

Tratamientos Térmicos y Progresión del Daño por Enfriamiento y de la Pigmentación de Tomates en Poscosecha¹

C. Henríquez, R. González y C. Krarup²

Departamento de Ciencias Vegetales
Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal
Pontificia Universidad Católica de Chile
Casilla 306-22, Santiago, Chile

Abstract

C. Henríquez, R. González and C. Krarup. Heat treatments and progression of chilling injury and pigmentation of tomatoes during postharvest. During two seasons fruit of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Dominique (R593), harvested in early autumn at maturity stage turning, were subjected to different heat treatments before storage at 2 °C to evaluate progression of chilling injury and pigmentation. In the first season heat treatments in air (24 h at 38 °C, 6 h at 42 °C h) or in water (2 min at 48 °C, 2 min at 50 °C and 15 min at 40 °C) were compared with a control kept at 20 °C before storage. After 14 days at 2 °C and after additional 3 days at 20 °C, results showed significant differences in fruit pitting but other symptoms were unaffected and, overall, the best treatment (6 h at 42 °C) had only a marginal effect on inhibition of chilling injury. In the second season, heat treatments in air (6, 12, 24, 48 or 96 h at 42 °C) were compared with a control kept at 20 °C after different periods at 2 °C. Degradation of chlorophyll either during or after the heat treatments was unaffected while lycopene synthesis in relation to the control was arrested in all cases. Again, the overall effect of the heat treatments on progression of chilling injury at 2 °C was only marginal.

Key words: Chlorophyll, lycopene, pitting, quality, symptoms.

Cien. Inv. Agr. 32(2). 113-123. 2005

INTRODUCCION

El almacenamiento de frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) a temperaturas inferiores a 10 °C resulta en daño por enfriamiento (DPE) (Lurie y Klein, 1991). El uso de temperaturas más cercanas a 0 °C no sólo podría permitir una mayor duración eventual de los frutos, sino también podría resultar en tratamientos físicos que reemplacen a los fumigantes químicos para desinfestar los frutos de insectos (McDonald *et al.*, 1998). En los últimos años diversos estudios han reportado que la aplicación de tratamientos térmicos antes del almacenamiento a bajas

temperaturas reduce la maduración y la manifestación de DPE en un variado grupo de productos, incluyendo tomate, manzana, palta y pepino, entre otros (Lurie, 1998). Esto se debería, al menos en parte, a la rápida inducción y al aumento de la expresión de genes que codifican las llamadas proteínas de choque de calor (HSPs), las cuales ejercen un rol protector ante situaciones de estrés térmico en los tejidos que las forman (Lurie *et al.*, 1996; Sabehat *et al.*, 1996).

En tomate, los primeros estudios demostraron que la aplicación de aire a temperaturas de 36, 38 o 40 °C por un período de tres días antes del

almacenamiento a 2 °C, evita la aparición de DPE en frutos verde maduros y, además, resulta en una mayor concentración de licopeno y una menor concentración de clorofila que en los frutos no tratados (Lurie y Klein, 1991). Investigaciones posteriores han demostrado la inducción de una mayor tolerancia a DPE, una inhibición de la maduración y un control o mayor resistencia a las enfermedades en tomate en respuesta a distintas combinaciones de temperaturas, periodos de exposición y medios de aplicación (agua o aire) antes del almacenamiento a bajas temperaturas (Lurie y Klein, 1991; Whitaker, 1994; Lurie y Sabehat, 1997; Mc Donald *et al.*, 1998 y 1999; Fallik *et al.*, 2002), al punto que actualmente se recomienda comercialmente la aplicación de tratamientos térmicos (Fallik, 2004).

A pesar de lo anterior, algunas investigaciones han indicado que los tratamientos térmicos no otorgan protección a DPE en ciertos cultivares (Lurie, 1997; Lucangeli *et al.*, 2000), que esta sería menor que la posible de lograr con un pequeño incremento en el estado de madurez del fruto (Whitaker, 1994), o que el efecto no sería muy marcado (McCollum y McDonald, 1993). Además, ciertos efectos fisiológicos de los tratamientos térmicos, como los cambios en la pigmentación de los frutos, han sido contradictorios. El contenido de clorofila ha sido menor y el de licopeno mayor en frutos tratados en comparación a frutos no tratados (Lurie y Klein, 1991), o no se han visto afectados por los tratamientos térmicos (McDonald *et al.*, 1996; Mc Donald *et al.*, 1998).

Investigaciones realizadas en el país con cultivares de sensibilidad variable a DPE (FA 1028, Milenio y R593), cosechados al estado inicio pintón y rosado, demostraron que los cultivares responden de manera distinta y que la aminoración del DPE de los frutos no fue clara ni significativa al aplicarles distintos tratamientos térmicos (Krarup y Vásquez, 2000). Estos resultados junto a los de otras investigaciones preliminares realizadas se contradicen con los estudios anteriores y se podrían deber a que las respuestas de los cultivares serían intrínsecamente variables y que, además, podrían

verse afectadas por estado de madurez, épocas, localidades y prácticas productivas (Whitaker, 1994; Lurie, 1997; Fallik, 2004).

