

TRATAMIENTO TÉRMICO Y ENVASADO EN POLIETILENO DE BAJA DENSIDAD, EN LOS CAMBIOS FISIOLÓGICOS Y QUÍMICOS EN CHILE PIMIENTO (*Capsicum annumm* L.) 'WONDER'

G. A. González-Aguilar[¶]; J. Fortiz-Hernández; R. Cruz-Valenzuela; L. Gayosso-García

Dirección de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A. C. Apdo. Postal 1735. Hermosillo, Sonora, C. P. 83000. MÉXICO.

Correo-e: gustavo@cascabel.ciad.mx. ([¶]Autor responsable).

Tel. y Fax: 00-52-6622-80-0422

RESUMEN

El objetivo del presente estudio fue evaluar el uso del tratamiento de inmersión en agua caliente (TIAC; 53 °C por 4 min), solo o en combinación con el envasado en bolsas de polietileno de baja densidad (PEBD) para mantener la calidad postcosecha de frutos de chile pimiento almacenados a 10 y 20 °C. El envasado por si solo mantuvo la calidad de los frutos a baja temperatura. Sin embargo, se obtuvo un efecto aditivo al combinarse con el TIAC, obteniéndose una reducción en la tasa de respiración, pérdida de clorofila, producción de etanol, acetaldehído y etileno, ACC (1-aminociclopropano-1-ácido carboxílico) y actividad de ACC oxidasa. Estos frutos mantuvieron una mejor apariencia general, menor índice de deterioro y mayor vida de anaquel, que los frutos testigo y los tratados sólo con el tratamiento térmico y envasado. La efectividad de estos tratamientos en el mantenimiento de la calidad, al parecer, está relacionada con la supresión de la síntesis de etileno y posible inhibición en su acción.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: calidad poscosecha, etileno, respiración, etanol, acetaldehído.

THERMAL TREATMENT AND LOW DENSITY POLYETHYLENE PACKAGING ON PHYSIOLOGICAL AND CHEMICAL CHANGES OF 'WONDER' SWEET PEPPER (*Capsicum annumm* L.)

ABSTRACT

The objective of the present study was to evaluate immersion in hot water (TIAC; 53 °C for 4 min), by itself or in combination with packaging in low density polyethylene (PEBD), to maintain the post-harvest quality of sweet pepper stored at 10 and 20 °C. Packaging alone maintained fruit quality at low temperature. However, there was an additive effect from combining packaging with TIAC, resulting in a reduction of respiration rate, chlorophyll loss, production of ethanol, acetaldehyde, ethylene, and ACC (1-aminocyclopropane-1-carboxylic acid), and the activity of ACC oxidase. These fruits maintained a better general appearance, a lower deterioration index, and a longer shelf life than the control fruits treated with either the thermal treatment or packaging. The effectiveness of these treatments on maintaining quality seems to be related with the suppression of ethylene synthesis and a possible inhibition of its action.

ADDITIONAL KEY WORDS: postharvest quality, ethylene, respiration, ethanol, acetaldehyde.

INTRODUCCIÓN

El chile pimiento es uno de los productos de exportación de mayor importancia en México (FAO, 1999). Sin embargo, su carácter perecedero limita en gran medida su comercialización. La pérdida de agua es el principal problema postcosecha de este producto, lo cual favorece el marchitamiento, pérdida de turgencia y reduce la aceptabilidad del producto (González *et al.*, 1999).

El uso de atmósferas modificadas (AM) es la técnica postcosecha más utilizada para mantener la calidad de chile

pimiento (González y Tiznado, 1993). Esta tecnología disminuye los niveles de O₂, incrementa los de CO₂, reduce la pérdida de agua, la tasa de respiración, producción y acción de etileno, retrasa la degradación de clorofila y la pérdida de textura; y en consecuencia la maduración y senescencia (Beaudry, 2000).

Los frutos de chile pimiento son muy sensibles al etileno, el cual puede favorecer los procesos de maduración y senescencia. La biosíntesis de etileno se puede inhibir reduciendo la actividad de enzimas involucradas en su síntesis. El envasado en AM y acondicionamiento térmico,

pueden reducir la síntesis de etileno y prolongar la vida de anaquel de diferentes productos hortícolas (Lurie, 1998; Beaudry, 2000).

