

Fundada en 1951 por Founded in 1951 by

Miguel Raggio & Nora Moro de Raggio
Editor-in-Chief: Dr. Carlos A. Busso

FUNDACION ROMULO RAGGIO
Gaspar Campos 861, 1638 Vicente López (BA), Argentina
www.revistaphyton.fund-romuloraggio.org.ar
ISSN 0031-9457

57° ANIVERSARIO

(2008) 77: 161-174

57th ANNIVERSARY

Efecto del acondicionamiento con calor en la susceptibilidad al daño por frío de lima persa (*Citrus latifolia* Tanaka)

(Con 4 Figuras)

*Effect of heat conditioning on chilling injury susceptibility
of Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka)*

(With 4 Figures)

**Bosquez Molina¹ E, J Domínguez Soberanes¹, L Perez Flores²,
S Bautista Baños³, F Díaz de León Sánchez², F Rivera-Cabrera²**

Resumen. La refrigeración es una de las tecnologías más utilizadas para mantener la calidad postcosecha de muchos productos hortícolas. Sin embargo, en el caso de la lima Persa el almacenamiento a bajas temperaturas está restringido debido a su susceptibilidad al daño por frío. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto del acondicionamiento con calor en la susceptibilidad al daño por frío en lima Persa (*Citrus latifolia* Tanaka), cosechada en Martínez de la Torre Veracruz, México, y almacenada a diferentes temperaturas de refrigeración. Los frutos fueron expuestos a los siguientes tratamientos: (1) acondicionamiento con hidrocalentamiento (inmersión en agua caliente, 53 °C por 3 min); (2) acondicionamiento con aire caliente (38 °C a 90-95 % de humedad relativa por 3 d), y (3) sin acondicionamiento (testigo). Posteriormente, se almacenaron a tres temperaturas diferentes: 4, 8 ó 13 ± 1 °C. Se evaluaron las siguientes variables: Severidad e incidencia de daño por frío, pérdida de peso, color, porcentaje de jugo, acidez titulable, pH y sólidos solubles totales a los 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25 y

¹ Departamento de Biotecnología

² Departamento de Ciencias de la Salud. Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186 Michoacán y la Purísima, Col. Vicentina, Mexico D.F. C.P. 09340.

³ Instituto Politécnico Nacional. Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Carretera Yautepec-Jojutla km. 8.5 San Isidro Yautepec Morelos, México C.P. 62731.

Address Correspondence to: Elsa Bosquez Molina, Departamento de Biotecnología, Universidad Autónoma Metropolitana-Iztapalapa, Av. San Rafael Atlixco 186 Michoacán y la Purísima, Col. Vicentina, Mexico D.F. C.P. 09340. e-mail: elbm@xanum.uam.mx.

Recibido/Received 16.I.2007. Aceptado/Accepted 8.III.2008.

30 días. Los resultados mostraron que ambos acondicionamientos indujeron una mayor susceptibilidad al daño por frío.

Palabras clave: *Citrus latifolia*, hidrocalentamiento, aire caliente.

Abstract. Cold storage is one of the most important technologies used to maintain the postharvest quality of many horticultural commodities. However, cold storage is restricted for Persian lime because of its susceptibility to chilling injury. The objective of this study was to evaluate the effects of high temperature conditioning on the susceptibility to chilling injury in Persian lime (*Citrus latifolia* Tanaka). It was harvested in Martínez de la Torre, Veracruz, Mexico, and stored at different refrigeration temperatures. After harvesting, fruits received the following treatments: (1) hot water conditioning (53 °C during 3 min); (2) hot air conditioning (38 °C, 90-95 % relative humidity for 3 d), and (3) no treatment (control). Following treatments, fruits were stored at three different temperatures: 4, 8 or 13 ± 1 °C. Chilling injury, weight loss, color, juice percentage, titratable acidity, pH and total soluble solids were evaluated after 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25 and 30 days. Results showed that both conditioning treatments induced more susceptibility to chilling injury.

Key words: *Citrus latifolia*, water heating, hot air.

INTRODUCCIÓN

El almacenamiento a bajas temperaturas de productos hortícolas y frutícolas se utiliza ampliamente para extender su vida postcosecha (Kitinoja y Kader, 2003). Sin embargo, cuando los frutos subtropicales como la lima Persa (*Citrus latifolia* Tanaka) se almacenan por debajo de temperaturas críticas (10 a 13 °C), se induce un desorden fisiológico conocido como daño por frío (DPF) (Osorio-Mora y Zacarías, 2000; Balandran-Quintana et al., 2003). Aunque este desorden disminuye la aceptación del producto por parte del consumidor y puede resultar en pérdidas comerciales, sólo en casos extremos llega a tener un efecto sobre la calidad interna del fruto (Sala, 1998). Los síntomas típicos del DPF en cítricos son, entre otros, la aparición de manchas en el flavedo (cáscara) como consecuencia del colapso aislado o extendido de las células oleíferas cercanas a la superficie de la piel, y eventualmente el oscurecimiento o necrosis de las áreas afectadas (Lindhout et al., 2004).

Por otra parte, desde un punto de vista comercial, es importante (1) explorar la posibilidad del almacenamiento de cargas mixtas a temperaturas menores a la óptima reportada para la lima ácida como fruta individual, y (2) tener presente la carta de compatibilidad para el transporte o almacenamiento a corto plazo. El almacenamiento de los cítricos se puede efectuar a 7-10 °C y 85-95% de HR, siempre y cuando el mismo sea menor a siete días (Thompson et al., 2006).

