

## EFFECTIVIDAD DE SANITIZANTES EN LA REDUCCIÓN MICROBIANA Y CALIDAD DE ZANAHORIA FRESCA CORTADA

### SANITIZERS EFFECTIVENESS ON THE MICROBIAL REDUCTION AND QUALITY OF FRESH-CUT CARROT

Saúl Ruiz Cruz<sup>1</sup>, Evelia Acedo Félix<sup>2</sup>, Martha Díaz Cinco<sup>2</sup>, María A. Islas Osuna<sup>1</sup>  
y Gustavo A. González-Aguilar<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal y <sup>2</sup>Ciencias de los Alimentos, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carr. A la Victoria Km. 0.6. 83000, Hermosillo, Sonora, México. Tel/Fax: 01 (662) 280-0422, 01 (662) 289-2400. Ext 272.

\*Autor para correspondencia (gustavo@cascabel.ciad.mx)

#### RESUMEN

El cloro es el sanitizante más usado para mantener la calidad y seguridad de productos vegetales frescos cortados (VFC), pero su efectividad es afectada por la materia orgánica. Es necesario buscar sanitizantes que toleren las condiciones de procesamiento industrial sin que afecten la calidad de estos productos. En este estudio se comparó la eficacia del cloro (Cl 200  $\mu\text{L L}^{-1}$ ) con la del clorito de sodio acidificado (CSA, 100, 250 y 500  $\mu\text{L L}^{-1}$ ) y ácido peroxiacético (AP, 40 y 80  $\mu\text{L L}^{-1}$ ) para reducir la microflora deteriorativa y mantener la calidad de zanahorias (*Daucus carota* L.) frescas cortadas (ZFC), mediante simulación del procesamiento industrial en condiciones de laboratorio; las ZFC se lavaron por 1 min con CSA o 2 min con agua, Cl y AP, preparadas con agua de la llave (condiciones de laboratorio) y simulando condiciones de procesamiento industrial (agua con materia orgánica). Las muestras se centrifugaron, envasaron y almacenaron por 21 d a 5 °C. A intervalos de 7 d se tomaron muestras en la que se evaluó aceptabilidad general, firmeza y crecimiento microbiano (cuenta total aeróbica, coliformes totales, *E. coli*, hongos-levaduras y bacterias ácido lácticas). El lavado con CSA redujo en 1.5 a 2 log ufc  $\text{g}^{-1}$  la cuenta total, coliformes totales, hongos-levaduras y bacterias ácido lácticas, en ambas condiciones de procesamiento. La presencia de materia orgánica no afectó significativamente la efectividad de CSA y de AP, pero sí la del Cl. Estos resultados indican que CSA podría ser una alternativa al cloro en el lavado de ZFC, para retrasar el crecimiento microbiano y mantener la calidad del producto durante 18 d a 5 °C.

**Palabras clave:** *Daucus carota*, microorganismos, vegetales frescos cortados, sanitizantes.

#### SUMMARY

Chlorine (Cl) is the sanitizer most used to maintain the quality and safety of fresh-cut produce, but its effectiveness is affected by organic matter. It is necessary then to search for sanitizers that can tolerate commercial processing conditions without affecting the quality of these products. In this study, the effectiveness of chlorine (Cl 200  $\mu\text{L L}^{-1}$ ), acidified sodium chlorite (ASC, 100, 250 and 500  $\mu\text{L L}^{-1}$ )

and peroxiacetic acid (PA, 40 and 80  $\mu\text{L L}^{-1}$ ) were compared to reduce the microbial growth and quality retention of fresh-cut carrots (*Daucus carota* L.) (FCC) under laboratory conditions and simulated commercial processing conditions. Fresh-cut carrots were rinsed for 1 min with ASC or 2 min with water, Cl and PA. Samples were centrifuged, packaged and stored for up to 21 d at 5 °C. Every 7 d samples were withdrawn to evaluate their general acceptability, firmness and microbial growth (aerobic total counts, total coliforms, *E. coli*, molds-yeast and lactic acid bacteria). ASC application reduced the aerobic bacterial counts, coliform/*E.coli* counts, mold-yeast counts, and lactic acid bacterial populations by 1.5 to 2.0 log cfu  $\text{g}^{-1}$  of FCC under both processing conditions. The presence of organic matter significantly affected the effectiveness of chlorine, but not that of ASC and PA. These results indicate that ASC could be an alternative to chlorine in the FCC washing, to delay microbial growth and at the same time for maintaining the good quality of the product during 18 d at 5 °C.

**Index words:** *Daucus carota*, fresh-cut produce, microorganisms, sanitizers.

#### INTRODUCCIÓN

En las últimas décadas, el consumo de vegetales frescos cortados (VFC) se ha incrementado significativamente a nivel mundial (IFPA, 2004). En México, esta industria apenas está surgiendo y es seguro que el porcentaje tan bajo que representa hoy (0.6 %) del mercado total de frutas y hortalizas, se incremente notablemente en los próximos años. El éxito radicarán en el buen uso de las tecnologías que se han desarrollado para lograr presentaciones más atractivas en el mercado nacional y que a la vez garanticen la inocuidad de los productos (González-Aguilar *et al.*, 2004). Las ZFC generalmente se envasan en bolsas de polipropileno o en bandejas, según el tipo de corte. Sin embargo, al igual que el resto de hortalizas, sus ventas se ven

afectadas por su rápido deterioro durante el almacenamiento, causada principalmente por la pérdida de firmeza y cambios en color, la producción de malos olores y el crecimiento microbiano (Barry-Ryan *et al.*, 2000).

