Fragaria x ananassa* Duch.). *Food Chem.* 107(4):1629-1635.
- Damián-Reyna, A. A.; González-Hernández, J. C.; Maya-Yescas, R.; de Jesús Cortés-Penagos, C. and Del Carmen Chávez-Parga, M. 2017. Polyphenolic content and bactericidal effect of Mexican *Citrus limetta* and *Citrus reticulata*. *J. Food Sci. Tech.* 54(2):531-537.
- Demirsoy, L. and Serçe, S. 2016. Strawberry culture in Turkey. *Acta Hort.* 1139(82):479-486.
- Foegeding, P. M. and Busta, F. F. 1991. Chemical food preservatives. disinfection, sterilization and preservation. 4th (Ed.). Philadelphia, Lea and Febiger. 802-832 pp.

- Gil, A.; Morón de Salim, A. and Gaesrte, Y. 2010. Calidad microbiológica en frutas de conchas comestibles expendidas en mercados populares de los municipios Valencia y San Diego, estado Carabobo, Venezuela. *Revista de la Sociedad Venezolana de Microbiología*. 30(1):24-28.
- Gómez-Aldapa; C. A., Portillo-Torres; L. A., Villagómez-Ibarra J. R.; Rangel-Vargas, E.; Téllez-Jurado, A.; Cruz-Gálvez, A. M. and Castro-Rosas, J. 2018. Survival of foodborne bacteria on strawberries and antibacterial activities of *Hibiscus sabdariffa* extracts and chemical sanitizers on strawberries. *J. Food Safety*. 38(1):e12378.
- Gómez-López, V. M.; Rajkovic, A.; Ragaert, P.; Smigic, N. and Devlieghere, F. 2009. Chlorine dioxide for minimally processed produce preservation: a review. *Trends Food Sci. Tech.* 20(1):17-26.
- Hernández-Rodríguez, G.; Espinosa-Solares, T.; Hernández-Eugenio, G.; Villa-García, M.; Reyes-Trejo, B. and Guerra-Ramírez, D. 2016. Influence of polar solutions on the extraction of phenolic compounds from capulín fruits (*P. serotina*). *J. Mex. Chem. Soci.* 60(2):73-78.
- Hojilla-Evangelista, M. P. and Evangelista, R. L. 2017. Effects of steam distillation and screw-pressing on extraction, composition and functional properties of protein in dehulled coriander (*Coriandrum sativum* L.). *J. Am. Oil Chem. Soc.* 94(2):315-324.
- Hwang, E. T.; Lee, J.; Ju Chae, Y.; Seok Kim, Y.; Kim, B. C.; Sang, B.-I. and Gu, M. 2008. Analysis of the toxic mode of action of silver nanoparticles using stress-specific bioluminescent bacteria. *Small*. 4(6):746-750.
- Ibrahim, S. A.; Mutamba, O. Z.; Yang, H.; Salameh, M. M.; Gyawali, R. and Seo, W. C. 2012. Use of ozone and chlorine dioxide to improve the microbiological quality of turnip greens. *Emirates J. Food Agr.* 24(3):185-190.
- Jin-Gab, K.; Yousef, A. E. and Chism, G. W. 1999. Use of ozone to inactivate microorganisms on lettuce. *J. Food Safety*. 19(1):17-34.
- Jung, S.; Soo Ko, B.; Jang, H.-J.; Jung Park, H. and Oh, S.-W. 2017. Effects of slightly acidic electrolyzed water ice and grapefruit seed extract ice on shelf life of brown sole (*Pleuronectes herzensteini*). *Food Sci. Biotech.* 27(1):261-267.
- Karaca, H. and Velioglu, Y. S. 2007. Ozone applications in fruit and vegetable processing. *Food Rev. Int.* 23(1):91-106.
- Karaca, H. 2016. Chlorophylls reductions in fresh-cut chard (*Beta vulgaris* var. cicla) with various sanitizing agents. *J. Agr. Sci.* 22(1):9-19.
- Laribi, B.; Kouki, K.; M'Hamdi, M. and Bettaieb, T. 2015. Coriander (*Coriandrum sativum* L.) and its bioactive constituents. *Fitoterapia*. 103:9-26.
- Lee, S. G.; Vance, T. M.; Nam, T. G.; Kim, D. O.; Koo, S. I. and Chun, O. K. 2015. Contribution of anthocyanin composition to total antioxidant capacity of berries. *Plant Foods Hum. Nutr.* 70(4):427-432.