En muchas plantas, la presencia de cambios graduales o moderados en las condiciones ambientales puede estimular su tolerancia a situaciones más extremas (ej. Brown, 1995, p.364). En este sentido, un número cada vez mayor de estudios demuestran la existencia de una “resistencia inducida”, (la exposición de un tejido o un organismo a un estrés moderado induce resistencia a otro estrés más severo: Sabehat et al., 1998). Con el objetivo de disminuir o prevenir la incidencia del DPF se han experimentado diversos tratamientos previos al almacenamiento refrigerado, para generar esta resistencia. Entre estos tratamientos se incluyen: la aplicación de recubrimientos como el encerado, los acondicionamientos con altas y bajas temperaturas, el pretratamiento con CO₂, la aplicación de reguladores del crecimiento, etc. (Rodov et al., 1995; Lurie, 1998; Porat et al., 2000; Fallik, 2004; Rivera et al., 2004; Biolatto et al., 2005). Recientemente se ha demostrado la efectividad de diferentes tratamientos con calor en la resistencia al DPF en cítricos (Sala y Lafuente, 1999, 2000; Paull y Jung, 2000; Porat et al., 2000; Schirra et al., 2000; Holland et al., 2002; Fallik, 2004). Por otro lado, en diversos estudios se ha reportado que el acondicionamiento por inmersión en agua caliente a 50-54 °C durante 2-3 minutos, o el acondicionamiento con calor a 37 °C por 3 días, reduce los síntomas del DPF en toronja ‘Marsh’ y ‘Star Ruby’, kumquat, mandarinas ‘Fortune’ y naranjas ‘Tarocco’ (Rodov et al., 1995; González-Aguilar et al., 1997; Schirra et al., 1997, 1998; Sala y Lafuente, 1999, 2000; Porat et al., 2000; Schirra et al., 2000; Fallik, 2004). Estos resultados sugieren que el acondicionamiento con altas temperaturas podría ser eficaz en inducir una respuesta de adaptación en frutos y vegetales, confiriéndoles una mayor tolerancia al almacenamiento a bajas temperaturas (Chávez et al., 1993; McDonald et al., 1999; Paull y Jung, 2000; Porat et al., 2000; Schirra et al., 2000; Holland et al., 2002; Fallik, 2004; Biolatto et al., 2005; Erckan et al., 2005). En el caso de las limas ácidas, son escasos los reportes del efecto de la aplicación de acondicionamientos previos al almacenamiento a bajas temperaturas.

El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de la aplicación de dos acondicionamientos con altas temperaturas, previo al almacenamiento refrigerado, en la susceptibilidad al daño por frío de lima Persa.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal. Se emplearon frutos de lima Persa de la zona de Martínez de la Torre Veracruz, principal zona de producción de esta fruta en México. Después de la cosecha, las frutas fueron seleccionadas para eliminar las limas dañadas, y obtener muestras uniformes en color, tamaño y

calidad. Las frutas fueron transportadas durante la noche bajo condiciones de refrigeración (13 °C, 90-95 % HR). Se obtuvieron tres lotes de 1620 frutas cada uno. Cada uno de los lotes se distribuyó aleatoriamente para aplicar los siguientes tratamientos: 1) acondicionamiento con hidrocalentamiento (inmersión en agua caliente a 53 °C durante 3 min), 2) acondicionamiento con aire caliente (a 38 °C por 3 d y 90-95 % HR), ó 3) sin tratamiento (testigo). Posteriormente, del grupo de frutas tratadas diferentemente en cada uno de los 3 lotes, se tomaron al azar grupos de 405 frutas que fueron almacenadas a 4 ± 1 °C, 8 ± 1 °C ó 13 ± 1 °C, con una humedad relativa de 90-92%. Los criterios para elegir las temperaturas de almacenamiento fueron: (1) comparar una temperatura inductora de daño por frío (4 °C), (2) una temperatura propuesta menor a la recomendada (8 °C), y (3) una temperatura comercial de exportación (13 °C) como testigo positivo.

Evaluaciones. Se tomaron muestras de 15 limas al azar por triplicado a los 3, 6, 9, 12, 15, 20, 25 y 30 días de almacenamiento a las diferentes temperaturas y de los diferentes tratamientos de acondicionamiento aplicados. Asimismo, se realizó un análisis inicial (0 día de almacenamiento) empleando una muestra por triplicado de 15 frutas.

Daño por Frío (DPF). Se evaluó a las 24 h de permanencia de las limas a temperatura ambiente, después del almacenamiento en refrigeración. La sintomatología del daño se manifestó como manchas de color café, hundidas en el flavedo. El índice de daño por frío de cada fruto se determinó en porcentaje (% DPF) midiendo el área afectada en relación a la superficie total del fruto utilizando las siguientes ecuaciones:

$$S_f = \left(\frac{D_{ef}}{\pi} \right)^2 \pi$$

$$\%DPF = \frac{S_{DPF} * 100}{S_f}$$

En donde:

S_f = Superficie total del fruto (cm²)

D_{ef} = Diámetro ecuatorial del fruto (cm)