El cortado de zanahorias aumenta la superficie de producto, favorece la pérdida de electrolitos, la deshidratación de la superficie y el ataque por microorganismos. El lavado es un paso importante para reducir la carga orgánica y los microorganismos deteriorativos de la superficie del producto (Ahvenainen, 1996). Durante el lavado también puede ocurrir contaminación cruzada y recontaminación con microorganismos deteriorativos y patógenos, que afectan la calidad del producto y la salud del consumidor (Beuchat, 1998). Por lo anterior es necesaria la aplicación de sanitizantes efectivos que remuevan la mayor cantidad de microorganismos, no confieran sabor a las concentraciones utilizadas y aseguren la inocuidad del producto.

A pesar que el Cl es el sanitizante más utilizado para desinfectar vegetales enteros y cortados, a las concentraciones permitidas (0-200  $\mu\text{L L}^{-1}$ ), reducen tan sólo de 1-2 log de microorganismos (Beuchat, 1998). Además, su efectividad se ve reducida por la presencia de materia orgánica y puede reaccionar con residuos orgánicos que dan como resultado la formación de productos potencialmente cancerígenos que pueden afectar la salud del consumidor y del ambiente (Sapers, 2001). Por ello, se ha incrementado el interés de la búsqueda de nuevos sanitizantes como una alternativa a su uso.

La Agencia de Drogas y Alimentos (FDA) y la Agencia Protectora del Medio Ambiente (EPA) de EE. UU., han aprobado el uso de CSA para desinfectar algunos productos alimenticios, como frutas y hortalizas, a concentraciones de 500 a 1200  $\mu\text{L L}^{-1}$  (FDA, 2000a). Este producto se forma por la reacción de clorito de sodio ( $\text{NaClO}_2$ ) y ácido cítrico en proporciones iguales. González *et al.* (2004) reportaron que en ZFC inoculadas con *E. coli* O157:H7, el lavado con CSA 1200  $\mu\text{L L}^{-1}$  redujo 5.2 log la población de este patógeno, cuando fue comparada con zanahorias no lavadas y lavadas con agua (testigos), sin haber afectado la calidad del producto.

El ácido peroxiacético (AP) es otro de los sanitizantes que ha sido aprobado recientemente por la FDA en frutas y hortalizas, a concentración no mayor de 80  $\mu\text{L L}^{-1}$  en el agua de lavado (FDA, 2000b). Este ácido se forma por la reacción del ácido acético y el peróxido de hidrógeno. Park y Beuchat (1999) reportaron que en concentraciones de 40 y 80  $\mu\text{L L}^{-1}$  el AP reduce de 2.6 a 3.8 log la población de *Salmonella* y *E. coli* O157:H7 en melón (*Cucumis melo*) 'Cantaloupe' y 'Honeydew' inoculados, pero es menos efectivo en espárragos (*Asparagus officinalis*).

A pesar que estos sanitizantes (CSA y AP) poseen una alta capacidad antimicrobiana, se desconoce su efecto en la retención de la calidad de VFC. Asimismo, los estudios con sanitizantes son conducidos bajo condiciones de laboratorio y son pocos los trabajos que evalúan su efecto en condiciones reales de procesamiento, donde el agua de lavado es reutilizada y da como resultado una gran acumulación de materia orgánica, que puede llegar a afectar la eficacia de los sanitizantes. Debido a esta problemática y con el objetivo de generar información relevante y más cercana a la realidad del comportamiento de estos sanitizantes en la industria procesadora de alimentos, se evaluó la efectividad de Cl, CSA y AP en la reducción del crecimiento microbiano y retención de la calidad de ZFC, bajo condiciones de laboratorio y en condiciones simuladas de procesamiento industrial.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Materia prima

Se utilizaron zanahorias obtenidas de una comercializadora de frutas en Hermosillo, Sonora, México. Las zanahorias se seleccionaron por tamaño y libres de defectos físicos, se lavaron con agua, y se procesaron con una cortadora comercial de frutas y hortalizas (modelo 51 CUTO-MATO, Slice-o-Dice, Ohio, USA). Una vez cortadas se tomaron muestras para el análisis microbiológico y de calidad inicial.

### Preparación y aplicación de los sanitizantes

Las zanahorias se lavaron por 1 min con CSA (100, 250 y 500  $\mu\text{L L}^{-1}$  Sanova®, Alcide Corp., Redmond, WA) y por 2 min con AP (40 y 80  $\mu\text{L L}^{-1}$  Tsunami 100™, Ecoblab, St. Paul, MN), preparados de acuerdo con las recomendaciones del fabricante, y por 2 min con Cl (200  $\mu\text{L L}^{-1}$ , pH 6.5). Como testigos se incluyeron zanahorias lavadas con agua (AG) y no lavadas (NL). El contenido de materia orgánica en la solución de lavado de las zanahorias se llevó a un nivel conocido para simular las condiciones de procesamiento de una industria de VFC. El método "demanda química de oxígeno (COD)", se utiliza comúnmente para analizar las descargas de agua en la industria procesadora de alimentos y estimar la carga orgánica en el agua de lavado. El valor de COD que comúnmente maneja la industria procesadora de zanahorias es de 3500  $\text{mg L}^{-1}$ . Para obtener este nivel de COD, se sumergió repetidamente una masa conocida de ZFC en un volumen de agua (relación 1:5 p/v). Posteriormente, se construyó una curva estándar del contenido de masa (kg) vs. el nivel de COD ( $\text{mg L}^{-1}$ ). Finalmente, se tomó un COD promedio que reflejara el contenido de materia orgánica presente durante el

procesamiento industrial de VFC. El nivel de COD se determinó con el método descrito por González *et al.* (2004).