Dada la discordancia de resultados y los interesantes beneficios previsibles de los tratamientos térmicos en aminoración de DPE, en regulación de la maduración, en el manejo de enfermedades y en el potencial uso para cumplir normas de cuarentena, la presente investigación tuvo como objetivos evaluar los efectos de tratamientos con aire o agua caliente recomendados en la disminución de la expresión de DPE y en la síntesis de licopeno o degradación de clorofila durante el proceso de maduración en poscosecha.

MATERIALES Y METODOS

Los frutos usados se obtuvieron de una producción comercial en invernadero, en la localidad de Quillota, (a inicios de otoño de 2002 y de 2003). El cultivar utilizado fue Dominique o R593 de Hazera Seeds (ANASAC), el cual ha sido clasificado de sensibilidad intermedia o moderada a DPE (Zamora, 2000). Los frutos fueron cosechados al estado de madurez pintón y seleccionados de acuerdo al tipo característico del cultivar (forma, peso, calidad), generando un material experimental homogéneo. En el laboratorio, los frutos se lavaron en solución acuosa de hipoclorito de sodio ($150 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$), secados en condiciones ambientales y asignados al azar a los distintos tratamientos.

En la primera temporada se evaluó el efecto de aplicaciones de calor en la aminoración de la sintomatología de DPE, mediante los siguientes tratamientos: 1. Aire 24 h a 38 °C (Lurie y Sabehat, 1997); 2. Aire 6 h a 42 °C (Lurie y Sabehat, 1997); 3. Inmersión en agua 2 min a 48 °C (Lurie *et al.*, 1997); 4. Inmersión en agua 15 min a 40 °C (Nagetey *et al.*, 1999); 5. Inmersión en agua 2 min a 50 °C (Lurie *et al.*, 1997; Lurie *et al.*, 1998) y 6. Control (inmersión en agua potable a 15 °C por 2 min).

En la segunda temporada se evaluó el efecto de tratamientos térmicos sobre la degradación de

clorofila y la síntesis de licopeno, su relación con la expresión de síntomas de DPE y se determinó el período crítico de almacenamiento para la evolución de los pigmentos a cada temperatura, mediante los siguientes tratamientos: 1. 6 h a 42 °C (considerado como tratamiento térmico óptimo en 2002); 2. 12 h a 42 °C; 3. 24 h a 42 °C; 4. 48 h a 42 °C; 5. 96 h a 42 °C y 6. Control (almacenamiento directo a 2 °C).

Una vez realizados los tratamientos térmicos, los frutos fueron almacenados en cámara a 2 °C $\pm$ 2 °C y 75 $\pm$ 5% de humedad relativa durante 14 días (primera temporada) y 6, 12, 18 y 24 días (segunda temporada) y después fueron transferidos por 3 ó 6 días adicionales a una cámara a 20 °C $\pm$ 1 °C y 50 $\pm$ 5% de humedad relativa, para permitir la expresión de los síntomas de DPE y avance de la maduración. Los parámetros evaluados fueron:

Pérdida de peso fresco (PPF). Medida como disminución del peso fresco inicial de los frutos y expresada como porcentaje del mismo.

Estado de madurez. Determinado con la carta de color del USDA (The John Henry Company, 1975) modificada para establecer los siguientes valores: 1, verde inmaduro; 2, verde maduro; 3, inicio pintón; 4, pintón; 5, rosado; 6, rojo claro y 7, rojo oscuro.

Superficie afectada por DPE. Presencia de síntomas como punteado 'pitting', arrugas, manchas en la coloración de fondo y enfermedades, expresadas como porcentaje de la superficie del fruto afectada por cada síntoma.

Firmeza. Según escala de Kader *et al.*, (1973) definida con los siguientes valores: 5, muy duro; 4, duro; 3, moderadamente firme; 2, levemente firme y 1, blando.

Calidad. Según escala Kader *et al.*, (1973) definida con los siguientes valores: 9 excelente (sin defectos); 7, bueno (defectos menores, no objetables); 5, regular (defectos leves a moderados, límite de venta); 3, malo (defectos graves, límite

de consumo); 1, muy malo (defectos excesivos, inútil o no comestible).