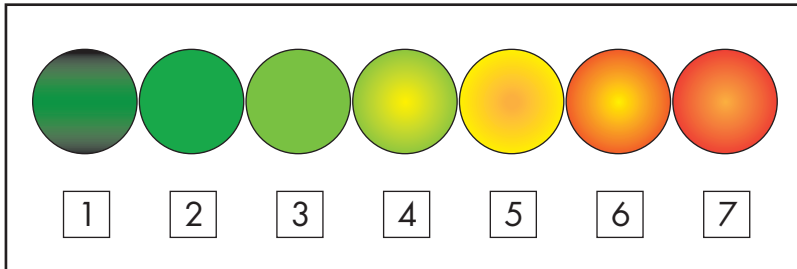
π = 3,1416

S_{DPF} = Superficie dañada por frío del fruto (cm²)

En función del porcentaje de la superficie dañada, se elaboró una escala de 4 categorías con los siguientes valores: 0= 0%, sin daño; 1= 1 a 10%, poco daño; 2= 11 a 25%, daño moderado; 3= >26%, daño severo. Las fru-

tas que se clasificaron en las categorías 0 y 1 se consideraron comercialmente aceptables.

Color. Se evaluó en forma cualitativa usando una carta de colores específica para limas ácidas en donde: 1= verde oscuro brillante, 2= verde brillante, 3= verde claro, 4= verde claro amarillento, 5= amarillo, 6= amarillo-ocre y 7= ocre-café.



Representación de la escala de color para lima Persa

Pérdida de Peso (PP). Se determinó empleando muestras de 5 limas colocadas en bolsas de red plástica por triplicado para cada tratamiento. Se registraron los cambios en peso con respecto al peso inicial durante el almacenamiento, utilizando una balanza granataria OHAUS con precisión de 0.1g. El porcentaje acumulativo de la pérdida de peso (% PP) se calculó con la siguiente ecuación:

$$\%PP = \frac{P_i - P_x}{P_i} \cdot 100$$

En donde:

P_i = Peso inicial

P_x = Peso en el día "x" de cada evaluación

Porcentaje de Jugo. El jugo de las limas de cada muestra se extrajo, y luego pesó, utilizando un extractor eléctrico de jugo para cítricos Braun MPZ-1. Se obtuvo el porcentaje del peso del jugo respecto al peso de las frutas enteras de cada muestra.

Sólidos solubles totales (%SST). Se determinaron colocando tres gotas de jugo de cada muestra en un refractómetro manual ERMA 0-32% No. 14952, corrigiendo las lecturas por efecto de temperatura.

Acidez titulable (AT). Se cuantificó en términos de la cantidad de ácido cítrico (mg/100 ml) presente en el jugo de cada muestra, siguiendo el método volumétrico reportado (Boland, 1995).

Análisis estadístico. Para evaluar el efecto de los tratamientos en las diferentes variables se aplicó un análisis de varianza de dos factores (3 niveles de acondicionamiento x 3 temperaturas de almacenamiento). El primero y segundo factor fueron el acondicionamiento previo (hidrocalentamiento, aire caliente o testigo), y la temperatura de almacenamiento (4, 8 ó 13 °C), respectivamente. La unidad experimental fue la mezcla homogénea de 15 limas con tres réplicas. Se utilizaron un $\alpha = 0,05$ y la prueba de comparaciones múltiples de Duncan ($p \leq 0,05$). Se usó el programa NCSS (Hintze, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Efecto de los tratamientos de acondicionamiento con calor en el DPF

El DPF solo se manifestó en las limas almacenadas en refrigeración a 4 y 8 °C en los diferentes tratamientos aplicados (Fig. 1). En general, puede apreciarse que el DPF de las limas acondicionadas con hidrocalentamiento o aire caliente y almacenadas a 4 °C fue mayor ($p \leq 0,05$) en comparación con las frutas acondicionadas y almacenadas a 8 °C.

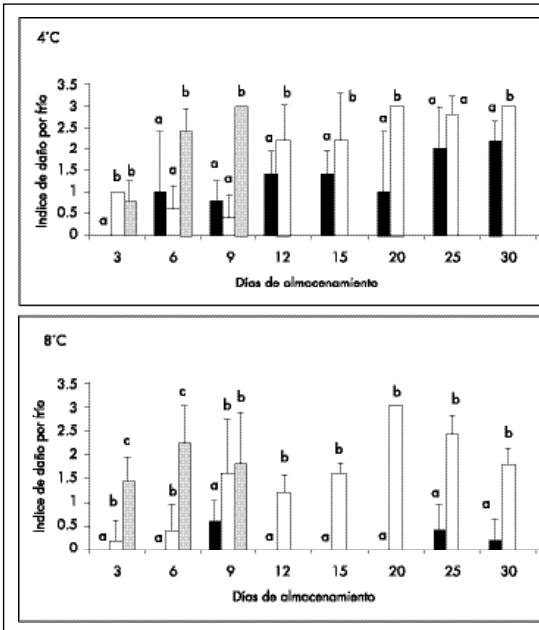


Fig. 1. Efecto del acondicionamiento con hidrocalentamiento (53 °C por 3 min) (□), aire caliente (38 °C por 3 d y 90-95 % de HR) (▨) o sin tratamiento (testigo) (■) en el daño por frío en frutos de lima Persa almacenados a 4 ± 1 °C ú 8 ± 1 °C . Las barras indican +1 desviación estándar.

Fig. 1. Acclimation effects with water heating (53 °C for 3 min) (□), hot air (38 °C for 3 d and 90-95 % RH) (▨) or no treatment (control) (■) in cold damage of lima Persa fruits stored at 4 ± 1 °C or 8 ± 1 °C. Bars indicate +1 standard deviation.