Una vez aplicados los tratamientos, las muestras se centrifugaron para eliminar el exceso de líquido en la superficie del producto, se envasaron en bolsas de polipropileno (18 x 22 cm) con 290 grados de transmisión al oxígeno mL d<sup>-1</sup> m<sup>-2</sup> O<sub>2</sub> (OTR) y se almacenaron a 5 °C por 21 d. En total se prepararon 15 bolsas por tratamiento que contenían 200 g de ZFC por bolsa. Inmediatamente después del lavado se tomaron muestras para el análisis inicial, y a intervalos de 7 d, se tomaron 5 bolsas por tratamiento en las que se evaluó la aceptabilidad general, la firmeza y los cambios de la población microbiana (cuenta total, coliformes totales, *E. coli*, hongos-levaduras y bacterias ácido lácticas). El experimento y los análisis de calidad y microbiológicos se repitieron dos veces.

### Aceptabilidad

La calidad de las zanahorias se evaluó subjetivamente de acuerdo con la escala descrita por Mercado-Silva *et al.* (1998). En la evaluación participó un grupo de cuatro panelistas entrenados. Es importante señalar que para llevar a cabo las evaluaciones, previamente se ajustaron los valores de la escala para ZFC. Se tomaron tres bolsas por tratamiento, a las cuales se les evaluó aceptabilidad general con una escala hedónica del 1-9, donde 9 = excelente (zanahoria fresca), 7 = buena, defecto ligero (muy bueno), 5 = mediana (límite de mercadeo, así como, fin de la vida útil del producto), 3 = pobre (límite de consumo), 1 = no consumible.

### Firmeza (N)

La firmeza se midió en 50 g de muestra colocados en un texturómetro Analyzer modelo TMS-2000, provisto con cuchillas de acero inoxidable de 2 mm de espesor y velocidad de 10 mm s<sup>-1</sup>. Se midió la fuerza requerida al corte en Newton para penetrar una distancia de 200 mm. Se realizaron nueve mediciones por tratamiento en cada muestreo.

### Evaluaciones microbiológicas

Las evaluaciones microbiológicas se realizaron de acuerdo con las normas oficiales mexicanas. Asépticamente se tomaron tres muestras de 25 g de ZFC y cada una se homogenizó por 1 min en 225 mL de buffer de fosfatos. El homogenizado se diluyó en buffer de fosfatos. Posteriormente, 1 mL de cada muestra por duplicado, con su respectiva dilución, se inoculó sobre los medios seleccionados (placas de agar). Para el recuento de mesófilos aerobios se

inoculó en placas con agar para cuenta total y se incubaron por 24-36 h a 35 °C (NOM-092-SSA1-1994). De igual forma, se inocularon placas con agar papa dextrosa acidificado con ácido tártrico y agar DeMan-Rogosa-Sharpe (MRS) y se incubó a 25 °C por 3-5 d y a 35 °C por 72 h, para hongos-levaduras (NOM-111-SSA1-1994) y bacterias ácido lácticas (Allende *et al.*, 2004), respectivamente. Los coliformes totales/*E. coli* se determinaron por la técnica del número más probable (NOM-112-SSA1-1994).

### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño en bloques completos al azar, donde los bloques fueron los días de muestreo y los factores los sanitizantes evaluados (agua, cloro, AP y CSA). Para el análisis estadístico se aplicó un análisis de varianza con el paquete estadístico NCSS Statistical Software, ver. 6.0. Los tratamientos que mostraron diferencias se sometieron a una comparación múltiple de medias mediante la prueba de Duncan ( $P \leq 0.05$ ).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Aceptabilidad

Las propiedades visuales, tal como apariencia de vegetales enteros y frescos cortados, son parámetros importantes que el consumidor toma en cuenta para evaluar su calidad y decidir la compra (Shewfelt, 1994). La aceptabilidad de zanahorias lavadas con CSA fue significativamente mayor comparada con los testigos, seguidas por las lavadas con Cl y AP 40 µL L<sup>-1</sup> (Figura 1). La aceptabilidad de las zanahorias NL y las tratadas con AP 80 µL L<sup>-1</sup> presentaron valores de 5 y 6, y una vida útil de 12 y 14 d a 5 °C. El límite de la vida útil de las ZFC se estableció en 5 d. Recientemente, Ruiz-Cruz *et al.* (2006) reportaron que la aceptabilidad de ZFC se correlaciona con los niveles más alto de CO<sub>2</sub> dentro de los envases, menor firmeza y una mayor pérdida de electrolitos.

La decoloración en la superficie del tejido (blanqueo de la superficie) fue la causa principal de la baja aceptabilidad, la cual es debida a la deshidratación del tejido, lo cual también pudo provocar un aumento en la firmeza causado por el endurecimiento y lignificación del tejido. Estudios previos han mostrado que éstos son los principales problemas que presenta la ZFC (Cisneros-Zevallos *et al.*, 1995; Gorny *et al.*, 2000). Sin embargo, zanahorias lavadas con el resto de los sanitizantes mantuvieron una aceptabilidad cercana a 7, superior al límite de mercadeo, después de 21 d a 5 °C. La apariencia de las ZFC testigos y lavadas con los sanitizantes, no se modificó significativamente ( $P \geq 0.05$ ) cuando se aplicaron en condiciones de laboratorio y en condiciones simuladas de procesamiento

industrial. Al parecer la presencia de materia orgánica afecta más la efectividad de los sanitizantes en la reducción de los microorganismos que a la calidad en general.