Se ha observado que el uso de una atmósfera al 1 % de O₂ reduce la síntesis de etileno, debido a la inactividad de la enzima ACC oxidasa (1-aminocyclopropano-1-ácido carboxílico oxidasa) y acumulación de ACC (Blankenship y Richardson, 1986). Esto debido a que la enzima ACC oxidasa requiere niveles superiores al 1 % para llevar a cabo satisfactoriamente la conversión de ACC a etileno. Se ha visto que el uso de películas plásticas comerciales "X-tend" puede reducir la acumulación de etileno dentro del envase y en consecuencia aumentar la vida de anaquel de algunos productos, como es el caso de melón 'Charentais' (Rodov *et al.*, 2002). De la misma forma, el uso de atmósferas semiactivas (adición de CO₂ y N₂) reduce la acumulación de etileno, pérdidas de peso y firmeza en aguacate 'Hass' (Yahía y González, 1998). Se ha visto que el envasado de nopales en bolsas plásticas, produce una acumulación de CO₂, que a su vez suprime la síntesis de etileno y en consecuencia la pérdida de clorofila y ácido ascórbico (Guevara *et al.*, 2001).

Los tratamientos de inmersión en agua caliente (TIAC) reducen considerablemente los síntomas de deterioro y el daño por frío de frutos sensibles a las bajas temperaturas y mantienen la calidad del producto (Ketsa *et al.*, 2000). Wang (1998) mencionó que los TIAC reducen la tasa de respiración, biosíntesis de etileno y pueden llegar a inactivar las enzimas relacionadas con la pérdida de textura de col de bruselas. Las temperaturas >40 °C inhiben la actividad de ACC oxidasa, enzima responsable de la síntesis de etileno (Wang, 1998). Watkins (2000) reportó que la ACC sintasa es menos termolábil que la ACC oxidasa. Chan *et al.* (1996) encontraron un incremento en la actividad de ACC oxidasa cuando el fruto fue expuesto a temperaturas entre 23 a 42 °C (aire caliente), pero a temperaturas superiores produjo una degradación enzimática. Yang (1987) reportó que durante el periodo de calentamiento, no sólo se inhibe la producción endógena de etileno, sino también su respuesta a la aplicación de etileno exógeno. Al parecer, indica que puede existir una pérdida o inactivación de los receptores de etileno.

Ketsa *et al.* (2000) observaron que el tratamiento en aire caliente (38 °C, 60 % HR por tres días) y posterior refrigeración a 4 °C por tres semanas inhibió la síntesis de etileno en frutos de mango y tomate. Recientemente se reportó que la efectividad de los tratamientos térmicos en la reducción de los síntomas de daño por frío y deterioro, estaba relacionado con un aumento en el contenido de poliaminas (González *et al.*, 2000).

Hasta el momento son muy escasos los estudios del efecto de los TIAC en combinación con el envasado en AM en la síntesis de etileno de chiles pimientos. Debido a

lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue evaluar la efectividad de los tratamientos de inmersión en agua caliente (AC) y envasado en polietileno de baja densidad (PEBD), solos y/o combinados, en la biosíntesis de etileno y su relación con algunos cambios químicos de importancia en la calidad de chile pimiento.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se utilizaron frutos de chile pimiento (*Capsicum annuum* L.) cv. Wonder, los cuales se cosecharon a cielo abierto en el Valle de Guaymas, Sonora, México. Se transportaron inmediatamente al laboratorio donde se seleccionaron de acuerdo a su tamaño, color y peso, desechándose aquellos que presentaban defectos.

Tratamientos

Los frutos se lavaron con agua clorinada (200 mg·litro⁻¹) durante 1 minuto, se secaron a temperatura ambiente y se agruparon en cuatro lotes de 60 frutos; cada lote se sometió a uno de los siguientes tratamientos: 1) Testigo (T); 2) TIAC (53 °C por 4 min); 3) Envasado (E) y 4) TIAC + E. La selección de esta temperatura y tiempo de inmersión (53 °C por 4 min) fue de acuerdo a la efectividad de este tratamiento obtenida en estudios previos para reducir el deterioro en este fruto (González-Aguilar *et al.*, 1999, 2000). El envase utilizado fueron bolsas de una película de polietileno de baja densidad y las dimensiones fueron de 20 x 30 cm². Las características de la película fueron: grosor, permeabilidad al O₂, CO₂ y vapor de agua de 0.065 mm, 223 y 125 cm³·m⁻²·h⁻²·atm⁻² y 0.168 g·m⁻²·h⁻²·atm⁻², respectivamente. Después de aplicar los tratamientos, los frutos se almacenaron a 10 y 20 °C por 30 y 14 días, respectivamente. Se tomaron muestras a diferentes intervalos de tiempo, en los frutos almacenados a 10 °C se obtuvieron muestras cada 10 días y los de 20 °C cada siete días. En cada muestreo se tomaron 15 frutos de cada tratamiento para evaluar la tasa de respiración, pérdida de clorofila, producción de etileno, actividad ACC oxidasa y contenido de ACC, etanol y acetaldehído. El experimento se repitió tres veces.