Concentración de clorofila. Se tomaron dos muestras de 1 cm de diámetro en la zona ecuatorial de cada fruto, con un peso de 1,00 $\pm$ 0,01 g, éstas se mantuvieron a -16 °C por 24 h, luego fueron descongeladas y sometidas al protocolo para la extracción de clorofila establecido por Porra *et al.*, (1989). La clorofila se extrajo con 10 mL de acetona al 80% (v/v). Posteriormente, se centrifugaron y se midió la absorción de luz al sobrenadante a longitudes de onda de 646,6; 663,6 y 750 nm en un espectrofotómetro de luz visible, modelo Shimadzu UV-240. Las lecturas de 646,6 y 663,6 nm fueron corregidas por la resta de la absorción de luz a 750 nm. Las concentraciones de clorofila a y b se determinaron con las siguientes ecuaciones: Clorofila a ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) = 12,25 $A_{663,6}$ - 2,55 $A_{646,6}$; Clorofila b ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) = 20,31 $A_{646,6}$ - 4,91 $A_{663,6}$; Clorofila total ($\mu\text{g}\cdot\text{mL}^{-1}$) = 17,76 $A_{646,6}$ + 7,34 $A_{663,6}$.

Concentración de licopeno. Los frutos previamente almacenados a -16 °C por 24 h fueron descongelados en estufa a 42 °C y sometidos al protocolo para extracción de licopeno establecido por Fish *et al.* (2002). El licopeno se extrajo por agitación a partir de una muestra de 0,5 $\pm$ 0,01 g tomada de un licuado del fruto, con 5 ml de acetona con hidroxitolueno butilado al 0,05%, más 5 ml de etanol al 95% y 10 ml de hexano. Al sobrenadante se le midió la absorción de luz a una longitud de onda de 503 nm en un espectrofotómetro de luz visible modelo Shimadzu UV-240. La concentración de licopeno fue determinada con la siguiente fórmula: Licopeno ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de tejido) = $A_{503} \cdot 31,2 \cdot \text{g de tejido}^{-1}$.

Medición de color. Se midió al inicio y al final de cada período de almacenamiento utilizando un colorímetro Minolta CR-300, el cual entrega los componentes L^* , a^* y b^* .

El diseño experimental fue completamente al azar con seis repeticiones (primera temporada) o cuatro repeticiones (segunda temporada) por tratamiento; la unidad experimental la constituyó cada fruto.

Los datos resultantes fueron sometidos a análisis de varianza con el programa estadístico SAS (NC, USA). Las pruebas de comparación múltiple de medias se realizaron con prueba de Tukey – Kramer (año 2002) y Student-Neuman-Keuls (SNK) (2003) a $p = 0,05$.

RESULTADOS Y DISCUSION

Primera temporada. En el Cuadro 1, se presentan los resultados obtenidos para los distintos tratamientos después de mantener los frutos 14 días a 2 °C. No hubo arrugas, manchas en la coloración de fondo o de enfermedades en este período. La calidad visual y la firmeza de los frutos no se vieron afectadas pero existieron diferencias significativas entre tratamientos para pérdida de peso fresco y punteado. La pérdida de peso fresco fue mayor en el tratamiento con aire a 38 °C por 24 h, lo que es esperable por la prolongada

exposición de los frutos a condiciones de alto déficit de presión de vapor (DPV) y los valores observados son similares a los reportados con temperatura de almacenamiento de 2 °C (Lurie y Sabehat, 1997). El punteado es un síntoma habitual de DPE en frutos de tomate y se presenta como pequeñas depresiones o puntos irregulares y profundos. Después de 14 días a 2 °C, el punteado se concentró en pequeñas áreas del hombro de los frutos y, aunque incipiente, fue la única variable que generó diferencias significativas entre el control y todos los tratamientos de aplicación de calor hechos (Cuadro 1). Al igual que en otros estudios resumidos por Lurie (1997), en que se usaron tratamientos térmicos similares antes de la exposición a 2 °C, se disminuyó el DPE al disminuir el punteado, pero este es sólo uno de los síntomas de DPE y, aunque disminuye la calidad de los frutos, no llega a traducirse en diferencias significativas de la misma.

Cuadro 1. Efecto de los tratamientos térmicos sobre parámetros asociados al daño por enfriamiento de frutos de tomate, después de 14 días de almacenamiento a 2 °C.

Table 1. Effects of prestorage heat treatments on parameters associated to chilling injury of tomato fruits, after 14 days storage at 2 °C.

Tratamientos	PPF ¹ (%)	Punteado (%)	Firmeza ² (escala, 1-5)	Calidad ³ (escala, 1-9)
Aire 24 h a 38 °C	3,8 a ⁴	4,7 b ⁴	4,7 a ⁴	6,7 a ⁴
Agua 15 min a 40 °C	2,7 b	6,3 b	5,0 a	7,0 a
Aire 6 h a 42 °C	2,6 b	0,0 b	5,0 a	7,0 a
Agua 2 min a 48 °C	2,3 b	4,7 b	5,0 a	7,0 a
Agua 2 min a 50 °C	2,3 b	3,3 b	5,0 a	7,0 a
Control	2,3 b	14,2 a	4,7 a	6,5 a

¹PPF = Pérdida de peso fresco

FWL = Fresh weight loss

²Escala firmeza = 5 muy duro a 1 blando.

Firmness = 5 extra hard to 1 soft.