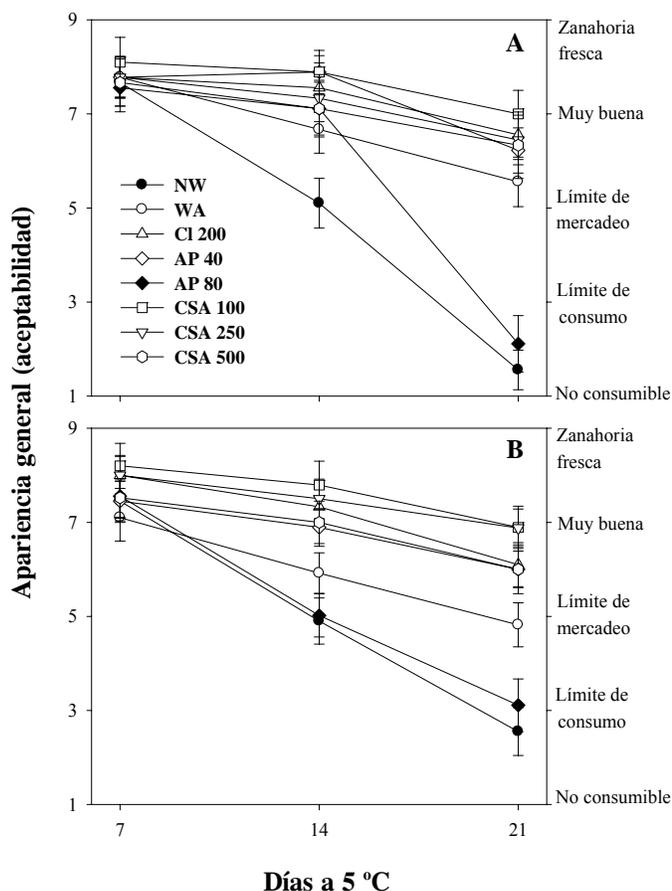


Figura 1. Aceptabilidad general de zanahorias frescas cortadas, lavadas con diferentes sanitizantes ( $\mu\text{L L}^{-1}$ ), envasadas en atmósferas modificadas y almacenadas hasta 21 d a 5 °C. (A) Condiciones de laboratorio, (B) Condiciones simuladas de procesamiento industrial. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

**Pérdida de firmeza**

En el presente estudio se utilizaron zanahorias con firmeza inicial de 3300 a 3500 N, similar a la firmeza de zanahorias de estudios previos (Figura 2). Se puede observar que estos valores incrementaron ligeramente en todos los tratamientos evaluados hasta 7 d y se mantuvieron estables sin diferencias significativas ( $P \geq 0.05$ ) hasta el final del almacenamiento, en las zanahorias lavadas con CSA, CI y AP. En contraste, en las ZFC NL y lavadas con AP 80  $\mu\text{L L}^{-1}$  se observó una rápida disminución en la firmeza, hasta alcanzar niveles de 2400 N. La disminución de la firmeza durante el almacenamiento probablemente se deba al daño celular que mostró el producto después del procesado y

periodo de almacenamiento y a la presencia de bacterias ácido lácticas (BAL). Estas bacterias son las que mayor impacto tienen en la calidad de ZFC.

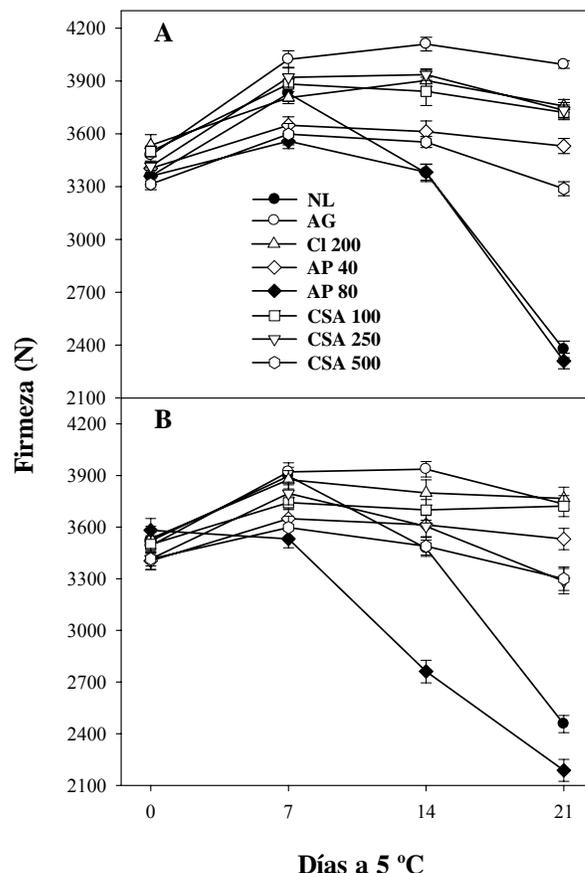


Figura 2. Cambios en firmeza de zanahorias frescas cortadas, lavadas con diferentes sanitizantes ( $\mu\text{L L}^{-1}$ ), envasadas en atmósferas modificadas y almacenadas 21 d a 5 °C. (A) Condiciones de laboratorio, (B) Condiciones simuladas de procesamiento industrial. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

El envasado ha mostrado un efecto similar al de los sanitizantes, donde los niveles altos de  $\text{CO}_2$  o bajos de  $\text{O}_2$  inhibieron el crecimiento microbiano; Barry-Ryan *et al.* (2000) y Klaiber *et al.* (2004) reportaron que una población de BAL mayor a 7 log afecta significativamente la calidad de ZFC. En respuesta al cortado, se activan diferentes mecanismos de defensa del metabolismo secundario, donde la fenilalanina amonio-liasa (PAL) es la enzima clave en la síntesis de sustancias de defensa (López-Gálvez *et al.*, 1996). Al parecer este aumento de PAL favorece la formación de ligninas como medida preventiva para proteger al tejido contra el ataque de microorganismos y la deshidratación. En el caso de ZFC es una respuesta común al estrés sufrido durante el proceso de cortado. Aquí no se

observaron cambios significativos ( $P \geq 0.05$ ) en la firmeza en las ZFC lavadas con CSA, CI y AP  $40 \mu\text{L L}^{-1}$  durante el almacenamiento, en ambas condiciones de proceso. Los menores cambios en firmeza observados en las ZFC lavadas con los diferentes sanitizantes pudieron deberse a una menor actividad de la enzima PAL, menor actividad microbiana y reducción del metabolismo del tejido, como se observó en otros estudios (Cisneros-Zevallos *et al.*, 1995; Barry-Ryan *et al.*, 2000; Klaiber *et al.*, 2004).