Variables

Tasa de respiración y producción de etileno

Estas variables se midieron en un cromatógrafo de gases (GC) Perkin Elmer; equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y un detector de ionización de flama (FID). Se utilizaron cuatro muestras (frutos) por cada tratamiento. Para su acondicionamiento, cada fruto fue colocado en recipientes de 2 litros durante 1 h a 20 °C y sellados herméticamente. Se extrajo 1 ml para inyectarse en el cromatógrafo de gases Varian Star 3400 Cx. Se utilizó

una columna metálica rellena con 8 % de cloruro de sodio en aluminio activado, con un tamaño de poro de 80 a 100 mm y nitrógeno como gas acarreador.

Contenido y actividad enzimática de ACC oxidasa

Se midió la actividad de la enzima ACC oxidasa *in vivo* o enzima formadora de etileno (EFE) en discos de exocarpo, siguiendo la técnica de Fernández-Macullet y Yang (1992). Se utilizaron cuatro muestras (frutos) por cada tratamiento. De cada muestra se tomaron 10 discos de 1 cm de diámetro. Los discos se incubaron por 2 horas en cajas petri con papel filtro húmedo. Para medir la actividad de ACC oxidasa, los discos se incubaron en presencia de una solución enriquecida con ACC. Después de este periodo de incubación, los discos se colocaron en tubos de 12 ml y se sellaron por 2 horas a 20 °C. Posteriormente, se tomaron muestras de 1 ml del espacio de cabeza de los tubos y se inyectaron en el cromatógrafo de gases para medir la producción de etileno y ACC oxidasa. Para medir el contenido de ACC, se utilizaron estos mismos discos, los cuales fueron pesados y de los cuales se obtuvo un extracto, para medir el contenido de este metabolito. El contenido de ACC se determinó en una alícuota del extracto acuoso de acuerdo al método descrito por Lizada y Yang (1979).

Clorofila y carotenoides totales

Se utilizaron cuatro muestras (frutos) por tratamiento. De cada fruto se tomaron 2 g de tejido fresco de pericarpio de chile y se homogenizaron en acetona de acuerdo al método descrito por Lichtenthaler (1987). Los resultados se expresaron como clorofilas o carotenos totales en $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco.

Etanol y acetaldehído

Se determinó de acuerdo a la técnica descrita por Arévalo-Galarza *et al.* (2002), utilizando cuatro muestras por tratamiento. De cada muestra se tomaron cuatro discos de 3 g de pericarpio, los cuales se colocaron en viales de vidrio ámbar y se cerraron herméticamente. Se incubaron a una temperatura de 65 °C, durante 15 min. Posteriormente, se tomó 1 ml del espacio de cabeza con una jeringa hipodérmica y se inyectó a un cromatógrafo de gases Varian Star 3400 CX, provisto de una columna Chromosorb 101 80/100 de 2 m de longitud. Los resultados se expresaron en etanol o acetaldehído en $\text{ml}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso fresco.

Análisis estadístico

Fue utilizado un diseño experimental completamente aleatorio, con cuatro repeticiones por tratamiento. La unidad experimental fue definida como cada fruto individual. Se practicó un análisis de varianza con un nivel de significancia

de $P \leq 0.05$ utilizando el sistema SAS versión 6.03, utilizándose la prueba de rangos múltiples de Tukey al 5 % de probabilidad para comparar las medias.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tasa de respiración

No se observaron cambios significativas ($P \leq 0.05$) en la producción de CO_2 en los frutos con E y los E+TIAC, después de estar almacenados a 10 °C. Sin embargo, los frutos testigo y los tratados (TIAC) presentaron un aumento paulatino de CO_2 hasta el día 20 con una posterior disminución al final del experimento (30 días a 10AC). La menor producción de CO_2 se observó en los frutos TIAC+E seguido de los envasados, presentando un comportamiento similar.

El tratamiento de envasado en bolsas de polietileno suprimió en un 40 % la tasa de respiración respecto a los otros tratamientos (Figura 1) probablemente por los menores niveles de O_2 (14 a 15 %) y mayores de CO_2 (5 a 8 %) presentes dentro del envase. Esto concuerda con Mercado *et al.* (1995) quienes encontraron que chile pimiento cv. Clary almacenado a 5 °C por 14 días en una atmósfera con un 5 % de CO_2 , mantuvo mejor la calidad de los frutos, respecto a los frutos almacenados en una atmósfera normal. La tasa de respiración es generalmente suprimida por la exposición del producto a concentraciones bajas de O_2 (Watkins, 2000), debido a que existen dos pasos que utilizan O_2 como sustrato en el último paso de la respiración: la citocromo oxidasa y la oxidasa alternativa (Beaudry, 2000). En diferentes estudios, se ha observado la efectividad del envasado en bolsas de polietileno para reducir el metabolismo y los procesos de senescencia de