³Escala de calidad = 9 excelente (sin defectos) a 1 muy malo (inútil no comestible).

Quality = 9 excellent (free from defects) to 1 extremely poor (not usable).

⁴Valores seguidos de la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0,05$).

Mean separation in columns by Tukey ($p \leq 0.05$).

Como se aprecia en el Cuadro 2, después de seis días adicionales a 20 °C se observaron diferencias significativas entre tratamientos sólo para punteado y no para las variables pérdida de peso fresco, arrugas, firmeza y calidad. Al igual que para después de 14 días a 2 °C, no se desarrollaron

manchas notables en la coloración ni enfermedades visibles en los tratamientos (datos no mostrados); esto último es un hecho sorprendente porque la mayoría de las investigaciones señala un claro incremento de las pudriciones como síntoma asociado o secundario de DPE (McCollum and

McDonald, 1993, Lurie y Sabehat, 1997) y se podría deber al estricto plan de aplicaciones de fungicidas en precosecha y a la desinfección adicional de los frutos en el lavado poscosecha, lo que no se habría hecho en otros estudios (Lurie y Sabehat, 1997).

Los valores de punteado del Cuadro 2 indican que este síntoma típico de DPE se intensificó después del período de almacenamiento a 20 °C en todos los tratamientos. Dos de estos, aire a 42 °C por 6 h e inmersión en agua a 50 °C por 2 min,

mostraron un porcentaje significativamente menor de superficie afectada por punteado que el control, pudiendo estimarse que aminoran el DPE en los frutos de tomate. Resultados similares fueron observados por Lurie *et al.* (1997) y Lurie y Sabehat (1997), quienes determinaron que estos tratamientos controlaron el desarrollo de DPE. Sin embargo, la calidad visual, medida que integra todos los síntomas de DPE y valora el aspecto y la coloración general de los mismos, nuevamente no fue significativamente distinta entre tratamientos.

Cuadro 2. Efecto de los tratamientos térmicos sobre parámetros asociados al daño por enfriamiento de frutos de tomate, después de 14 días de almacenamiento a 2 °C más 6 días a 20 °C.

Table 2. Effects of prestorage heat treatments on parameters associated to chilling injury of tomato fruits, after 14 days storage at 2 °C plus 6 additional days at 20 °C.

Tratamiento	PPF ¹ (%)	Punteado (%)	Arrugas (%)	Firmeza ² (escala, 1-5)	Calidad ³ (escala, 1-9)
Aire 24 h a 38 °C	6,2 a ⁴	29,2 ab ⁴	2,5 a ⁴	3,3 a ⁴	3,7 a ⁴
Agua 15 min a 40 °C	5,9 a	22,2 ab	1,7 a	4,3 a	4,2 a
Aire 6 h a 42 °C	5,1 a	15,3 b	0,0 a	4,7 a	4,2 a
Agua 2 min a 48 °C	4,9 a	17,2 ab	1,7 a	4,2 a	5,0 a
Agua 2 min a 50 °C	5,0 a	13,3 b	0,0 a	4,2 a	3,3 a
Control	5,1 a	35,0 a	0,0 a	3,8 a	4,2 a

¹PPF = Pérdida de peso fresco.

FWL = Fresh weight loss.

²Escala firmeza = 5 muy duro a 1 blando.

Firmness = 5 extra hard to 1 soft.

³Escala de calidad = 9 excelente (sin defectos) a 1 muy malo (inútil no comestible).

Quality = 9 excellent (free from defects) to 1 extremely poor (not usable).

⁴Valores seguidos de la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente según Tukey ($p \leq 0,05$).

Mean separation in columns by Tukey ($p \leq 0.05$).

Al considerar en conjunto los parámetros estudiados, no se observó un beneficio claro o diferencias significativas importantes que hagan recomendables los tratamientos térmicos. Contrariamente a lo determinado en investigaciones anteriores (Lurie y Klein, 1991; Lurie *et al.*, 1993; Lurie y Sabehat, 1997; McDonald *et al.*, 1998) y que han llevado a recomendar su aplicación en condiciones comerciales (Fallik, 2004), los resultados concuerdan mejor con lo observado por Whitaker (1994), Lucangeli *et al.*, (2000) y Lurie (1997), quienes no encontraron beneficios o estos fueron

muy escasos. Esto se podría deber a diferencias entre cultivares (Lurie, 1997), estados de madurez (Whitaker, 1994) u otros factores (Fallik, 2004) que serían determinantes para que los tratamientos térmicos sean más efectivos en atenuar el DPE. Los escasos beneficios determinados en este estudio, centrado en aspectos cualitativos visibles, harían poco justificable las complicaciones de manejo y los mayores costos que plantea el realizar tratamientos térmicos para aminorar DPE, debiendo su eventual uso estar ligado a otros beneficios potenciales como control de maduración, enfermedades o plagas.