### Análisis microbiológicos

En los frutos enteros y cortados se ha encontrado una amplia variedad de microorganismos, como bacterias mesófilas aerobias, ácido lácticas, coliformes, hongos y levaduras (Heard, 2002). Zagory (1999) reportó que estos microorganismos se encuentran de manera generalizada en estos productos hortícolas, y su presencia se asocia con la pérdida de la calidad y la vida útil del producto. Por tanto,

un buen sanitizado es clave para mantener la población microbiana al mínimo y prolongar la vida útil del producto.

En ZFC la población inicial de bacterias aerobias (cuenta total) y coliformes totales fue de  $4.28$  y  $2.06 \log \text{ufc g}^{-1}$ , respectivamente (Figura 3), mientras que para hongos-levaduras fue de  $3.48 \log \text{ufc g}^{-1}$  y de bacterias ácido lácticas (BAL) de  $3.13 \log \text{ufc g}^{-1}$  (Figura 4). Los valores iniciales encontrados en este producto coinciden con los reportados por Sinigaglia *et al.* (1999) y González *et al.* (2004). En pruebas confirmatorias no se registró presencia de coliformes fecales (*E. coli*) en ZFC (testigos y lavadas con los diferentes sanitizantes). De acuerdo con las normas de la Unión Europea, los valores iniciales de bacterias aerobias y coliformes totales aquí observados, están dentro de los límites de tolerancia permitidos para productos VFC, en el día de producción ( $4.7 \log \text{ufc g}^{-1}$  para bacterias aerobias y  $2 \log \text{ufc g}^{-1}$  para coliformes totales (Legnani y Leoni, 2004; Erturk y Picha, 2005).

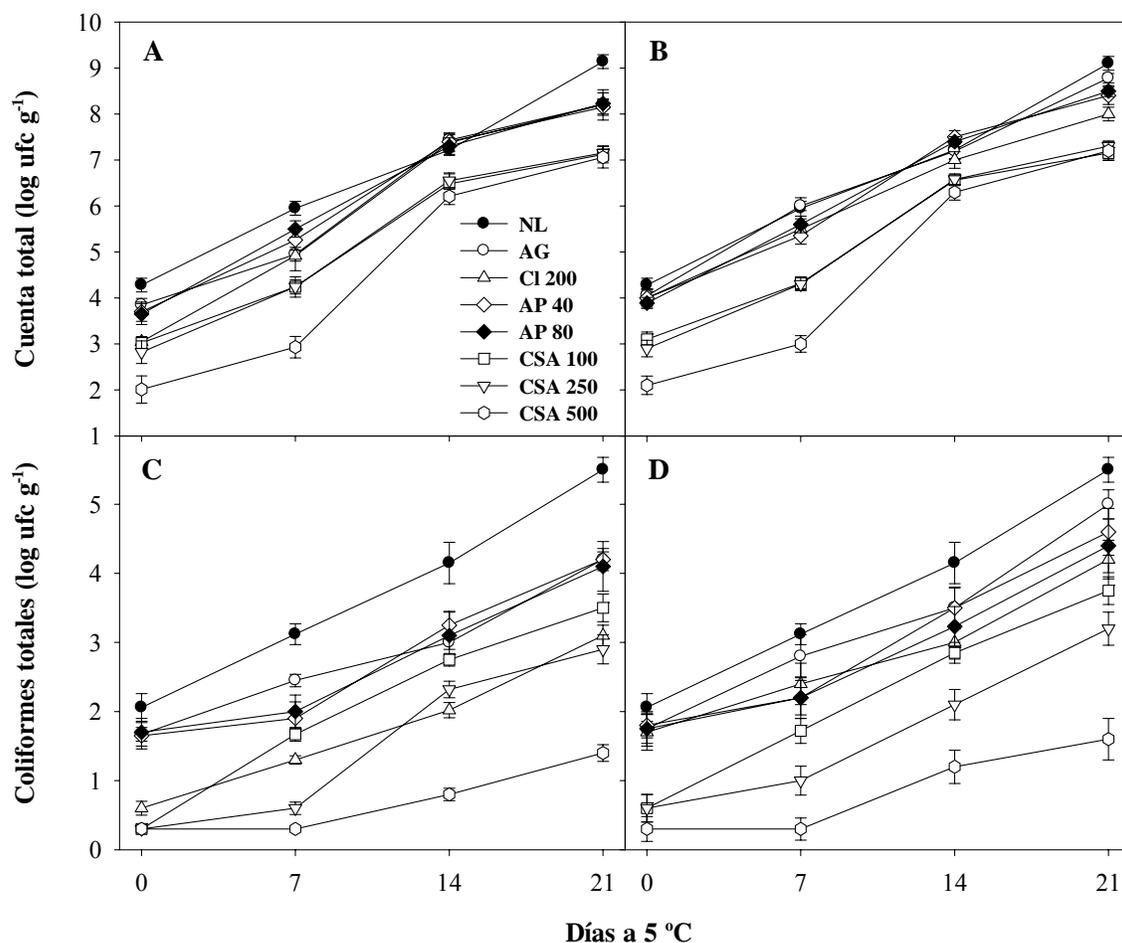


Figura 3. Efecto del lavado con diferentes sanitizantes ( $\mu\text{L L}^{-1}$ ) en la reducción de la cuenta total aeróbica (A, B) y coliformes totales (C, D) en zanahorias frescas cortadas, envasadas en atmósferas modificadas y almacenadas hasta 21 días a  $5 \text{ }^\circ\text{C}$ . (A, C) Condiciones de laboratorio, (B, D) Condiciones simuladas de procesamiento industrial. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