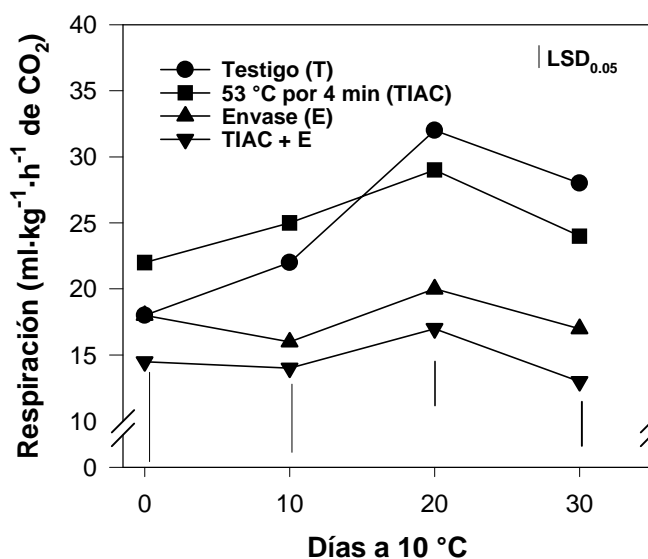


FIGURA 1. Producción de CO_2 de chile pimiento 'Wonder' tratados en agua caliente y/o envasado durante el período de almacenamiento a 10 °C. LSD: Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$).

los frutos; los cuales se han relacionado con la baja concentración de O_2 y la alta concentración de CO_2 (Kader y Watkins, 2000; González-Aguilar *et al.*, 1999). El envasado en bolsas de plástico al reducir la transpiración del fruto, retrasa el deterioro del tejido y puede mantener la calidad del chile pimiento por un periodo mayor de almacenamiento. Se ha observado que los frutos de chile pimiento envasados, presentan ligeros cambios en la tasa de respiración (Saltveit, 1997).

Etileno, ACC y ACC oxidasa.

En el presente estudio se encontró que los frutos testigo presentaron una producción de etileno significativamente más alta (Figura 2), respecto a todos los demás tratamientos en ambas temperaturas de almacenamiento. El tratamiento térmico por sí solo disminuyó la producción de etileno. Diversos autores han observado una disminución de la producción de etileno al someter los frutos a tratamientos térmicos, debido a la disminución en la actividad de ACC oxidasa la cual reduce los procesos de maduración y senescencia (Lurie *et al.*, 1998).

Los tratamientos con envasado (TIAC+E y E), disminuyeron la producción de etileno a las dos temperaturas estudiadas respecto a los frutos no tratados (T) y TIAC (Figura 2). La menor producción de etileno en los frutos envasados, podría estar relacionada con los mayores niveles de CO_2 ó a los menores niveles de O_2 dentro del envase. Se ha comprobado que el CO_2 es un inhibidor competitivo de la acción del etileno (Watkins, 2000) y que los bajos niveles de O_2 suprimen la actividad de la enzima ACC oxidasa (Beaudry, 2000), de esta forma se puede reducir la producción y acción de etileno. En estos frutos se encontró una acumulación de ACC, mientras que la actividad de ACC oxidasa y la producción de etileno disminuyeron. Por otro lado, Wang (1998) mencionó que la enzima ACC oxidasa es muy lábil y sensible al calor, la cual podría haberse inhibido por el TIAC y en combinación con el envase haberse suprimido en mayor proporción la

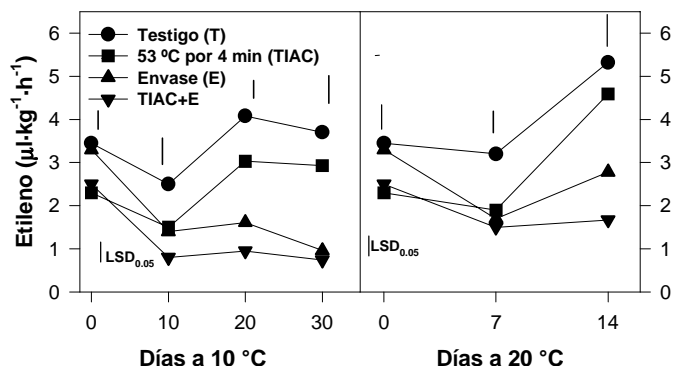


FIGURA 2. Producción de etileno en frutos de chile pimiento 'Wonder' tratados en agua caliente y/o envasado durante el período de almacenamiento a 10 y 20 °C. LSD: Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$).

producción de etileno. Efectos similares, pero con menores concentraciones de O_2 , se encontró en chile pimiento 'Jupiter' al ser expuesto a una atmósfera de 3 % O_2 y una temperatura de 10 °C, donde se observaron bajos valores de etileno ($<0.07 \text{ nl} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$) (Mercado *et al.*, 1995). Se ha encontrado que la pera 'Anjou' en atmósferas del 1 al 3 % O_2 reduce la producción de etileno y prolonga la vida de anaquel del fruto (Blankenship y Richardson, 1986).