El tratamiento de acondicionamiento con aire caliente provocó una mayor sensibilidad al DPF en comparación con limas acondicionadas con hidrocalentamiento (Fig. 1). Este efecto se observó desde los primeros días del almacenamiento. Como resultado, al noveno día, el 100% de las frutas almacenadas a 4 °C se encontraban en la categoría 3 de la escala de DPF, y por consiguiente, no comerciables. Estos resultados sugieren que el tratamiento de acondicionamiento actuó como un estrés severo más que como un tratamiento protector contra el DPF. Por otra parte las limas sin acondicionamiento (testigo) almacenadas a 4° C mostraron menor DPF (Daño moderado: 11-25% de superficie dañada) en comparación con las limas acondicionadas con aire caliente (Fig. 1). Estos resultados confirman que el tratamiento con aire caliente tiene un efecto negativo (induce una mayor susceptibilidad al DPF) en la lima Persa (*Citrus latifolia* Tanaka).

Las limas acondicionadas con aire caliente, pero almacenadas a 8 °C, mostraron DPF aunque de menor severidad en comparación con las almacenadas a 4 °C. Sin embargo, al noveno día de almacenamiento también se encontraban en la categoría de no comerciables. Por otra parte, las limas sin acondicionamiento mostraron el menor índice de DPF (menor del 1% de superficie dañada) durante todo el periodo de almacenamiento (30 días). Esto indica que esta temperatura es potencialmente aplicable a nivel comercial para prolongar la vida útil de lima Persa (Fig. 1).

El tratamiento de hidrocalentamiento también incrementó la susceptibilidad de las limas al DPF, desmereciendo su capacidad de conservación. Sin embargo, en este caso la manifestación del DPF fue gradual a través del almacenamiento, generando una superficie dañada del 26% o mayor a partir de los 20 días del almacenamiento refrigerado (Fig. 1).

Diversos investigadores han reportado el efecto positivo del acondicionamiento con calor en la resistencia al DPF en cítricos (Porat et al., 2000; Schirra et al., 2000; Holland et al., 2002; Fallik, 2004). Prasad (1996) informó que la tolerancia al DPF en plántulas de maíz, conferida por tratamientos con altas temperaturas, está relacionada con un incremento en la actividad de los sistemas antioxidantes que previenen la acumulación de las especies reactivas de oxígeno (EROS). Por otro lado, Sala (1998) reportó que los cultivares de mandarina tolerantes al DPF tienen un sistema antioxidante más eficiente que los susceptibles. En el presente estudio, los resultados obtenidos no solo fueron contrarios a lo esperado sino que causaron efectos drásticos en los frutos de lima Persa, induciendo una mayor susceptibilidad al DPF, cambio de color y senescencia prematura. Una posible explicación que los tratamientos con calor no hayan inducido tolerancia al DPF podría atribuirse a que no se haya incrementado la actividad de los sistemas antioxidantes, como sugieren varios autores (Prasad, 1996;

Sala, 1998; Sala y Lafuente, 2000). Otra alternativa es que se induzcan inmediatamente después del acondicionamiento, pero que no se presente un aumento sostenido de estos mecanismos durante todo el periodo de almacenamiento que brinde una protección más efectiva contra el DPF (Rivera et al., 2004).

Ben-Yehoshua (2003) puntualizó que la reducción del DPF en cítricos, con respecto al control, mediante tratamientos de hidrocalentamiento o de aire caliente para curado, varió entre un 45% y un 80% dependiendo de la especie de cítrico. Aunque hay evidencias de la participación de enzimas antioxidantes, no en todos los casos se ha encontrado una correlación directa con la incidencia del DPF que se manifieste durante el almacenamiento. Esto plantea la posibilidad de que si bien están involucradas, no necesariamente puedan constituir el factor primario en la tolerancia al frío inducida por calor.

Efecto de los tratamientos de acondicionamiento con calor en los parámetros de calidad

Color. La apariencia externa de los cítricos es uno de los principales atributos que el consumidor emplea como indicador de la calidad. Si la fruta cítrica no posee el color correcto, no será comprada. En el caso de las limas ácidas destinadas al consumo en fresco, el color verde brillante es el principal parámetro de calidad tanto para la exportación como para la comercialización nacional. Éstas se cotizan alto mientras mantengan su color verde brillante (Chávez et al., 1993).

En el presente estudio, el color fue la variable más sensible y evidente del efecto adverso de los tratamientos térmicos aplicados previo al almacenamiento refrigerado.

El acondicionamiento con aire caliente resultó ser el tratamiento más agresivo en la pigmentación del flavedo, comparado a los frutos acondicionados con hidrocalentamiento y el grupo sin acondicionamiento (testigo) (Fig. 2A, 2B, 2C). La mayor agresividad del tratamiento promovió el rápido desarrollo de una coloración amarilla hasta amarillo-ocre. Esto obligó a dar por terminado el almacenamiento a los nueve días en todas las temperaturas estudiadas para este acondicionamiento. Las limas almacenadas a 4 °C, exhibieron una apariencia de fruta quemada por frío (Fig. 2B).

Las limas almacenadas a 13 °C, acondicionadas con hidrocalentamiento, desarrollaron una coloración amarilla propia de la lima Persa en un estado senescente. Estos cambios en la pigmentación del flavedo aparecieron a partir de los doce días en las limas con hidrocalentamiento, en comparación con las frutas acondicionadas con aire caliente. En estas últimas, los síntomas se manifestaron a partir de los tres días de almacena-

miento (Fig. 2A y 2B). En las frutas acondicionadas con hidrocalentamiento, y almacenadas a 8 °C, el desarrollo del color amarillo fue menor con respecto al resto de las temperaturas de almacenamiento (Fig. 2A).

