

DAÑO POR FRÍO EN MELÓN CANTALOUPE EN DOS ESTADOS DE MADUREZ

CHILLING INJURY IN CANTALOUPE MELONS AT TWO MATURITY STAGES

María Luisa García Sahagún,² Irasema Vargas-Arispuro¹, Alfonso A. Gardea Béjar¹, Martín H. Tiznado¹ y Miguel Ángel Martínez-Téllez^{1*}

¹ Laboratorio de Fisiología Vegetal, Coordinación de Tecnología de Alimentos de Origen Vegetal, Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. Carr. A la Victoria Km 0.6, Apdo. Postal 1735, C.P. 83000 Hermosillo, Son. México. Tel: 01(662) 289-2400 Ext. 230/312. norawa@cascabel.ciad.mx ²Dirección actual: Departamento de Producción Agrícola, Centro Universitario de Ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. Km 15 Carr. A Nogales, Predio Las Agujas, Zapopan, Jalisco. Tel: 01(333) 682-0743.

* Autor para correspondencia

RESUMEN

En este trabajo se evaluaron las respuestas fisiológicas asociadas con la manifestación de los síntomas de daño por frío (DF), en frutos de melón cantaloupe en dos estados de madurez. Se utilizaron frutos en madurez fisiológica y madurez de consumo almacenados a 2 y 5° C, a los que se les evaluó el índice de daño por frío, pérdida de peso, firmeza, pH, acidez titulable, contenido de sólidos solubles totales y color del epicarpio; así como la pérdida iónica, la acumulación de etanol, acetaldehído, la velocidad de respiración y la velocidad de producción de etileno. El DF en los frutos almacenados a 2° C en ambos estados de maduración, se manifestó con síntomas similares que a 5° C, pero en diferentes tiempos. Los síntomas del DF se iniciaron en el epicarpio, al presentar zonas con picado superficial, de una coloración marrón, y finalmente se notó el ablandamiento de las zonas dañadas y la formación de zonas acuosas. Los frutos en madurez fisiológica fueron más susceptibles al frío, ya que a los 13 d de almacenamiento a 2° C alcanzaron el máximo nivel de deterioro, mientras que los frutos en madurez de consumo demoraron 30 d. El DF fue acompañado de la reducción de peso, de firmeza, cambios en la velocidad de respiración y de la acumulación de acetaldehído y etanol. El daño por frío de los frutos en ambos estados de madurez se correlacionó positivamente con la velocidad de producción de etileno y firmeza. Sin embargo, en los frutos en madurez fisiológica la correlación se presentó con la acumulación de acetaldehído; y en los frutos en madurez de consumo se correlacionó con la velocidad de respiración. Se concluye que los frutos de melón en madurez de consumo son más tolerantes a las bajas temperaturas de almacenamiento, que los frutos en madurez fisiológica; además, el estado de madurez es determinante en la manifestación de los síntomas de DF, tanto para el momento de aparición como en la severidad de los mismos.

Palabras clave: *Cucumis melo*, L., índice de madurez, color, etanol, acetaldehído.

SUMMARY

In this work we evaluated physiological responses in ripe and unripe cantaloupe melons related to chilling injury (CI) symptoms. Weight loss, firmness, pH, titratable acidity, total soluble solid, color,

electrolyte leakage, ethanol and acetaldehyde accumulation, and respiration and ethylene production rates were monitored on ripe and unripe fruits. Chilling injury in both maturation stages showed similar symptoms, but these appeared at different periods. CI symptoms found in epicarp were mainly pitting, then turning into brown discoloration and finally depressed areas. This produced watery zones in the mesocarp. Unripe fruits were more susceptible to CI than ripe melons. When stored at 2°C they displayed the highest CI damage after 13 d, while ripe fruits developed similar symptoms but only after 30 d. CI caused textural firmness reduction, and both acetaldehyde and ethanol accumulation. Severity of chilling injury in both ripe and unripe stages was correlated with physiological weight loss, ethylene production rate and textural firmness reduction. CI in unripe fruits was correlated with acetaldehyde accumulation, although in ripe fruits correlated with respiration rate. We concluded that ripe melons can tolerate low storage better than unripe melons. Additionally, maturity index is a key factor to determine the severity of chilling injury symptoms.