La mayor acumulación de ACC se observó en las primeras etapas del almacenamiento (10 días a 10 °C) coincidiendo con la menor actividad de ACC oxidasa y producción de etileno (Figura 3). De la misma forma, la disminución del contenido de ACC (20 días a 10 °C) estuvo acompañada del aumento de la enzima ACC oxidasa. Sin embargo, no se tuvo una acumulación en los niveles de ACC en los frutos TIAC+E donde generalmente ocurre lo contrario. La mayor actividad enzimática se observó en los frutos almacenados a 20 °C, probablemente debido a que a esta temperatura el metabolismo del fruto es mayor y puede ocurrir la síntesis *de novo* de la enzima ACC oxidasa (Janes y Frenkel, 1978). Resultados similares se observaron en berenjena, notándose también el efecto de la temperatura, cuando se almacenaron frutos a 5 y 20 °C por 10 días, donde la producción de etileno fue baja a 5 °C ($0.01 \text{ nl} \cdot \text{g}^{-1}$), mientras que a 20 °C los niveles de etileno fueron altos ($0.07 \text{ nl} \cdot \text{g}^{-1}$) (Concellon *et al.*, 2000). Se ha reportado que los TIAC inducen la síntesis de poliaminas en mandarina 'Fortune', las cuales compiten por el mismo precursor que etileno. Los beneficios obtenidos en la disminución de diferentes fisiopatías observadas en este producto se relacionó con los mayores niveles de poliaminas (putrescina, espermidina y espermina) y la menor producción de etileno (González-Aguilar *et al.*, 1997).

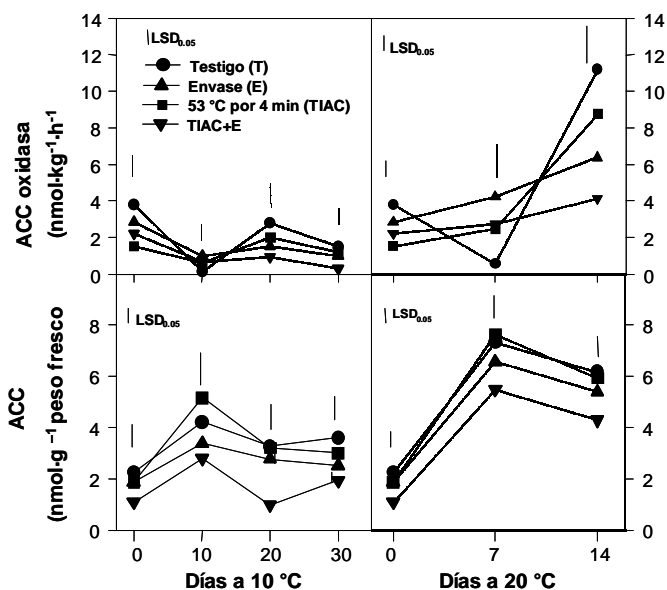


FIGURA 3. Contenido de ACC y actividad de ACC oxidasa en frutos de chile pimiento 'Wonder' tratados en agua caliente y/o envasado durante el período de almacenamiento a 10 y 20 °C. LSD: Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$).

Pérdida de clorofila

Se encontró que los frutos T y los TIAC sin envasar, presentaron la mayor pérdida de clorofila (Figura 4). En los frutos testigo se observó una disminución continua en el contenido de clorofila con el tiempo de almacenamiento. Se ha reportado que la pérdida de clorofila está asociada a los procesos de maduración y senescencia del chile (Ben-Yehoshua, 1985).

La menor degradación de clorofila se observó en los frutos envasados, en ambas temperaturas de almacenamiento estudiadas (Figura 4). El envasado en bolsas de polietileno, con bajas concentraciones de O_2 (<10 %) reduce la pérdida de clorofila, el deterioro y en consecuencia los procesos de senescencia en frutos de chile pimiento (Luo y Mikitel, 1996).

Sí bien, ha sido reportado, que los TIAC retardan la pérdida de clorofila en tejidos verdes (Ketsa *et al.*, 2000); en el presente estudio, no se observaron diferencias entre los frutos no tratados (T) y los demás tratamientos durante los primeros 10 días a 10 °C. Sin embargo, después de este tiempo si se observó diferencias entre los tratamientos E y TIAC+E y en menor grado con los TIAC. Estas diferencias fueron más notables a 20 °C a partir de los siete días de almacenamiento. Funamoto *et al.* (2002) observaron que el tratamiento de TIAC a 45 °C por 14 min en brocoli retrasaron el amarillamiento de los floretes de 2 a 3 días, debido a una disminución en la actividad de las enzimas clorofilasa y ACC oxidasa. En el presente estudio el E y la combinación de TIAC + E fueron los tratamientos más efectivos para evitar las pérdidas de clorofila a las dos temperaturas evaluadas (Figura 4).