Segunda temporada. La maduración se refleja en la evolución del color de los frutos de tomate, durante la cual disminuye la clorofila y aumenta el licopeno (Grierson y Kader, 1986). El análisis de la progresión de la pigmentación es una manera objetiva de medir efectos de tratamientos de calor y frío. El contenido inicial de clorofila de los frutos al momento de la cosecha fue de $4,94 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$. Este valor referencial disminuyó drásticamente durante los primeros 12 días de almacenamiento (6 días a 2°C más 6 días a 20°C) para estabilizarse en

torno a los $0,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en los tratamientos control y de 42°C por 6, 12 y 24 h, y entre 1 y $2 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ en los de 42°C por 48 y 96 h, tal como se observa en el Cuadro 3, sin diferencias estadísticas significativas entre ellos dado que se alcanzaron los valores mínimos habitualmente observados para tomate (Kader y Grierson, 1986, Lurie y Klein 1992). McDonald *et al.* (1998 y 1999) tampoco encontraron efecto de los tratamientos térmicos sobre la concentración de clorofila en frutos verde maduro del cultivar Sunbeam.

Cuadro 3. Contenido de clorofila total en frutos de tomate sometidos a diferentes tratamientos térmicos antes de su almacenamiento, después de diferentes periodos a 2°C más 6 días a 20°C .

Table 3. Chlorophyll content of tomato fruits subjected to heat treatments before storage for different periods at 2°C plus 6 additional days at 20°C .

Tratamientos h a 42°C	Contenido de clorofila total, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$			
	6 días a 2°C + 6 días a 20°C	12 días a 2°C + 6 días a 20°C	18 días a 2°C + 6 días a 20°C	24 días a 2°C + 6 días a 20°C
Control	0,56 ab ¹	0,30 a ¹	0,51 a ¹	0,66 a ¹
6	0,59 ab	0,56 ab	0,95 a	0,69 a
12	0,50 a	0,76 ab	0,55 a	0,61 a
24	0,38 a	1,19 b	1,08 a	0,69 a
48	1,58 b	0,95 ab	0,91 a	1,86 a
96	1,27 b	0,89 ab	0,93 a	1,04 a

¹Valores seguidos de la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente según Student-Neuman-Keuls (SNK) ($p \leq 0,05$).

Mean separation in columns by Student-Neuman-Keuls ($p \leq 0.05$).

Lurie y Klein (1992) determinaron valores similares, pero con diferencias significativas entre los tratamientos térmicos y el control en frutos verde maduro del cultivar ‘Rehobot 121’; esto se explica por los distintos estados de madurez usados, ya que los frutos verde maduro presentan $30 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de clorofila mientras que los pintones tienen $5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ y, por lo tanto, la exposición a altas temperaturas resulta menos significativa. Debido a esto se puede deducir que el licopeno, pigmento que aumenta muy significativamente en la maduración, debiera constituirse en un mejor indicador que el contenido de clorofila del efecto de los tratamientos térmicos en frutos pintones.

El contenido de licopeno no aumentó en ninguno

de los tratamientos de calor al compararlos con el control. Durante el almacenamiento a 42°C no se produce aumento del contenido de licopeno debido a que las altas temperaturas detienen temporalmente el mecanismo de síntesis (Grierson y Kader, 1986). El máximo contenido de pigmento se produjo en el control luego de 6 días a 2°C más 6 días a 20°C ($16,5 \mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$) y los valores fueron progresivamente menores al realizar un período de exposición a calor antes del almacenamiento o el período de exposición a 2°C de los mismos (Cuadro 4), existiendo una relación inversa entre ambos: al aumentar el tiempo de almacenamiento a 2°C , disminuye el tiempo del tratamiento térmico que resultará en la detención de la síntesis de licopeno.

Cuadro 4. Contenido de licopeno en frutos de tomate sometidos a tratamientos térmicos antes de su almacenamiento por diferentes periodos a 2 °C más 6 días a 20 °C.

Table 4. Lycopene content of tomato fruits subjected to different heat treatments before storage for different periods at 2 °C plus 6 additional days at 20 °C.

Tratamientos h a 42 °C	Contenido de licopeno, $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$			
	6 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	12 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	18 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	24 días a 2 °C + 6 días a 20 °C
Control	16,49 d ¹	15,60 c ¹	9,75 c ¹	7,24 c ¹
6	10,67 bc	12,36 bc	7,07 c	4,98 b
12	12,99 cd	9,00 b	5,41 b	5,23 b
24	12,99 cd	5,27 a	5,24 b	4,54 b
48	7,64 b	4,60 a	5,09 b	3,51 a
96	4,49 a	5,60 a	3,93 a	5,04 b

¹Valores seguidos de la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente, según *Student-Neuman-Keuls* (SNK) ($p \leq 0,05$).

Mean separation in columns by *Student-Neuman-Keuls* (SNK) ($p \leq 0.05$).