Index words: *Cucumis melo*, L., maturity, color, ethanol, acetaldehyde.

INTRODUCCIÓN

En México el melón (*Cucumis melo* L.) es un producto de alta importancia comercial, que en la temporada 1999-2000 representó 9 % del total de la exportación hortofrutícola hacia los Estados Unidos y Canadá. Durante ese periodo, el valor de la exportación ascendió a 162.1 millones de dólares (Hortalizas, Frutos y Flores, 2001). Sin embargo, la conservación frigorífica del melón induce un deterioro acelerado debido a la susceptibilidad al daño por frío (Namesny, 1997).

El daño por frío (DF) es un desorden fisiológico que se manifiesta principalmente en los frutos de origen tropical o subtropical, al ser expuestos a temperaturas superiores al

punto de congelación, generalmente entre 1 y 12 °C (Parkin *et al.*, 1989; Saltveit y Morris, 1990). La severidad de la expresión de los síntomas dependen de varios factores, como especie, cultivar, condiciones y localidad de desarrollo, temperatura y tiempo de exposición, así como los tratamientos posteriores al desarrollo del DF (Saltveit, 2003).

Usualmente los síntomas de DF se expresan después de transferir los productos de la temperatura de daño, a otra mayor (~20 °C). Sin embargo, algunos frutos como tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), pepino (*Cucumis sativus* L.), papa (*Solanum tuberosum* L.) y cítricos (*Citrus spp.*) pueden desarrollar síntomas como textura harinosa, picado superficial y maduración irregular, característicos del DF, durante la exposición a la temperatura de daño (Lyons, 1973; Markhart, 1986; Saltveit, 2003, Martínez-Téllez y Lafuente, 1997).

En el caso del melón cantaloupe, el DF se manifiesta por una maduración anormal (lento viraje del verde a amarillo y falta de aroma), acompañada frecuentemente por la aparición de manchas o zonas edematosas en la corteza llamadas "picado". La susceptibilidad a estas anomalías es variable en función de la variedad, Y las temperaturas recomendadas de almacenamiento varían según el grado de madurez del producto y los días que se quiera conservar. Para el melón cantaloupe se recomiendan temperaturas de almacenamiento de 3 a 5 °C y una humedad relativa de 85 a 90 % para almacenamiento de 10 a 14 d (Namesny, 1997; Suslow *et al.*, 2004).

Anterior a la manifestación de los síntomas de DF en los frutos, como respuesta a la exposición a las bajas temperaturas, la permeabilidad de las membranas celulares aumenta y se observan alteraciones en la velocidad de respiración y producción de etileno, acumulación de sustancias tóxicas, cambios en la estructura celular y en la síntesis y activación de enzimas (Saltveit, 2003); estas respuestas primarias del tejido susceptible propician la aparición de los síntomas característicos del DF (Lyons, 1973).

La madurez al momento de cosecha es el factor más importante que determina la vida de almacenamiento y la calidad final de la fruta. Las frutas inmaduras son más propensas a la marchitez por pérdida de agua y al daño mecánico, y resultan de calidad inferior cuando maduran. Por su parte, las frutas sobremaduras se vuelven blandas, harinosas e insípidas casi inmediatamente después de la cosecha. Por tanto, cualquier fruta cosechada prematura o tardíamente es más susceptible a la incidencia de desórdenes fisiológicos y tiene una vida de almacenamiento más corta que la cosechada en madurez óptima (Reid, 2002). Los frutos de tomate, plátano (*Musa paradisiaca* L.), cítricos (*Citrus spp.*) y durazno (*Prunus persica* L.) toleran

mejor las bajas temperaturas cuando son almacenados en estado de madurez de consumo (Pantástico, 1984).