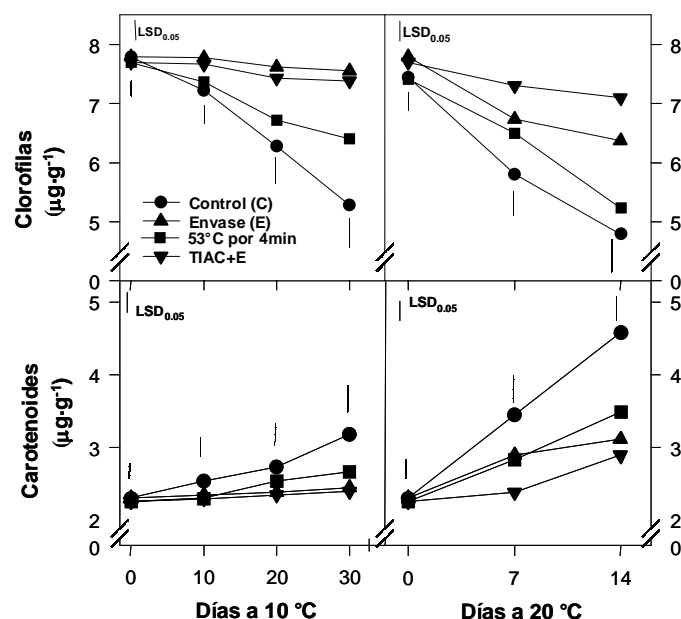


FIGURA 4. Contenido de clorofilas y carotenoides totales en frutos de chile pimiento 'Wonder' tratados en agua caliente y/o envasado durante el período de almacenamiento a 10 y 20 °C. LSD: Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$).

A 20 °C se presentaron las mayores pérdidas de clorofila, lo que concuerda con lo reportado por Ben-Yehoshua (1985) quien reportó que esta pérdida, se asocia al mayor metabolismo que presenta el fruto a esta temperatura.

Por otro lado, la inhibición de pérdida de clorofila debida al envase puede ser causada por dos factores: que la degradación de clorofila en vegetales verdes es retardada por la inhibición de la producción de etileno causada por la baja concentración de O_2 dentro del empaque (Guevara *et al.*, 2001); y/o que los frutos con bajas tasas de respiración pierden menos clorofila y por tanto, mantienen por mayor tiempo la calidad del fruto (Luo y Mikitel, 1996).

El tratamiento TIAC+E fue el más efectivo para evitar las pérdidas de clorofila en los frutos almacenados a la temperatura de 20 °C. En tanto que el tratamiento E fue más efectivo en el caso de los almacenados a 10 °C. Esto podría indicarnos que para este fruto, es mejor la combinación de ambos tratamientos para disminuir la pérdida de clorofilas, sobre todo a temperaturas de 20 °C. En los frutos envasados no se observaron cambios significativos en el contenido de clorofila a 10 °C. Después de 30 días a 10 °C, los frutos testigo mostraron valores casi similares a los almacenados por 14 días a 20 °C. Los resultados obtenidos concuerdan con estudios previos realizados en este mismo fruto (Miller *et al.*, 1986; González y Tiznado, 1993). Por otro lado, se observó que los frutos testigo (T) y tratados (TIAC, 53 °C por min) sin empacar, presentaron las mayores pérdidas de clorofila durante el tiempo de almacenamiento tanto a 10 °C como a 20 °C.

Carotenoides

En este estudio, los frutos testigo presentaron un aumento en el contenido de carotenoides, a las dos temperaturas evaluadas (Figura 4). Se observó que el aumento en el contenido de carotenoides fue superior en los frutos almacenados a 20 °C. Este aumento se correlacionó con las mayores pérdidas de clorofila encontradas en estos frutos (Figura 4). El aumento en el contenido de carotenoides observado en los frutos bajo los distintos tratamientos almacenados a 10 y 20 °C, se debe principalmente, a los procesos de senescencia que se hacen más evidentes conforme aumenta el tiempo de almacenamiento.

Por otro lado, se encontró que los frutos envasados (E y TIAC+E) retardaron la acumulación de carotenoides. Aloni y Karni (2002) encontraron que en frutos de chile pimiento enriquecidos con CO_2 en campo, presentaron menor contenido de carotenoides que los frutos testigo.