Los resultados indican que tratamientos térmicos de más de 24 h a 42 °C y almacenamiento superior a las 12 días a 2 °C producirían una inactivación permanente del aparato biosintético del licopeno. Esto concuerda con lo obtenido por Mc Donald *et al.*, (1996, 1998), en frutos verde maduro de los cultivares 'Agriset' y 'Sunbeam' sometidos a tratamientos térmicos en aire (2 días a 38 °C) y de inmersión en agua (60 min a 39, 42 y 45 °C). Sin embargo, se opone a lo reportado por Lurie y Klein (1991, 1992), quienes observaron mayor cantidad de licopeno y menor contenido de clorofila en frutos verde maduro tratados por 3 días a 38 °C antes de su conservación a 2 °C por 3 semanas y 5 días adicionales a 20 °C.

Los resultados demuestran que el efecto de estrés por temperaturas es mayor sobre la síntesis de licopeno que sobre la degradación de clorofila, puesto que este último continuó degradándose durante el desarrollo de los tratamientos térmicos y el almacenamiento a 2 °C, lo que coincide con lo reportado por Lurie y Klein (1991) e indica una mayor amplitud térmica para la degradación de la clorofila.

Los cambios en coloración de los frutos, medidos como a^* (carácter verde rojo en ausencia de azul o amarillo) revelaron un estancamiento de la evolución del color y por lo mismo de la maduración a 2 °C. Luego de traspasar los frutos a 20 °C aumentó el valor de a^* por síntesis de licopeno (Cuadro 5), pero no se encontraron diferencias significativas entre el control y el tratamiento térmico considerado mejor en los estudios anteriores (6 h a 42 °C). Lurie *et al.* (1996) encontraron una evolución positiva del valor de a^* durante la maduración de frutos verde maduro del cv. Daniella. Sin embargo, reportaron valores de a^* mayores en aquellos frutos sometidos a 38 °C por 3 días previo al almacenaje a 2 °C. Lurie y Sabehat (1997) reconocieron diferencias en el efecto de los tratamientos 2 días a 38 °C y 6 h a 42 °C sobre el color de la piel de tomates cv. Daniella almacenados por 3 semanas a 2 °C más 10 días a 20 °C, sin encontrar diferencias entre el segundo de ellos y el control. Esto, sumado al cultivar y estado de madurez pueden ser diferencias que generan respuestas distintas de los frutos.

Cuadro 5. Valores del carácter de color a^* en frutos de tomate sometidos a diferentes tratamientos térmicos antes de su almacenamiento por diferentes periodos a 2 °C más 6 días a 20 °C.

Table 5. Values of color character a^* of tomato fruits subjected to different heat treatments before storage for different periods at 2 °C plus 6 additional days at 20 °C.

Tratamientos h a 42 °C	a^* ¹			
	6 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	12 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	18 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	24 días a 2 °C + 6 días a 20 °C
Control	11,26 b ²	9,50 c ²	6,23 c ²	6,29 c ²
6	8,27 b	4,22 bc	1,40 b	2,98 bc
12	8,65 b	4,16 bc	3,49 bc	1,84 b
24	7,95 b	-0,53 ab	0,13 ab	2,06 b
48	1,13 a	-1,09 a	0,36 ab	-1,28 a
96	-2,19 a	0,76 ab	-0,62 a	-1,72 a

¹ a^* = carácter verde rojo en ausencia de azul o amarillo.

a^* = green-red character in absence of blue or yellow.

²Valores seguidos de la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente, según Student-Neuman-Keuls (SNK) ($p \leq 0,05$).

Mean separation in columns by Student-Neuman-Keuls (SNK) ($p \leq 0.05$).

En cuanto a los síntomas de DPE a la salida de la cámara de 2 °C, el porcentaje de superficie afectada por punteado fue incipiente. No obstante, este síntoma que es el más objetivo y definido se hizo notable luego de 3 días a 20 °C. En el Cuadro 6 se observa que el daño se manifestó de manera importante en el tratamiento a 42 °C por 96 h. Además este aumentó a medida que se extendió el período de almacenamiento a bajas temperaturas. Luego de 6 días a 2 °C más 6 días a 20 °C los frutos sometidos a 42 °C por 24 h o más presentaron un notable desarrollo de punteado

comparado con el control, lo cual sería resultado de daño por altas temperaturas que presenta síntomas similares a DPE (Lurie y Sabehat, 1997, Lurie, 1998). Después de 24 días a 2 °C y 6 días a 20 °C no se encontró diferencias en el porcentaje de punteado entre el control y los tratamientos, al igual que en porcentaje de superficie afectada por arrugas, manchas en la coloración de fondo y pudriciones. En todos los períodos analizados los frutos sometidos a 42 °C por 48 y 96 h presentaron notas de calidad inferior a los otros tratamientos (datos no mostrados).

Cuadro 6. Superficie afectada por punteado en frutos de tomate sometidos a tratamientos térmicos antes de su almacenamiento por diferentes periodos a 2 °C más 6 días a 20 °C.