Las investigaciones referentes a los procesos involucrados con la formación del picado y las áreas blandas, síntomas característicos del DF, no han sido elucidados por completo en frutos de melón con diferente estado de madurez, aunque Lyons (1973) al igual que Wang (1989) han propuesto que estos cambios son irreversibles al producir acumulación de metabolitos tóxicos y alteración de los componentes de pared celular.

Al considerar la importancia comercial del melón y que su estado de madurez influye en la incidencia del DF, se planteó como objetivo caracterizar el daño por frío en frutos de melón almacenados en dos estados de madurez.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

Se emplearon frutos de melón cantaloupe variedad "Copa de Oro", producidos en la Costa de Hermosillo, Sonora. Se consideró un fruto como unidad experimental y los frutos se seleccionaron de acuerdo con el estado de madurez (red formada, presencia de zona de abscisión del pedúnculo) y por tamaño y ausencia de daños por heridas, plagas o enfermedades. Se emplearon frutos en madurez fisiológica (MF) determinada por la coloración verde en el epicarpio, y frutos en madurez de consumo (MC) en los que predominó el color amarillo.

Los frutos se desinfectaron con una solución de 400 mg L⁻¹ de hipoclorito de sodio, luego se secaron a temperatura ambiente y se almacenaron a 2 y 5 °C y humedad relativa (HR) de 90 %. Se consideró la temperatura de 5 °C como testigo o "sin DF".

Se seleccionaron 20 frutos en cada estado de madurez y se dividieron en dos grupos de 10 para almacenarlos a las temperaturas seleccionadas. Estos frutos se utilizaron en las evaluaciones de pérdida de peso e índice de daño por frío (IDF), las cuales que se midieron cada tercer día hasta el final del almacenamiento.

Se separaron cuatro grupos de 39 frutos para cada estado de madurez y temperatura de almacenamiento, de los cuales se tomaron seis frutos o repeticiones por cada fecha de evaluación, para medir las velocidades de respiración y de producción de etileno. Las muestras para microscopía electrónica de barrido, firmeza de la pulpa, pérdida iónica, los contenidos de acetaldehído y etanol fueron evaluados

de un lote similar de frutos. Todas estas variables se evaluaron cada tercer día hasta el final del almacenamiento.

Índice del daño por frío (IDF)

Se evaluó subjetivamente, mediante el grado de daño ocasionado en la superficie del fruto (epicarpio) por manchas y hundimiento, de acuerdo con una escala de 0 a 4, modificada a la propuesta por Martínez-Téllez y Lafuente (1997); en tal escala 0 corresponde a frutos sin daño; 1 daño ligero, cuando 10 % de la superficie del fruto, o menos, presentara daños; 2 daño moderado, cuando el daño cubriera de 10 a 15 % de la superficie; 3 cuando el daño se expresó en 15-25 % de la superficie de los frutos; y 4 (daño grave) cuando el daño fuera evidente en una área mayor a 25 % del fruto. La extensión del daño se describe como IDF, el cual se obtiene al multiplicar el número de frutos dañados por el número de la escala correspondiente. Los productos resultantes se suman y se dividen entre el número total de frutos del lote, de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$\text{IDF} = [(n)0 + (n)1 + (n)2 + (n)3]/N$$

donde: n = Número de frutos dañados; N = Número de frutos por grupo.

Microscopía electrónica

Se liofilizaron veinte secciones de 2x2 cm del tejido de epicarpio de frutos de melón almacenado a 2 y 5 °C, en un equipo Virtis modelo Unitop 600 L. Tres muestras de cada temperatura ensayada se sometieron a un baño de oro, aplicado con un equipo recubridor marca Jeol Modelo JFC-1200 y se observaron a 25 X de aumento en un microscopio electrónico de barrido, Jeol Modelo JSM-5410LV, equipado con sistema de bajo vacío (6-270Pa), a una resolución de 3.5 nm y un máximo de aumentos de 200 000 X.