- Lichtenthaler, H. K. 1987. Chlorophylls and carotenoids: pigments of photosynthetic biomembranes. *Methods in Enzymology*. 148(C):350-382.
- Liu, C.; Ma, T.; Hu, W.; Tian, M., and Sun, L. 2016. Effects of aqueous ozone treatments on microbial load reduction and shelf life extension of fresh-cut apple. *Int. J. Food Sci. Tech.* 51(5):1099-1109.
- López-Gálvez, F.; Gil, M. I.; Truchado, P.; Selma, M. V. and Allende, A. 2010. Cross-contamination of fresh-cut lettuce after a short-term exposure during pre-washing cannot be controlled after subsequent washing with chlorine dioxide or sodium hypochlorite. *Food Microbiol.* 27(2):199-204.

- López, T. R.; Camacho, R. V. and Gutiérrez, C. M. A. 1998. Aplicación de ácido salicílico para incrementar el rendimiento agronómico en tres variedades de trigo. *Terra Latinoam.* 16(1):43-48.
- Luksiene, Z. and Paskeviciute, E. 2011. Novel approach to the microbial decontamination of strawberries: chlorophyllin-based photosensitization. *J. Appl. Microbiol.* 110(5):1274-1283.
- Martinelli, M.; Giovannangeli, F.; Rotunno, S.; Trombetta, C. M. and Montomoli, E. 2017. Water and air ozone treatment as an alternative sanitizing technology. *J. Preventive Medicine Hygiene.* 58(1):48-52.
- Moulehi, I.; Bourgou, S.; Ourghemmi, I. and Tounsi, M. S. 2012. Variety and ripening impact on phenolic composition and antioxidant activity of mandarin (*Citrus reticulata* Blanco) and bitter orange (*Citrus aurantium* L.) seeds extracts. *Ind. Crops Prod.* 39(1):74-80.
- Murcia, M. A.; Jiménez, A. M. and Martínez-Tomé, M. 2001. Evaluation of the antioxidant properties of mediterranean and tropical fruits compared with common food additives. *J. Food Protect.* 64(12):2037-2046.
- OMS. 2002. Organización Mundial de la Salud Informe sobre la salud en el mundo: reducir los riesgos y promover una vida sana. Génova.
- Öztekin, S.; Zorlugenç, B. and Zorlugenç, F. K. I. 2006. Effects of ozone treatment on microflora of dried figs. *J. Food Eng.* 75(3):396-399.
- Rastkari, N.; Nasrin, F.; Alimohammadi, M.; Masud, Y. and Nasrin, S. 2015. The effects of washing practices and storage on antioxidant activity of some selected fruits. *Int. J. Pharm. Clin. Res.* 7(1):29-35.
- Restuccia, C.; Lombardo, S.; Pandino, G.; Licciardello, F.; Muratore, G. and Mauromicale, G. 2014. An innovative combined water ozonisation/O₃-atmosphere storage for preserving the overall quality of two globe artichoke cultivars. *Innovative Food Sci. Emerging Technol.* 21:82-89.
- Nascimento, M. S.; Silva, N.; Catanozi, M. P. L. M. and Silva, K. C. 2003. Effects of different disinfection treatments on the natural microbiota of lettuce. *J. Food Protect.* 66(9):1697-1700.
- Singh, N.; Singh, R. K.; Bhunia, A. K. and 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. *LWT Food Sci. Technol.* 35(8):720-729.
- Singleton, V. L. and Rossi, J. A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *Am. J. Enol. Viticult.* 16(3):144-158.
- Sintubin, L.; De Gussemé, B.; Van der Meeren, P.; Pycke, B. F. G.; Verstraete, W. and Boon, N. 2011. The antibacterial activity of biogenic silver and its mode of action. *Appl. Microbiol. Biot.* 91(1):153-162.
- Tajkarimi, M. and Ibrahim, S. A. 2011. Antimicrobial activity of ascorbic acid alone or in combination with lactic acid on *Escherichia coli* O157:H7 in laboratory medium and carrot juice. *Food Control.* 22(6):801-804.
- Wang, J.; Jiang, R. S. and Yu, Y. 2004. Relationship between dynamic resonance frequency and egg physical properties. *Food Res. Int.* 37(1):45-50.
- Zhao, G. and Stevens, S. E. 1998. Multiple parameters for the comprehensive evaluation of the susceptibility of *Escherichia coli* to the silver ion. *Biometals.* 11(1):27-32.