Table 6. Surface area affected by pitting in tomato fruits subjected to different heat treatments before storage for different periods at 2 °C plus 6 additional days at 20 °C.

Tratamientos h a 42 °C	Punteado, %			
	6 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	12 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	18 días a 2 °C + 6 días a 20 °C	24 días a 2 °C + 6 días a 20 °C
Control	1,25 a ¹	3,13 a ¹	7,50 a ¹	11,25 ab ¹
6	2,50 ab	5,00 ab	2,50 a	5,63 a
12	2,50 ab	6,25 ab	4,38 a	6,25 a
24	6,25 b	11,25 c	7,50 a	6,25 a
48	16,25 c	13,75 c	7,50 a	15,00 b
96	10,00 c	10,00 bc	15,00 b	11,25 b

¹Valores seguidos de la misma letra dentro de una columna no difieren significativamente, según Student-Neuman-Keuls (SNK) ($p \leq 0,05$).

Mean separation in columns by Student-Neuman-Keuls (SNK) ($p \leq 0.05$).

Desde que Lurie y Klein (1991 y 1992) reportaron una menor expresión de síntomas de DPE en frutos de tomate sometidos a tratamientos térmicos y menor número de frutos con síntomas de pudriciones, otros estudios han reafirmado estos beneficios (Lurie y Sabehat, 1997; Mc Donald *et al.*, 1998 y 1999). A pesar que algunas investigaciones no han podido demostrar efectos positivos importantes (Whitaker, 1994; Lurie, 1997; Krarup y Vázquez, 2000; Lucangeli *et al.*, 2000), la idea de utilidad de los tratamientos térmicos es predominante e incluso se recomienda su aplicación (Fallik, 2004). Los resultados de las investigaciones reportadas aquí cautelán nuevamente que, bajo ciertas condiciones, los tratamientos térmicos no reducen el DPE de manera significativa en tomate. Estas variaciones en la respuesta se han observado también en otras especies como jengibre, mango y naranja, y podrían deberse a variaciones entre épocas productivas, localidades, clima, suelo, manejo cultural, estado de madurez y otros factores (Fallik, 2004).

CONCLUSIONES

Varias investigaciones realizadas en la última década han demostrado efectos positivos de la aplicación de calor a frutos de tomate antes de su almacenamiento a temperaturas inductoras de DPE, al punto que es una práctica comercial recomendada en algunos países. Sin embargo, los resultados de éstas y algunas investigaciones anteriores demuestran que los tratamientos térmicos no siempre reducen de manera significativa el DPE, ni afectan mayormente la maduración o contenido de pigmentos de los frutos expuestos a temperaturas cercanas a 0 °C. La disparidad de resultados es llamativa y amerita identificar que factores del producto (cultivar, estado de madurez u otros), del ambiente productivo (temperaturas, radiación u otros), o de los mismos tratamientos térmicos (temperatura, duración u otro) podrían estar generando respuestas tan variadas para, eventualmente, capitalizar los beneficios postulados para su aplicación tecnológica.

RESUMEN

Durante dos temporadas de estudios, frutos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) cv. Dominique (R593), cosechados a inicios de otoño en estado de madurez pintón, fueron sometidos a diferentes tratamientos térmicos antes de su almacenamiento a 2 °C para evaluar la progresión del daño por enfriamiento y de la pigmentación. En la primera temporada se compararon tratamientos térmicos en aire (24 h a 38 °C, 6 h a 42 °C h) o en agua caliente (2 min a 48 °C, 2 min a 50 °C y 15 min a 40 °C), con un control mantenido a 20 °C antes del almacenamiento. Después de 14 días a 2 °C y después de 3 días adicionales a 20 °C, los resultados demostraron efectos significativos en el punteado de los frutos pero no en otros síntomas y, en general, el mejor tratamiento térmico (6 h a 42 °C) sólo demostró un efecto marginal en inhibición del DPE. En la segunda temporada, tratamientos térmicos en aire caliente (6, 12, 24, 48 ó 96 h a 42 °C) fueron comparados con un control mantenido a 20 °C antes del almacenamiento. Después de diferentes periodos a 2 °C, la degradación de clorofila no se vio afectada mientras que la síntesis de licopeno en relación al testigo disminuyó en todos los tratamientos. Nuevamente, el efecto general de los tratamientos térmicos en la progresión del DPE a 2 °C fue sólo marginal.

Palabras clave: Calidad, clorofila, licopeno, punteado, síntomas.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen el financiamiento recibido para la realización de esta investigación de Fondecyt, proyecto N° 1020882.