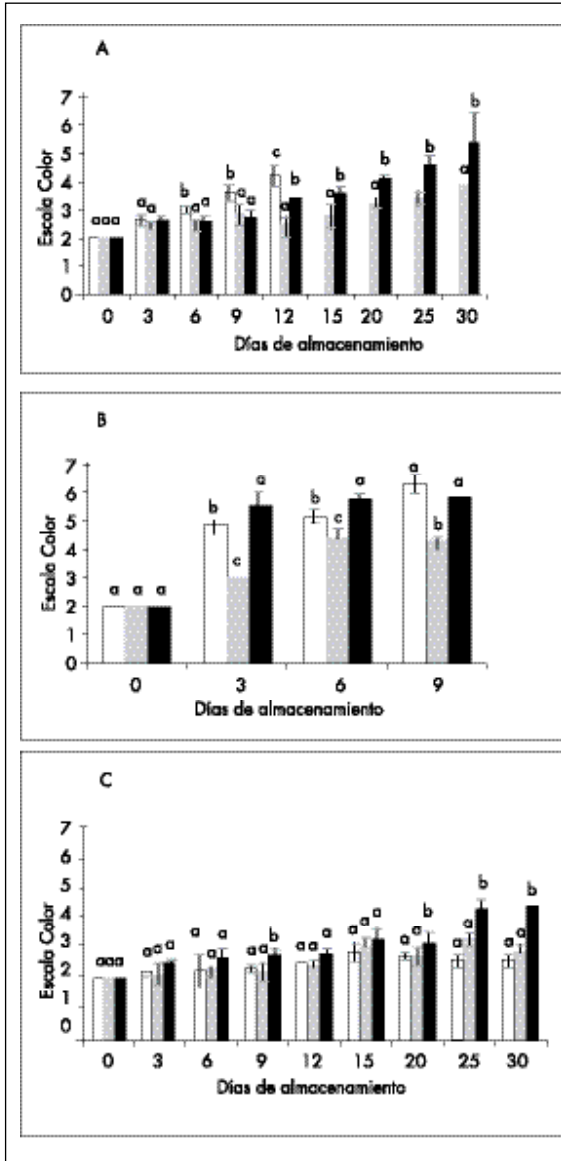


Fig. 2. Efecto del acondicionamiento con: A) hidrocalentamiento (53 °C por 3 min), B) aire caliente (38 °C por 3 d y 90-95 % de HR) o C) sin tratamiento (testigo) en el color de frutos de lima Persa almacenados a 4 ± 1 °C (■), 8 ± 1 °C (□) ó 13 ± 1 °C (▨). Para cada día de evaluación, las columnas con letras iguales indican que no hay diferencia significativa ($p < 0,05$) aplicando la prueba de intervalos múltiples de Duncan. Las barras indican la desviación estándar.

Fig. 2. Acclimation effects with: A) Water heating (53 °C for 3 min), B) Hot air (38 °C for 3 d and 90-95 % RH) or C) No treatment (control) in fruit color of lima Persa stored at 4 ± 1 °C (■), 8 ± 1 °C (□) or 13 ± 1 °C (▨). For each evaluation date, columns with equal letters indicate lack of significant differences ($p < 0.05$) using the Duncan's test. Bars indicate the standard deviation.

Las frutas no-climatéricas maduran sin presentar un aumento en su actividad respiratoria. Sin embargo, la respiración puede aumentar simplemente como una respuesta a la presencia del etileno producido por la misma fruta. Esta idea se sustenta en el hecho que cuando se aplica etileno exógeno a una fruta no-climatérica, que normalmente produce bajos niveles de etileno, hay un aumento en la respiración. Seymour (1993) reportó que la temperatura óptima para la producción de etileno es aproximadamente 30 °C, y que por encima de esta temperatura la producción declina hasta que cesa cerca de los 40 °C. Así, los tratamientos de acondicionamiento con calor posiblemente propiciaron un incremento en la biosíntesis de etileno, induciendo (1) la degeneración de tilacoides en los cloroplastos, (2) la degradación de clorofila, (3) un aumento en la síntesis de carotenoides, y finalmente (4) la senescencia de las limas.

Se sabe que las frutas no-climatéricas carecen de un sistema de producción autocatalítica de etileno asociado a la maduración. Sin embargo, no se descarta su posible papel en la regulación de los procesos de maduración con pequeñas cantidades, pero detectables, de etileno endógeno (Vendrel et al., 2001). El etileno puede jugar un papel importante en la respuesta de defensa y supervivencia de las plantas a diferentes tipos de estrés (Yang y Hoffman, 1984). Sin embargo, en el presente estudio el resultado se circunscribió a un efecto de pérdida acelerada de color verde, que para las limas no es recomendable en lo absoluto (Reid, 1995; Kader, 2003).

Pérdida de peso (PP)

La PP acumulada a los 30 días del almacenamiento de las limas tratadas con el hidrocalentamiento, en todas las temperaturas estudiadas, fue significativamente mayor ($p \leq 0,05$) que la observada en los frutos sin acondicionamiento (testigo), (Fig. 3).