Pérdida de peso

El seguimiento del peso de los frutos se hizo en los mismos que fueron utilizados para la determinación del IDF. Se empleó una balanza digital Sartorius modelo 1006MP9. El porcentaje en pérdida de peso (%) se determinó por diferencia con el peso de los frutos de la primera evaluación.

Firmeza

Para medir la firmeza de los frutos se eliminó el epicarpio. Se utilizó un penetrómetro Chatillon modelo DFG-50 (John Chatillon Sons, Inc. E.U.A.) con un punzón de

10 mm de diámetro al penetrar el mesocarpio en dos puntos opuestos en el diámetro ecuatorial de los frutos. Los resultados se expresan en kilogramos fuerza (kgf).

Velocidad de respiración y de producción de etileno

Para medir la velocidad de respiración (producción de CO₂) y de producción de etileno, se siguió la metodología propuesta por Ward et al. (1978) y Klee (1993) con un sistema cerrado. Tres frutos de cada tratamiento se colocaron individualmente en jarras de plástico de 3 L de capacidad, con tapa preparada con un septum de goma y sellada con Parafilm. Los frutos se incubaron durante 1 h a 20 °C. De cada recipiente se tomaron tres muestras de 1 mL de gas y se inyectaron en un cromatógrafo de gases Varian Star 3400 (MFG Corp. E.U.A.) equipado con un detector de conductividad térmica (TCD) y con uno de ionización de flama (FID), para la determinación simultánea de CO₂ y etileno. Los resultados se expresaron en mL de CO₂ kg⁻¹ h⁻¹ y de etileno en μL kg⁻¹ h⁻¹.

Pérdida iónica

Se utilizó el método utilizado por Martínez-Téllez *et al.* (2002) en calabaza zuchinni (*Cucurbita pepo* L.). Se emplearon cilindros del epicarpio y mesocarpio de frutos de melón de 1.5 cm de longitud, extraídos con un sacabocados de 1 cm de diámetro (Calibre No. 6, Cole Parmer).

Se colocaron cinco cilindros de tejido por cada repetición, en tubos de polipropileno de 50 mL (Corning) y se les agregaron 20 mL de manitol 0.3 M (Sigma), y se sometieron a 1 h de agitación en un agitador de alícuotas Thermolyne Speci-Mix (Barnstead-Thermolyne. Mod. No. M26125, E.U.A.). Se midió la conductividad eléctrica con un conductímetro Cole Palmer (Mod. 1481-61), y ésta se consideró la lectura inicial. Estudios preliminares demostraron que la pérdida iónica fue lineal entre 1 y 2 h. Posteriormente las muestras se congelaron a -55 °C durante 12 h. El descongelado se realizó mediante introducción de los tubos en agua a temperatura ambiente (2-3 h) y una vez descongelados se midió nuevamente la conductividad eléctrica; esta medida fue la conductividad total. El cálculo de la conductividad se realizó de acuerdo con la fórmula Cond. Final - Cond. Inicial/Cond. Total X 100, y los resultados se expresaron en porcentaje de pérdida iónica por hora.

Acetaldehído y etanol

El análisis se realizó con la técnica de Davis y Chace (1969). De cada tratamiento evaluado se pesaron tres muestras de 5 g de mesocarpio. El tejido de homogeneizó

durante 1 min en un homogenizador de tejidos marca Ultra-Turrax modelo T25-S1. El homogenizado se colocó en un vial de vidrio con tapa de teflón y septa de goma y se incubaron a 60 °C durante 60 min. De cada frasco se tomó 1 mL del gas en el espacio de cabeza y se inyectó en un cromatógrafo de gases Varian Star 3400, equipado con un detector de ionización de flama (FID). Los resultados se expresan en µL /100 g de tejido fresco.