LITERATURA CITADA

- Fallik, E. 2004. Prestorage hot water treatments (immersion, rinsing and brushing). Postharvest Biol. Technol. 32: 125-134.
- Fallik, E., Z. Ilic, S. Tuvia-Alkalai, A. Copel, and Y. Polevaya. 2002. A short hot water rinsing

- and brushing reduces chilling injury and enhance resistance against *Botrytis cinerea* in fresh harvested tomato. *Adv. Hortic. Sci.* 16:3-6.
- Fish, W.W., P. Perkins-Veazie and J.K. Collins. 2002. A quantitative assay for lycopene that utilizes reduced volumes of organic solvents. *J. Food Compos. Anal.* 15: 309-317.
- Grierson, D. and A. Kader. 1986. Fruit ripening and quality. p. 241-280. *In: J. Atherton y J. Rudich (eds) The Tomato Crop. A Scientific Basis for Improvement.* Chapman and Hall, London, U.K.
- Kader, A.A., W.J. Lipton and L.L. Morris. 1973. Systems for scoring quality of harvested lettuce. *HortScience* 8: 408-409.
- Krarup, C. y D. Vásquez. 2000. Tratamientos térmicos, prealmacenamiento y daño por enfriamiento en postcosecha de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). 51^{er} Congreso Agronómico de Chile, Talca, Chile. Libro de Resúmenes, p.123.
- Lucangeli, C., G. Polenta, R. Murray y C. Budde. 2000. Daño por frío en tomates cherry almacenados a 14 °C y 2 °C después de recibir pretratamientos de estrés térmico. www.inta.gov.ar/sanpedro/09_biblioteca_virtual/xxiii_congreso_asaho/09xxiii_asaho.lucangeli1.htm. Consultado el 15 de Noviembre de 2004.
- Lurie, S. 1997. Postharvest heat treatments of horticultural crops. *Horticultural Reviews* 22: 91-121.
- Lurie, S. 1998. Review: Postharvest heat treatments. *Postharvest Biol. Technol* 14: 257-269.
- Lurie, S., A. Handros, E. Fallik, and R. Shapira. 1996. Reversible inhibition of tomato fruit gene expression at high temperature. *Plant Physiol.* 110: 1207-1214.
- Lurie, S., and J.D. Klein. 1991. Acquisition of low-temperature tolerance in tomatoes by exposure to high-temperature stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 116: 1007-1012.
- Lurie, S., and J.D. Klein. 1992. Ripening characteristics of tomatoes stored at 12 °C and 2C following a prestorage heat treatment. *Sci. Hortic.* 51: 55-64.
- Lurie, S., J.D. Klein, E. Fallik, and L. Vargas. 1998. Heat treatment to reduce fungal rots, insect pest and to extend storage. *Acta Horticulturae* 464: 309-313.
- Lurie, S., M. Laamim, Z. Lapsker, and E. Fallik. 1997. Heat treatments to decrease chilling injury in tomato fruit: Effects on lipids, pericarp lesions and fungal growth. *Physiol. Plant.* 100:297-302.
- Lurie, S., and A. Sabehat. 1997. Prestorage temperature manipulations to reduce chilling injury in tomatoes. *Postharvest Biol. Technol.* 11: 57-62.
- McCollum, T.G., and R.E. McDonald. 1993. Hot water treatment improves tomato shelf life. *HortScience* 28: 511.
- McDonald, R.E., T.G. McCollum, and E.A. Baldwin. 1996. Prestorage heat treatments influence free sterols and flavor volatiles of tomatoes stored at chilling temperature. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 121: 525-530.
- McDonald, R.E., T.G. McCollum, and E.A. Baldwin. 1998. Heat treatment of mature-green tomatoes: differential effects of ethylene and partial ripening. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 123: 457-462.
- McDonald, R.E., T.G. McCollum, and E.A. Baldwin. 1999. Temperature of water heat treatments influences tomato fruit quality following low-temperature storage. *Postharvest Biol. Technol.* 16: 147-155.
- Nagety, F.L., L. Mao, and Lc. Mao. 1999. Hot water immersion alleviates chilling injury in tomato fruit. *Acta Agriculturae Zhejiangensis* 11: 67-72.
- Porra, R.J., W.A. Thompson, and P.E. Kriedemann. 1989. Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls *a* and *b* extracted with four different solvents: Verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochim. Biophys. Acta* 975: 384-394.
- Sabehat, A., D. Weiss, and S. Lurie. 1996. The correlation between heat-shock protein accumulation and persistence and chilling

- tolerance in tomato fruit. *Plant Physiol.* 110: 531-537.
- The John Henry Company. 1975. Color classification requirements in United States Standards for Grades of Fresh Tomatoes. USDA Visual Aid TM-L-I, Lansing, MI, USA. 1p.
- Whitaker, B.D. 1994. A reassessment of heat treatment as a means of reducing chilling injury in tomato fruit. *Postharvest Biol. Technol.* 4: 75-83.
- Zamora, M.P. 2000. Sintomatología y susceptibilidad a daño por enfriamiento en cultivares de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). Tesis de grado. Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal, Pontificia Universidad Católica de Chile. Santiago, Chile. 46 pp.