El lavado con AG redujo la cuenta total aeróbica por 0.43 log ufc g<sup>-1</sup>, seguido del lavado con AP 40 y 80 µL L<sup>-1</sup> que presentaron reducción de 0.58 y 0.63 log ufc g<sup>-1</sup>, respectivamente, y el cloro produjo una reducción de 1.23 log ufc g<sup>-1</sup>. El lavado con CSA 100, 250 y 500 µL L<sup>-1</sup> redujo significativamente (P ≤ 0.05) la cuenta total aeróbica en 1.26, 1.46 y 2.27 log ufc g<sup>-1</sup>, respectivamente (Figura 3A, B). A mayor concentración de CSA, mayor fue la reducción de microorganismos. El lavado con CSA inhibió significativamente el crecimiento de bacterias aeróbicas, durante el almacenamiento a 5 °C. Al final del almacenamiento, las ZFC lavadas con CSA registraron la menor cuenta aeróbica total (7 log ufc g<sup>-1</sup>). Resultados similares en la reducción de los microorganismos con el uso de sanitizantes

(CSA y AP), se observaron en condiciones de procesamiento industrial. Sin embargo, la efectividad del cloro para inhibir el crecimiento de estos microorganismos disminuyó con la presencia de materia orgánica, al simular condiciones de procesamiento industrial.

El lavado de zanahorias con CSA y CI redujo significativamente (P ≤ 0.05) la cuenta de coliformes totales al día 0 comparados con el lavado con AG, AP y NL (Figura 3C, D). Esta reducción se mantuvo durante el almacenamiento a 5 °C, aún cuando se observó un crecimiento significativo del día 0 al 7. Al final del almacenamiento las zanahorias lavadas con CSA 500 µL L<sup>-1</sup> presentaron la menor población de coliformes totales (1.5 log ufc g<sup>-1</sup>), comparadas con las zanahorias NL (5.5 log ufc g<sup>-1</sup>).