Análisis estadístico

Para analizar el efecto de los tratamientos en las variables, se estableció un experimento en bloques al azar con arreglo factorial 2x2, al considerar para el primer factor los estados de madurez fisiológica (MF) y madurez de consumo (MC), y para el segundo factor las temperaturas de almacenamiento (2 y 5 °C) con 3 repeticiones. Se hicieron análisis de varianza y pruebas de comparación de medias de Tukey (P < 0.05). Los valores de las variables que se expresaron en porcentaje fueron transformados a arcoseno previo al análisis estadístico con el programa NCSS (Hintze, 2001).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Daño por frío

Los síntomas de daño por frío se manifestaron sólo a 2 °C, en cada uno de los estados de madurez (Figura 1). En los frutos en madurez fisiológica (MF) a 2 °C (Figura 1A) los síntomas se manifestaron al 6° día de evaluación, como depresiones del tejido hasta en 30 % del epicarpio del fruto (Figura 2 A), correspondiente a un índice de daño por frío de 1.75. Para el 6° día, las depresiones abarcaron 60 % del tejido. En el 7° y 8° día, las zonas hundidas tomaron una coloración marrón, con un IDF cercano a 3.5 (Figura 1 A).

Después de 11 d a 2 °C, las manchas marrones de las zonas hundidas se tornaron húmedas y blandas. Todos los frutos en MF alcanzaron un IDF de nivel 4 a los 13 d de evaluación (Figura 1 A). Posterior a esta fecha se suspendió la evaluación a 2 °C por el deterioro generalizado de los frutos.

Los síntomas de DF en los frutos en madurez de consumo (MC) (Figura 1B), se manifestaron inicialmente como zonas hundidas en el epicarpio del fruto. A partir del 8° día, las zonas hundidas se tornaron color marrón. A los 13 d de almacenamiento a 2 °C, los frutos en MC alcanzaron un IDF de 1.2, mientras que en este mismo periodo de almacenamiento los frutos almacenados en MF presentaron un IDF de 4. La evolución de los síntomas de DF en MC

fue prácticamente lineal, al incrementarse en aproximadamente una unidad de IDF por cada 5 d de almacenamiento, para alcanzar un IDF de 4 a los 32 d.

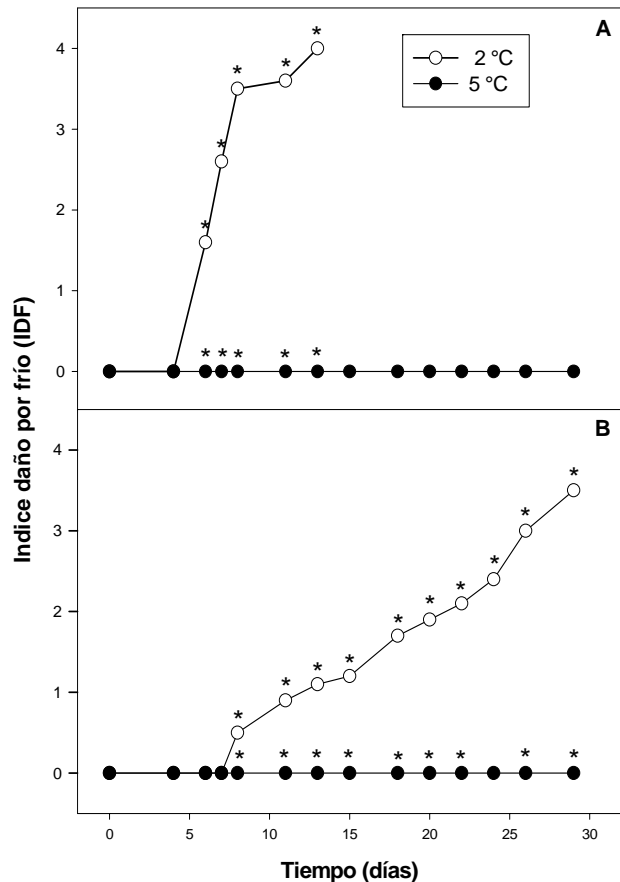


Figura 1. Índice de daño por frío en frutos de melón cantaloupe almacenados a 2 y 5 °C: 90 % HR, en madurez fisiológica (A) y madurez de consumo (B). (*) Indican diferencias significativas entre temperaturas al día correspondiente (Tukey, 0.05).