Etanol y acetaldehído

La producción de etanol y acetaldehído fue significativamente mayor para los tratamientos envasados

(E y E+TIAC) a ambas temperaturas de almacenamiento, comparadas con T y TIAC (Figura 5). Este aumento fue más pronunciado para acetaldehído en los frutos almacenados a 20 °C. Ben-Yehoshua (1995) mencionó que a mayores temperaturas el metabolismo aumenta y por consiguiente la producción y acumulación de algunos metabolitos. Por otro lado, las bajas concentraciones de O₂ y/o altas de CO₂ pudieron favorecer la biosíntesis de estos dos volátiles (Luo y Mikitel, 1996). Sin embargo, los niveles obtenidos en estos productos no fueron suficientemente altos como para afectar el aroma y el sabor característico del chile pimienta. No se detectaron aromas, ni sabores extraños en estos frutos, aunque haya habido aumentos significativos en los niveles de etanol y de acetaldehído, respecto al testigo a las dos temperaturas estudiadas. Esto pudo deberse a que no se alcanzaron los valores umbrales a partir de los cuales, éstos compuestos pueden percibirse fácilmente. El aumento en ambos compuestos volátiles coincidió con la maduración del producto, resultados que concuerdan con los reportados por Janes y Frenkel (1978). En diferentes productos se ha observado, que los contenidos de etanol y acetaldehído aumentan con la maduración y senescencia.

CONCLUSIONES

El envasado en combinación con los TIAC (TIAC+E) aumentó las concentraciones de etanol y acetaldehído, a niveles que no afectaron la calidad del fruto. Además, retardaron la síntesis de carotenoides, la pérdida de clorofila, la tasa de respiración, producción de etileno y la actividad de ACC oxidasa. Se concluye que la efectividad

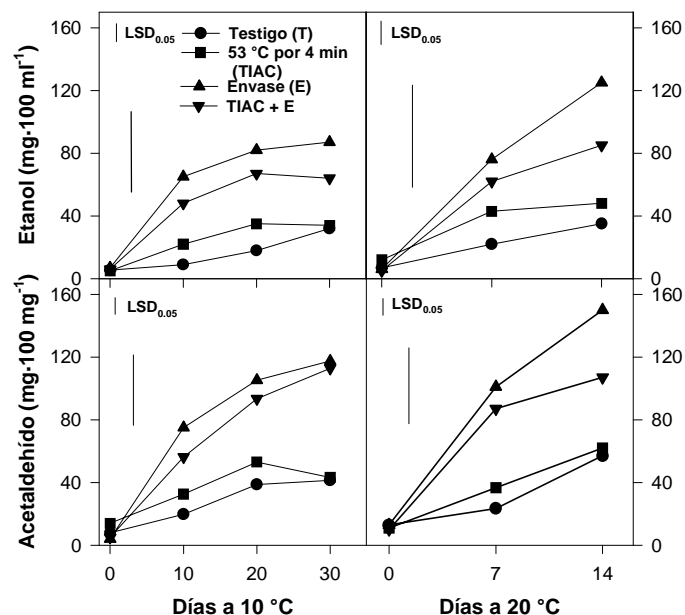


FIGURA 5. Contenido de etanol y acetaldehído en frutos de chile pimienta 'Wonder' tratados en agua caliente y/o envasado durante el período de almacenamiento a 10 y 20 °C. LSD: Diferencia mínima significativa ($P \leq 0.05$).

del TIAC (53 °C por 4 min) en combinación con el envasado en bolsas de polietileno de baja densidad mantienen la calidad de chile pimienta por mecanismos que involucran la inhibición de la síntesis de etileno.