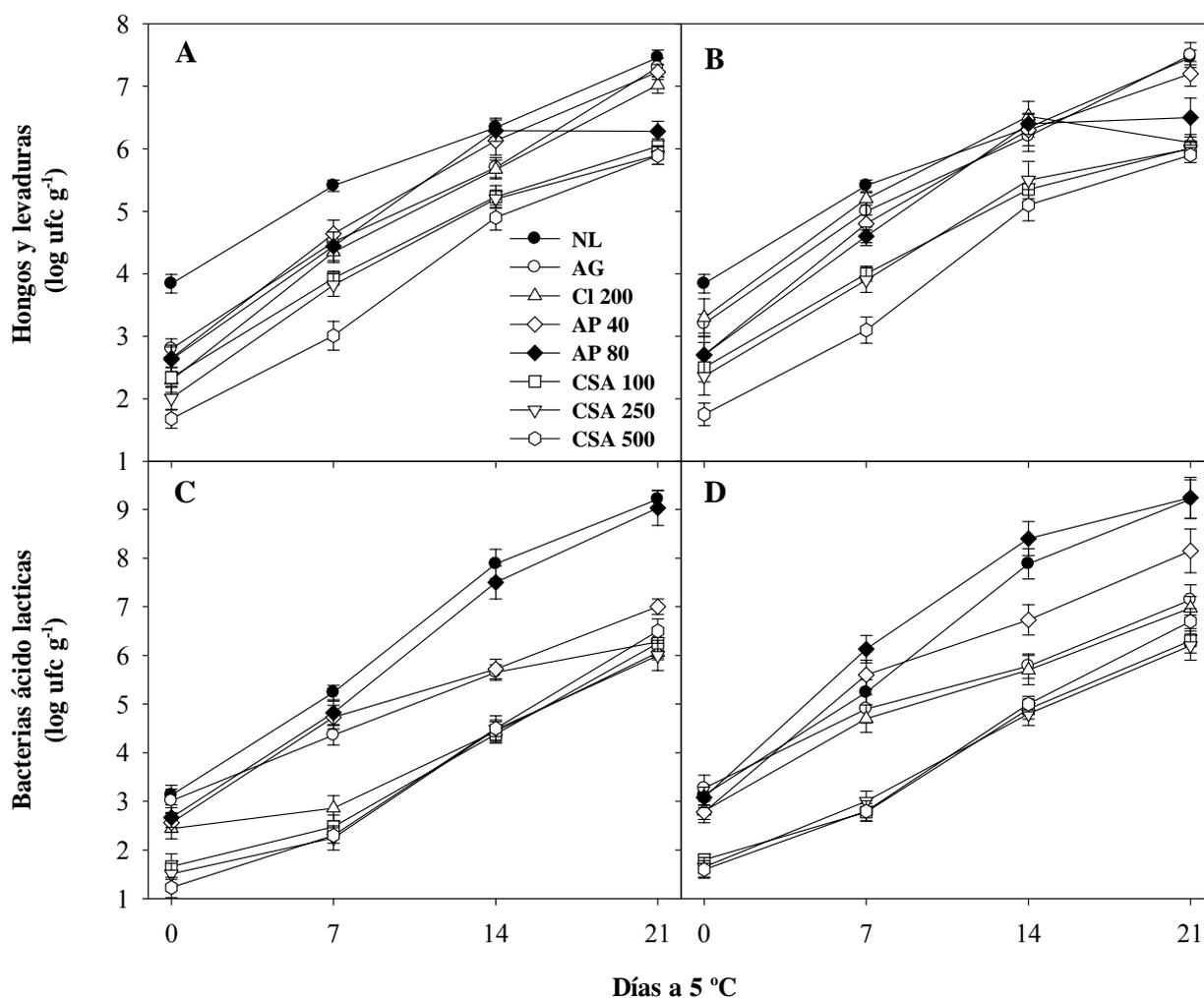


Figura 4. Efecto del lavado con diferentes sanitizantes (µL L<sup>-1</sup>) en la reducción de hongos-levaduras (A, B) y bacterias ácido lácticas (C, D) en zanahorias frescas cortadas, envasadas en atmósferas modificadas y almacenadas 21 d a 5 °C. (A, C) Condiciones de laboratorio, (B, D) Condiciones simuladas de procesamiento industrial. Las barras verticales representan el error estándar de la media.

Las ZFC lavadas con CSA y Cl sufrieron una reducción significativa ( $P \leq 0.05$ ) de la población inicial de hongos-levaduras comparados con el testigo y las lavadas con AP (Figura 4A, B). En general la población de hongos-levaduras se incrementó con el tiempo de almacenamiento hasta alcanzar valores de 6 y 7.5 log ufc  $g^{-1}$  al final del almacenamiento, y las ZFC lavadas con CSA fueron las que presentaron las cuentas más bajas (6 log ufc  $g^{-1}$ ). Park y Beuchat (1999) en espárragos y González *et al.* (2004) en zanahorias, reportaron una reducción similar de estos microorganismos, pero utilizaron concentraciones más altas de CSA (850, 1000 y 1200  $\mu L L^{-1}$ ) en condiciones parecidas. En estudios preliminares, nuestro grupo comprobó que estas concentraciones afectan significativamente la calidad de ZFC y alcanzan una vida útil de tan sólo 4-5 d a 5 °C.

El lavado con Cl redujo significativamente (0.66 log ufc  $g^{-1}$ ) la población de BAL, comparados con el lavado con AG (Figura 4C, D). Las tres concentraciones de CSA causaron una reducción de BAL en 1 log ufc  $g^{-1}$  y 1.5 log ufc  $g^{-1}$  más que el Cl y AP, respectivamente.

Las BAL se incrementaron rápidamente en todos los tratamientos, principalmente en zanahorias NL y en las lavadas con AP-80  $\mu L L^{-1}$ , con valores de 9 log ufc  $g^{-1}$  al final del almacenamiento. Estos valores podrían estar asociados con la pérdida de electrolitos (ácidos orgánicos y azúcares) observado en estas zanahorias. Los electrolitos son sustratos de las BAL y del resto de los microorganismos deteriorativos. La presencia de altos niveles de  $CO_2$  (> 20 %), superiores a los tolerados por el tejido, pueden provocar daños y favorecer el crecimiento de BAL y microorganismos anaeróbicos (Zagory, 1999).

Al final del almacenamiento, el resto de los tratamientos mostraron la menor población de BAL (6-7 log ufc  $g^{-1}$ ). Jacxsens *et al.* (1999) reportaron que las BAL son los microorganismos predominantes en zanahoria y las que mayor efecto tienen en la apariencia general y características sensoriales. En este estudio estos microorganismos afectaron las características sensoriales, sólo cuando la población de BAL fue superior a 7 log ufc  $g^{-1}$ . Las ZFC que tuvieron valores superiores fueron las zanahorias NL y las lavadas con AP-80  $\mu L L^{-1}$ , las cuales después de 14 d a 5 °C desarrollaron un olor a fermentado, mayor volumen de líquido exudado y menor firmeza y aceptabilidad. Jacxsens *et al.* (1999) encontraron que en ZFC envasadas en atmósferas modificadas, la putrefacción se caracteriza por la presencia de mal olor y sabor debido a la producción de ácido láctico o acético, acompañada de un exudado y pérdida de firmeza.

Es importante señalar que hasta el momento no existen normas en México que establezcan los límites de tolerancia de estos microorganismos, para el caso de VFC. Según las normas de la Unión Europea (especialmente de Francia y Alemania), los límites máximos establecidos para que un VFC sea apto para su consumo son de 7.7, 7, 6 y 4 log ufc  $g^{-1}$ , para cuenta total, BAL, hongos-levaduras y coliformes totales, respectivamente. En este estudio, las zanahorias lavadas con CSA mantuvieron la población microbiana por debajo de estos límites permitidos después de 21 d de almacenamiento a 5 °C.

## CONCLUSIONES

La presencia de materia orgánica en el agua de lavado de zanahoria fresca cortada (ZFC) disminuyó la efectividad del cloro en la reducción de la flora microbiana. El clorito de sodio acidificado (CSA) no se vio afectado por la presencia de materia orgánica presente en el agua de lavado. Además, redujo significativamente la población microbiana en ZFC, tanto en condiciones de laboratorio como en condiciones simuladas de procesamiento industrial. Estas ZFC tuvieron una mejor aceptabilidad y menores pérdidas de firmeza durante el almacenamiento. Estos resultados sugieren que el lavado con CSA podría ser considerado como una alternativa al uso de cloro en el lavado de ZFC, ya que mantiene una vida útil de aproximadamente 18 d a 5 °C, establecida con base en criterios de estabilidad microbiológica y sensorial, y comparadas con el resto de los tratamientos que mantuvieron una vida útil de 14 d a 5 °C.