La sintomatología del DF presentada por los frutos de melón cantaloupe coinciden con la encontrada por Cabrera y Salveit (1990) y DeEll *et al.* (1999), quienes reportan que dichos síntomas se manifestaron por zonas hundidas y manchas marrón (picado superficial). El picado y las zonas húmedas del epicarpio son considerados síntomas secundarios del DF (Lyons, 1973).

Los frutos en MF fueron más sensibles al DF que los frutos en MC (Figura 1), al alcanzar los primeros el máximo nivel de daño a los 13 d de almacenamiento a 2 °C mientras que los cosechados en MC a los 32 d. Con los resultados anteriores se puede inferir que el estado de madurez en melón es un factor que influye en el grado de

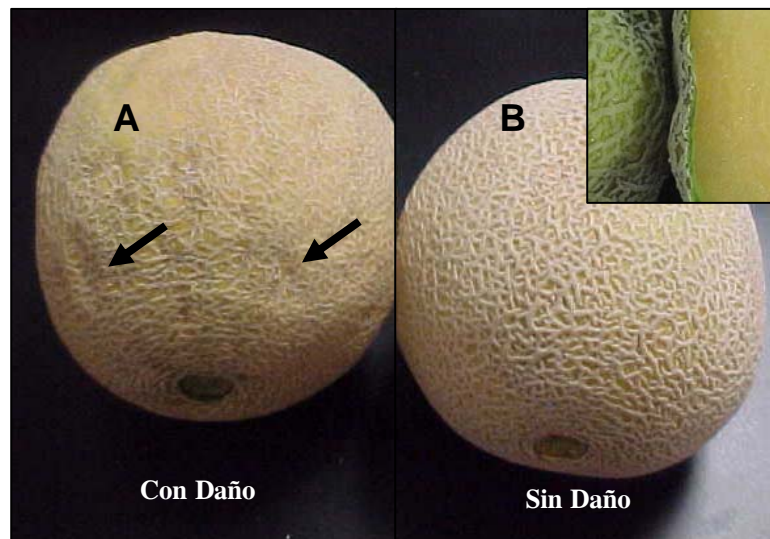


Figura 2. Síntomas de daño por frío (DF) en epicarpio de melón Cantaloupe en madurez de consumo después de 18 d de almacenamiento a 2 °C (A). Fruto sin síntomas de DF después de 28 d de almacenamiento a 5 °C (B).