Se esperaba un menor PP en las limas almacenadas a 4 °C. Sin embargo, en éstas se registró una mayor PP que en las que se almacenaron a 8 °C. Esto podría explicarse por el hecho que a esta temperatura se observó una mayor incidencia de DPF (Fig. 1). Su sintomatología en los cítricos se manifiesta en forma de un colapso esporádico de las células, seguido del rompimiento celular y tisular, incrementando en consecuencia la pérdida de agua (Wang, 1994; Lindhout et al., 2004).

Las limas acondicionadas con aire caliente registraron una pérdida de peso final que osciló entre un 2,7% (a 8 °C) y 4,5% (a 4 °C), a los nueve días de almacenamiento. En este tratamiento la vida de anaquel fue de nueve días en todas las temperaturas estudiadas (Fig. 3A, 3B y 3C).

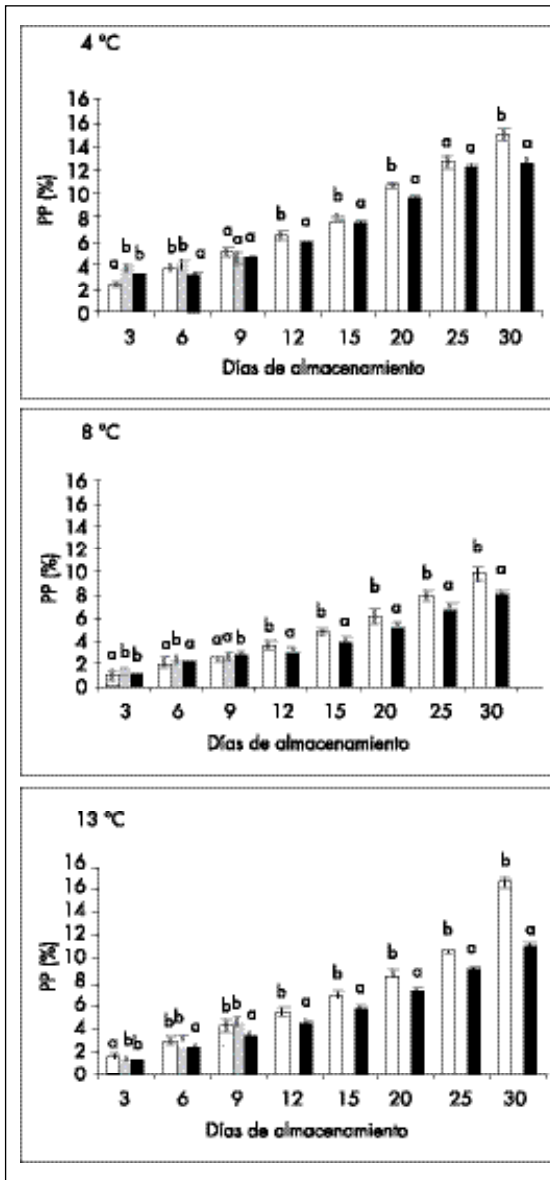


Fig. 3. Efecto del acondicionamiento con hidrocalentamiento (53 °C por 3 min) (□), aire caliente (38 °C por 3 d y 90-95 % de HR) (▨), o sin tratamiento (testigo) (■), en la pérdida de peso (PP) de limas Persa almacenadas a 4 ± 1 °C, 8 ± 1 °C ó 13 ± 1 °C. Las columnas con letras iguales indican que no hay diferencia significativa (p<0,05) aplicando la prueba de intervalos múltiples de Duncan. Las barras indican la desviación estándar.

Fig. 3. Acclimation effects with water heating (53 °C for 3 min) (□), hot air (38 °C for 3 d and 90-95 % RH) (▨), or no treatment (control) (■) on weight lost (PP) of lima Persa stored at 4 ± 1 °C, 8 ± 1 °C or 13 ± 1 °C. Columns with equal letters indicate lack of significant differences (p<0.05) using the Duncan's test. Bars indicate the standard deviation.

Sólidos solubles totales, acidez titulable y pH

Los tratamientos de acondicionamiento no tuvieron efecto en la calidad interna de los frutos. El análisis estadístico de las diferentes variables de

calidad determinadas (porcentaje de jugo, SST, AT y pH) indicó que no existieron diferencias significativas ($p \leq 0,05$) entre los frutos acondicionados y almacenados a las diferentes temperaturas, en comparación con los frutos sin acondicionar (Fig. 4). Esto podría atribuirse al carácter no-climatérico y fisiología típica de los cítricos, ya que los cambios determinantes de su deterioro se circunscriben fundamentalmente al flavedo (Sinclair, 1984; Wills et al., 2002).