## BIBLIOGRAFÍA

- Ahvenainen R (1996) New approaches in improving the shelf life of minimally processed fruit and vegetables. Trends Food Sci. Technol. 7:179-187.
- Allende A, Y Luo, J L McEvoy, F Artes, C Y Wang (2004) Microbial and quality changes in minimally processed baby spinach leaves under super atmospheric oxygen and modified atmosphere conditions. Postharv. Biol. Technol. 33:51-59.
- Barry-Ryan C, J M Pacussi, D O'Beirne (2000) Quality of shredded carrots as affected by packaging film and storage temperature. J. Food Sci. 65:726-730.
- Beuchat L R (1998) Surface decontamination of fruits and vegetables eaten raw: a review. Food Safety Unit World Health Organization. 42 p.
- Cisneros-Zevallos L, M B Saltveit, J M Krochta (1995) Mechanism of surface white discoloration of peeled (minimally processed) carrots during storage. J. Food Sci. 60:320-323.
- Erturk E, D H Picha (2005) Microbiological quality of fresh-cut sweet potatoes. Internatl. J. Food Sci. Technol. 40:1-9.
- Food and Drug Administration FDA (2000a) Acidified sodium chlorite solutions. Code of Federal Regulations 21 CFR 173.325. Office of the Federal Register, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Food and Drug Administration FDA (2000b) Chemicals used in washing or to assist in the peeling of fruits and vegetables. Code of

- Federal Registrations 21 CFR 173.315. Office of the Federal Register, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C.
- Gonzalez R J, Y Luo, S Ruiz-Cruz, J M McEvoy (2004)** The efficacy of sanitizers on pathogen reduction from fresh-cut produce under simulated commercial processing conditions. *J. Food Protect.* 67:2375-2380.
- González-Aguilar G A, J F Ayala-Zavala, S Ruiz-Cruz, R Cruz-Valenzuela, F Cuamea-Navarro (2004)** Estado actual del mercado de frutos y vegetales frescos cortados. *In: Simposio "Estado Actual del Mercado de Frutos y Vegetales Cortados en Iberoamérica"*. G A González-Aguilar, F Cuamea-Navarro (eds). III Congreso Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos. San José, Costa Rica. 4-7 Abril. pp:7-16.
- Gorny J R, R A Cifuentes, B Hess-Pierce, A A Kader (2000)** Quality changes in fresh-cut pear slices as affected by cultivar, ripeness stage, fruit size, and storage regime. *J. Food Sci.* 65:541-544.
- Heard G M (2002)** Microbiology of fresh-cut produce. *In: Fresh-cut Fruits and Vegetables. Science, Technology, and Market.* O Lamikanra (ed). CRC Press, Boca Raton, FL. pp:187-248.
- Jacxsens L, F Devlieghere, J Debevere (1999)** Validation of a systematic approach to design EMA packages for fresh cut produce. *Food Sci. Technol.* 32:425-432.
- International Fresh-Cut Produce Association (IFPA) (2004)** Fresh-cut Produce: Get the Facts. Fact sheet published by the association on their web site [www.fresh-cuts.org](http://www.fresh-cuts.org). Alexandria, VA. (October, 2005).
- Klaiber R G, S Baur, L Mabel, W P Hammes, R Carle (2004)** Quality of shredded, packaged carrots as affected by different washing treatments. *J. Food Sci.* 69:SQN161-SQN166.
- Legnani O P, E Leoni (2004)** Effect of processing and storage conditions on the microbiological quality of minimally processed vegetables. *Internatl. J. Food Sci. Technol.* 39:1061-1068.
- López-Gálvez G, M Salveit, M Cantwell (1996)** Wound-induced phenylalanine ammonia lyase activity: factors affecting its induction and correlation with the quality of minimally processed lettuces. *Postharv. Biol. Technol.* 9:223-233.
- Mercado-Silva E, V Rubatzky, A Heredia-Zepeda, M I Catwell (1998)** Variation in chilling susceptibility of jicama roots. *Acta Hort.* 467:357-362.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-092-SSA1-1994)**, Bienes y Servicios. Método para la Cuenta de Bacterias Aerobias en Placa.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-111-SSA1-1994)**, Bienes y Servicios. Método para la Cuenta de Mohos y Levaduras en Alimentos.
- Norma Oficial Mexicana (NOM-112-SSA1-1994)**, Bienes y Servicios. Determinación de Bacterias Coliformes. Técnica del Número más Probable.
- Park C M, L R Beuchat (1999)** Evaluation of sanitizers for killing *Escherichia coli* O157:H7, Salmonella and naturally occurring microorganisms on cantaloupes, honeydew melons, and asparagus. *Dairy Food Environ. Sanit.* 19:842-847.
- Ruiz-Cruz S, Y Luo, R J Gonzalez, Y Tao, G A González-Aguilar (2006)** Acidified sodium chlorite as an alternative to chlorine to control microbial growth on shredded carrots while maintaining quality. *J. Sci. Food Agric.* 86:1887-1893.
- Sapers G M (2001)** Efficacy of washing and sanitizing methods for disinfection of fresh fruit and vegetable products: a review. *Food Technol. Biotechnol.* 36:305-311.
- Shewfelt R (1994)** Quality characteristics of fruits and vegetables. *In: Minimal Processing of Foods and Process Optimization: An Interface.* R P Singh, F A R Oliveira (eds). CRC Press. Boca Raton FL. pp:171-189.
- Sinigaglia M, M Albenzio, M R Corbo (1999)** Influence of process operations on shelf life and microbial population of fresh cut vegetables. *J. Industr. Microbiol. Biotechnol.* 23:484-488.
- Zagory D (1999)** Effects of post-processing handling and packaging on microbial populations. *Postharv. Biol. Technol.* 15:313-321.