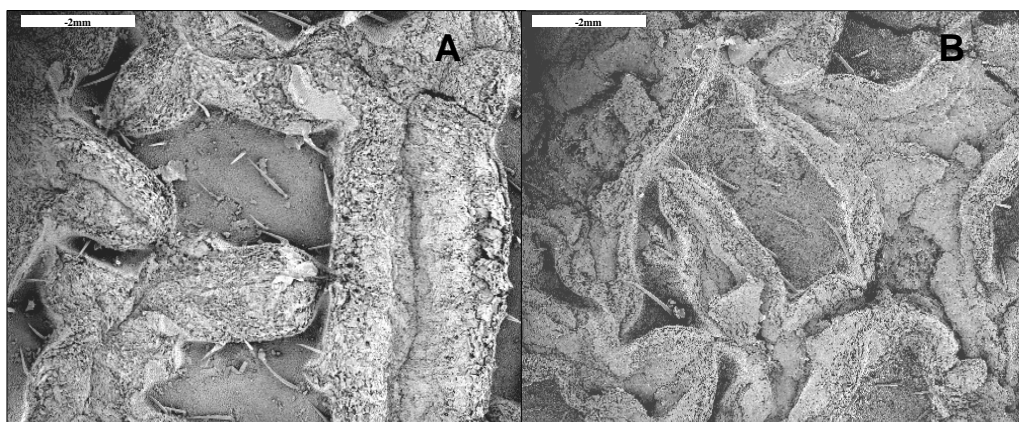


Figura 3. Microfotografía de tejido de epicarpio de fruto de melón Cantaloupe, almacenado por 13 d a 5 °C (2mm - 25X) (A). Microfotografía de síntoma de daño por frío (2mm - 25X) en tejido de epicarpio de melón cantaloupe almacenado por 13 d a 2 °C (B).

sensibilidad a DF. Namesny (1997) indica que el estado de maduración del fruto propicia diferencias en el momento de la manifestación y en el nivel de daño ocasionado por el almacenamiento a temperaturas de inducción.

La Figura 3 muestra porciones del tejido de epicarpio de frutos de melón en madurez fisiológica, almacenado a bajas temperaturas. En la Figura 3A se puede observar la red y los tejidos turgentes que integran el epicarpio de fru-

tos almacenados a 5 °C durante 13 d, y la Figura 3 B muestra que el tejido de los frutos almacenados a 2 °C perdió turgencia y la red no se diferencia con claridad.

Los frutos en MF y MC tuvieron correlación significativa ($P < 0.05$) entre el IDF y las variables pérdida de peso ($r = -0.635$ MF y $r = -0.728$ MC), velocidad de producción de etileno ($r = 0.573$ MF) y firmeza ($r = -0.895$ MF). En los frutos en MF hubo correlación significativa entre el

IDF y el contenido de acetaldehído ($r=0.882$). Los frutos en MC tuvieron correlación significativa entre las variables IDF y los niveles de producción de CO_2 ($r=-0.636$).

Firmeza

Los frutos en ambos estados de madurez presentaron diferencias significativas ($P < 0.05$) en los valores de firmeza por efecto de la duración y la temperatura de almacenamiento. Los frutos en MF almacenados a 2°C (Figura 4A) hincaron el almacenamiento con una firmeza de 2.51 kgf valor que disminuyó hasta 1.15 kgf después de 13 d. A 5°C la firmeza también disminuyó de 2.51 hasta 0.22 kgf, en el mismo periodo. En el caso de los frutos en MC (Figura 4B) la firmeza inicial fue de 2.51 kgf y bajó hasta 0.81 kgf y 1.30 kgf en los frutos almacenados a 2°C y a 5°C , respectivamente, después de 32 d de almacenamiento. Se ha propuesto que el ablandamiento de tejidos es un proceso característico de la maduración y senescencia de los frutos. Fischer y Bennett (1991) y Smith *et al.* (2003) sugieren que este proceso se debe a los cambios en el metabolismo de los carbohidratos y a la acción de hidrolasas de la pared celular, como la poligalacturonasa (PG). Pocas son las investigaciones en que se describen cambios en pared celular de tejidos que presentan DF. Al respecto, Wang y Adams (1982) encontraron cambios significativos en la composición de carbohidratos de pared celular en frutos de calabaza con daño por frío, al igual que en frutos no dañados, y sus resultados sugieren la posibilidad de actividad enzimática.

Velocidad de respiración y de producción de etileno

La velocidad de respiración de los frutos en MF almacenados a 2 y 5°C , no mostraron diferencias significativas entre los días de almacenamiento, ni entre las temperaturas (Figura 5A). En estos frutos la producción de CO_2 permaneció estable, dentro de un rango de 15 a 20 mL de CO_2 $\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$, sin presentar un característico pico climatérico. En cambio, en los frutos en MC (Figura 5B), los almacenados a 2°C tendieron a reducir la producción de CO_2 desde el inicio del almacenamiento, y evidenciaron un reducido pico climatérico entre los 17 y 25 d de almacenamiento. Este comportamiento fue más evidente en los frutos almacenados a 5°C , en los cuales el pico climatérico se presentó de los 11 a los 18 d. Estos frutos tuvieron diferencias significativas ($P < 0.05$) en la producción de CO_2 , entre las temperaturas en los diferentes días de evaluación.