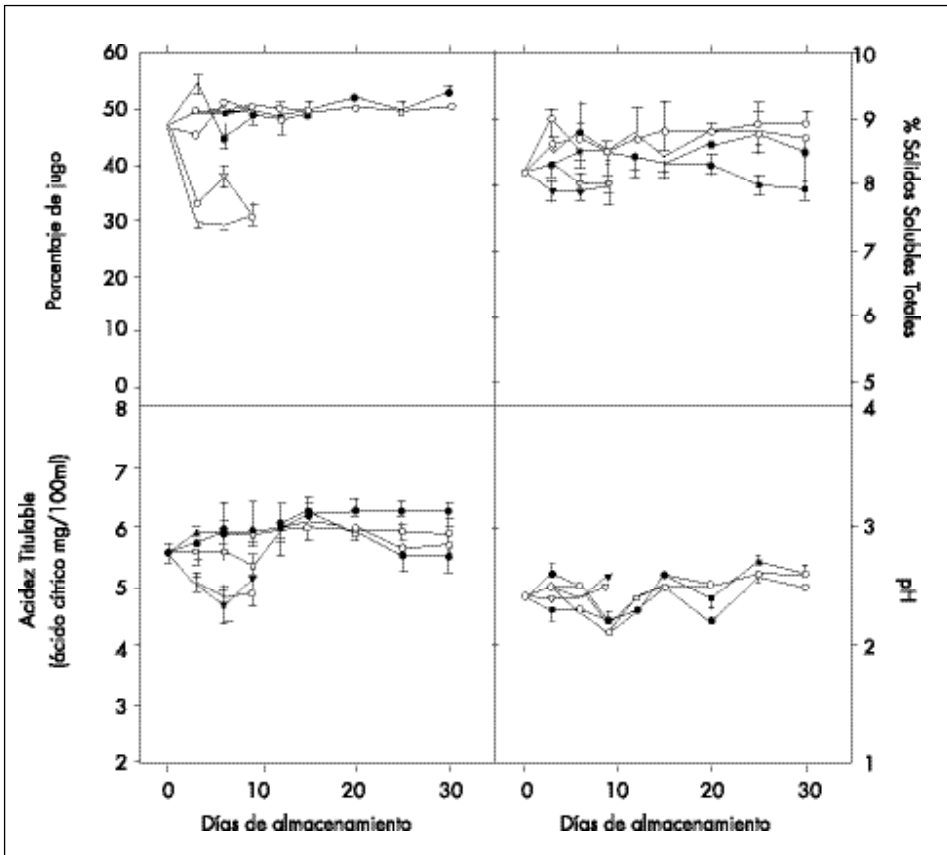


Fig. 4. Parámetros de calidad en frutos de lima Persa acondicionados con hidrocalentamiento y almacenados a 4 °C (●) ú 8 °C (○), acondicionados con aire caliente y almacenados a 4 °C (▼) ú 8 °C (▽), y sin acondicionamiento almacenados a 4 °C (■) ú 8 °C (□).

Fig. 4. Quality parameters on fruits of lima Persa acclimated with water heating and stored at 4 °C (●) or 8 °C (○), acclimated with hot air and stored at 4 °C (▼) or 8 °C (▽), or without acclimation and stored at 4 °C (■) or 8 °C (□).

CONCLUSIONES

Los tratamientos de acondicionamiento con hidrocalentamiento y aire caliente no indujeron un efecto protector contra el DPF en los frutos de lima Persa. Contrario a lo esperado, estos tratamientos aumentaron la susceptibilidad al DPF, actuando como un estrés severo. Además, aceleraron la degradación de clorofila del flavedo propiciando cambios de color indeseables durante el almacenamiento. Futuras investigaciones deberían determinar los mecanismos del acondicionamiento que determinan las diferencias en la susceptibilidad al DPF entre cultivares y especies individuales de los cítricos.

REFERENCIAS

- Boland, F.E. (1995). Fruits and fruits products. En: Helrich K. (ed), p. 910-928. Official methods of analysis. Association of Official Analytical Chemists. Vol II. 16a edición. Washington, USA. 1298 p.
- Balandran-Quintana, R.R., A. Mendoza-Wilson, A.A. Gardea-Bejar, I. Vargas-Arispuro y M.A. Martínez-Tellez (2003). Irreversible chilling injury in zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.) could be a programmed event long before the visible symptoms are evident. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 307: 553-557.
- Ben-Yehoshua, S. (2003). Effects of postharvest heat and UV applications on decay, chilling injury and resistance against pathogens of citrus and other fruits and vegetables. *Acta Horticulturae* 599: 153-173.
- Biolatto A., D.E. Vázquez, A.M. Sancho, F.J. Carduza y N.A. Penzel (2005). Effect of commercial conditioning and cold quarantine storage treatments on fruits quality of 'Rouge La Toma' grapefruit (*Citrus paradisi* Macf). *Postharvest Biology and Technology* 32: 167-176.
- Brown, R.W. (1995). The water relations of range plants: Adaptations to water deficits. En: Bedunah D.J. y Sosebee R.E. (eds), p. 291-413. Wildland plants: Physiological ecology and developmental morphology. Society for Range Management, Denver. 710 p.
- Chávez, S.C., M.E. Bosquez, R.R. Madrid, Z.C. Pelayo, L. Pérez-Flores y G. L. Ponce de León (1993). Effect of harvesting season and postharvest treatments on storage life of Mexican limes (*Citrus aurantifolia* Swingle). *Journal of Food Quality* 16: 339-354.
- Erekan, M., M. Pekmezci y C.Y. Wang (2005). Hot water and curing treatments reduce chilling injury and maintain post-harvest quality of 'Valencia' oranges. *International Journal of Food Science and Technology* 40: 91-96.
- Fallik, E. (2004). Prestorage hot water (immersion, rinsing and brushing). *Postharvest Biology and Technology* 32: 125-134.
- González-Aguilar, G.A., M. Mulas, L. Zacarias y M.T. Lafuente (1997). Temperature and duration of water dips influence chilling injury, decay and polyamine content in 'Fortune' mandarins. *Postharvest Biology and Technology* 12: 61-69.
- Hintze, J. (2001). Number Cruncher Statistical Systems. Kaysville, Utah.
- Holland, N., H.C. Menezes y M. T. Lafuente (2002). Carbohydrate as related to heat-induced chilling tolerance and respiratory rate of 'Fortune' mandarin fruit harvested at different maturity stages. *Postharvest Biology and Technology* 25: 181-191.
- Kader, A.A. (2003). A perspective on postharvest horticulture (1978-2003). *HortScience* 38: 1004-1008.
- Kitinoya, L. y A.A. Kader (2003). Técnicas de Manejo Postcosecha a pequeña escala: Manual para los Productos Hortofrutícolas. Serie Horticultura No. 8. Universidad de California, Davis USA. 260p.
- Lindhout, K., M.T. Treeby y R.W. Parish (2004). Chill out: Chilling-related injuries in navel oranges. *Acta Horticulturae* 687: 77-84.