LITERATURA CITADA

- ALONI, B.; KARNI, L. 2002. Effects of CO₂ enrichment on yield, carbohydrate accumulation in the activity of antioxidative enzymes in bell pepper (*Capsicum annuum* L.). *Journal of Horticultural Science and Biotechnology* 77(5): 534-540.
- ARÉVALO-GALARZA, L.; SAUCEDO-VELOZ, C.; BUSTOS-RAMÍREZ, E.; GONZÁLEZ-HERNÁNDEZ, H. 2002. Maduración de frutos de aguacate 'Hass' tratados con radiación gamma. *Agrociencia* 36(6): 667-673.
- BEAUDRY, R. M. 2000. Responses of horticultural commodities to low oxygen: limits to the expanded use of modified atmosphere packaging. *HortTechnology* 10(3): 491-500.
- BEN-YEHOSHUA, S. 1985. Individual seal packaging of fruit and vegetables in plastic film-a new postharvest technique. *HortScience* 22: 777-783.
- BLANKENSHIP, S.; RICHARSON, D. 1986. ACC and ethylene levels in 'd' Anjou' pears in air and testigoled-atmosphere storage. *HortScience* 21(4): 1020-1022.
- CONCELLON, A.; CHAVES, A. R.; AÑÓN, M. C. 2000. Chilling injury development and ethylene production in eggplant fruits (*Solanum melongena* L.). *Improving Postharvest Technologies of Fruits, Vegetables and Ornamentals* 4(3): 513-517.
- CHAN, H. T.; MAINDONALD, W. G.; LAIDLAW, W. G.; SELTENRICH, M. 1996. ACC oxidase in papaya sections after heat treatment. *Journal of Food Science* 61(6): 1182-1190.
- FAO, 1999. Manual para el Mejoramiento Postcosecha. Parte I. Oficina Regional de la FAO para América Latina y el Caribe. Roma, Italia. pp. 10-43.
- FUNAMOTO, Y.; YAMAUCHI N.; SHIGENAGA T.; SHIGYO M. 2002. Effects of heat treatment on chlorophyll degrading enzymes in stored broccoli (*Brassica oleracea* L.). *Postharvest Biology and Technology* 24:163-170.
- FERNÁNDEZ-MACULLET, J. C.; YANG, S. F. 1992. Extraction and partial characterization of the ethylene-forming enzyme from apple fruit. *Plant Physiology* 99: 751-754.
- GONZÁLEZ, G.; TIZNADO, M. 1993. Postharvest physiology of bell pepper stored in low density polyethylene bags. *Food Science and Technology* 26(5): 450-455.
- GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; MULAS, M.; ZACARÍAS, L.; LAFUENTE, M. T. 1997. Temperatura and duration of water dips influence chilling injury, decay and polyamine content in 'Fortune' mandarins. *Postharvest Biology and Technology* 12: 61-69.
- GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; CRUZ, R.; BÁEZ, R. 1999. Storage quality of bell peppers pretreated with hot water in polyethylene packaging. *J. Food Quality* 22: 287-299.
- GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A.; GAYOSSO, L.; CRUZ, R.; FORTIZ, J.; BAEZ, R.; WANG, C. 2000. Polyamines induced by hot water treatments reduce chilling injury and decay in pepper fruit. *Postharvest Biology and Technology* 18: 19-26.
- GUEVARA J. C.; YAHIA, M.; DE LA FUENTE, E. B. 2001. Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.). 2001. *Lebensm Wiss u-Technol.* (34): 445-451.
- JANES, W.; FRENKEL, C. 1978. Promotion of softening in pear by ac-

- etaldehyde, independent of ethylene action. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 103: 397-400.
- KADER A., A.; WATKINS C., B. 2000. Modified atmosphere packaging toward 2000 and beyond. *HortTechnology* 10(3): 483-486.
- KETSA, S.; CHIDTRAGOOL, S.; LURIE, S. 2000. Prestorage heat treatment and poststorage quality of mango fruit. *HortScience* 35(2): 247-249.
- LICHTENTHALER, R. S. 1987. Water stress on the content and organization of chlorophyll in mesophyll and bundle sheath chloroplast of maize. *Plant Physiology* 59: 351-353.
- LIZADA, M. C.; YANG, S. F. 1979. A simple and sensitive assay for 1-aminocyclopropane carboxylic acid. *Anal. Biochem.* 100: 140-145.
- LUO, Y.; MIKITZEL, L. 1996. Extension of postharvest life of bell peppers with low oxygen. *J. Sci. Food Agric.* 70: 115-119.
- LURIE, S. 1998. Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Horticultural Review* 22: 91-121.
- MILLER, W. R.; RISSE, L. A.; MCDONALD, R. E. 1986. Deterioration of individually wrapped and non-wrapped bell peppers during long term storage. *Trop. Sci.* 26: 1-8.
- MERCADO, J. A.; QUESADA, MA.; VALPUESTA, V.; REID, M.; CANTWELL, M. 1995. Storage of bell peppers in testigoled atmospheres at chilling and nonchilling temperatures. *Acta Horticulturae* 412: 134-142.
- RODOV, V.; HOREV, B.; VINOKUR, Y.; COPEL, A.; AHARONI, Y.; AHARONI, N. 2002. Modified-atmosphere packaging improves keeping quality of charentais-type melons. *HortScience* 37: 950-953.
- SALVEIT, M. E. 1977. Carbon dioxide, ethylene and color. development in ripening mature green bell peppers. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 102(5): 523-525.
- WANG, C. Y. 1998. Heat treatment affects postharvest quality of kale and collard, but not of brussels sprouts. *HortScience* 33(5): 881-883.
- WATKINS, C. B. 2000. Responses of horticultural commodities to high carbon dioxide as related to modified atmosphere packaging. *HortTechnology* 10(3): 501-506.
- YAHÍA, E.; GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. 1998. Use of passive and semi-active atmospheres to prolong the postharvest life of avocado fruit. *Food Science and Technology* 31(7-8): 602-606.
- YANG, S. F. 1987. The role of ethylene and ethylene synthesis in fruit ripening. pp. 156-166. *In: Plant Senescence: Its Biochemistry and Physiology.* THOMPSON, W.; NOTHNAGEL, E.; HUFFAKER, M. D. (eds.). The American Society of Plant Physiologists. Rockville, MD, USA. pp. 156-165.