- Lurie, S. (1998). Postharvest heat treatments. *Postharvest Biology and Technology* 14: 257-269.
- McDonald, R.E., T.G. McCollum y E.A. Baldwin (1999). Temperature of water heat treatments influences tomato fruit quality following low-temperature storage. *Postharvest Biology and Technology* 16: 147-155.
- Osorio-Mora, O. y L. Zacarías (2000). Efecto de las bajas temperaturas en la biosíntesis de etileno en discos de flavedo de la mandarina 'Fortune'. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha* 3: 53-64.
- Paull, R.E. y N. Jung (2000). Heat treatment and fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology* 21: 21-37.
- Porat, R., D. Pavonchello, J. Peretz, S. Ben-Yehoshua y S. Lurie (2000). Effects of various heat treatments on the induction of cold tolerance and on the postharvest qualities of 'Star Ruby' grapefruit. *Postharvest Biology and Technology* 18: 159-165.
- Prasad, T. K (1996). Mechanisms of chilling-induced oxidative stress injury and tolerance in developing maize seedlings: changes in antioxidant system, oxidation of proteins and lipids, and protease activities. *Plant Journal* 10: 1017-1026.
- Reid, M.S. (1995). Ethylene in plant growth, development and senescence: En: Davies P.J. (ed), pp.486-508. *Plant hormones, Physiology, Biochemistry and Molecular Biology*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht/Boston/London. 717 p.
- Rivera, F., Z.G. Sotelo, F. Díaz de León, E. Bosquez, J. Domínguez, S. Chávez, J. Cajustes y L. J. Pérez-Flores (2004). Lipoperoxidation and antioxidant enzymes of refrigerated persian limes (*Citrus latifolia* Tanaka) as influenced by prestorage hot treatment. *Journal of Food Biochemistry* 28: 305-317.
- Rodov, V., S. Ben-Yehoshua, R. Albagli y D.Q. Fang (1995). Reducing chilling injury and decay of stored citrus fruit by hot water dips. *Postharvest Biology and Technology* 5: 119-127.
- Sabehat, A., D. Weiss, y S. Lurie (1998). Heat-shock proteins and across tolerance in plants. *Physiologia Plantarum* 103: 437-441.
- Sala, J.M. (1998). Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold-stored mandarin fruits. *Postharvest Biology and Technology* 13: 255-261.
- Sala, J.M. y M.T. Lafuente (1999). Catalase in the heat-induced chilling tolerance of cold stored hybrid fortune mandarin fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 47: 2410-2414.
- Sala, J.M. y M.T. Lafuente (2000). Catalase enzyme activity is related to tolerance of mandarin fruits to chilling. *Postharvest Biology and Technology* 20: 81-89.
- Schirra, M., M. Agabbio, G. D'Hallewin, M. Pala y R. Ruggio (1997). Response of Tarocco oranges to picking date, postharvest hot water dips and chilling storage temperature. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 45: 3216-3220.
- Schirra, M., G. D'Hallewin, P. Cabras, A. Angioni, S. Ben-Yehoshua y S. Lurie (2000). Chilling injury and residue uptake in cold-storage 'Star Ruby' grapefruit following thiabendazole and imazalil dip treatments at 20 and 50°C. *Postharvest Biology and Technology* 20: 91-98.
- Schirra, M., G. D'Hallewin, P. Cabras, A. Angioni y V.L. Garau (1998). Seasonal susceptibility of Tarocco oranges to chilling injury as affected by hot water and thiabendazole postharvest dip treatments. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 46: 1177-1180.
- Seymour, G.B., J.E. Taylor y G.A. Tucker (1993). *Biochemistry of Fruit Ripening*. Chapman and Hall, London. 454p.
- Sinclair, W.B. (1984). *The biochemistry and physiology of the lemon and other citrus fruits*. Universidad de California, California. 946 p.
- Thompson, J., A.A. Kader y K. Sylva (2006). *Compatibility Chart for Fruits and Vegetables in Short-term Transport or Storage*. Division of Agriculture and Natural Resources. Publication 21560. University of California, Davis. USA.
- Vendrell, M., E. Domínguez-Puigjaner y I. Llop-Tous (2001). Climacteric versus non-climacteric physiology. *Acta Horticulturae* 553: 345-349.
- Wang, C.Y. (1994). Chilling injury of tropical horticultural commodities. *HortScience* 29: 986-988.
- Wills, R. H. y T.H. Lee (2002). Introducción a la fisiología y manipulación postcosecha de frutas, hortalizas y plantas ornamentales. Acibria, S.A., Zaragoza. 240 p.
- Yang, S.F. y N.E. Hoffman (1984). Ethylene biosynthesis and its regulation in higher plants. *Annual Review of Plant Physiology* 35: 155-189.