El aumento en la velocidad de respiración es considerado como una respuesta secundaria, previa a la manifestación de los daños por frío en frutos susceptibles (Wang, 1982; Saltveit, 2003). En este trabajo no se observó una respuesta clara entre el tiempo en que ocurrió la aparición

de los síntomas de DF y la velocidad de respiración; sin embargo, fue evidente el efecto de la baja temperatura en reducir y retrasar el climaterio de los frutos en MC, efecto reportado por Fidler y North (1967) y confirmado por Adaskaveg *et al.* (2002).

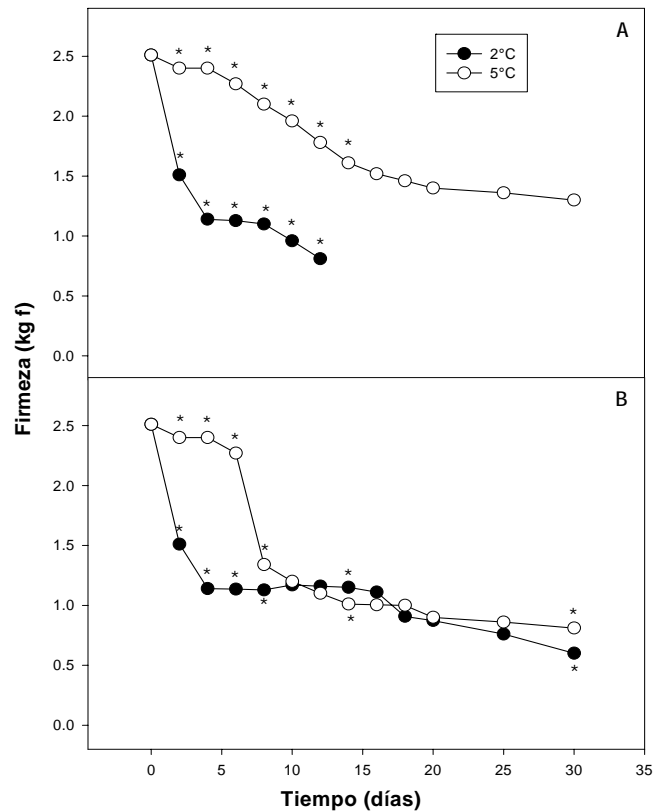


Figura 4. Firmeza en melones almacenados a 2°C y 5°C con 90% HR, en madurez fisiológica (A) y madurez de consumo (B). (*) Indican diferencias significativas entre temperaturas al día correspondiente (Tukey, 0.05).

El etileno producido por los frutos en MF no presentó diferencias significativas ($P < 0.05$) entre las temperaturas ensayadas, ni entre los días de almacenamiento (Figura 6A). En los frutos en MC sólo se encontraron diferencias significativas entre las temperaturas de almacenamiento, a los 10 d de almacenamiento. (Figura 6B). La velocidad de producción de etileno de los frutos almacenados en MF, mostró niveles máximos de 4.24 y 4.1 μL de etileno $\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ al los 8 d de almacenamiento a 2 y 5°C , respectivamente. La velocidad de producción de etileno en los frutos en MC fue 2.4 y 2.1 veces superior en el mismo periodo que los almacenados en MF (10.52 y 8.93 μL de etileno $\text{kg}^{-1}\text{h}^{-1}$ a 2 y 5°C respectivamente (Figuras 6A y B). Tanto en los frutos en MF como en MC, el máximo nivel de producción de etileno en ambas temperaturas se observó al octavo día de almacenamiento.

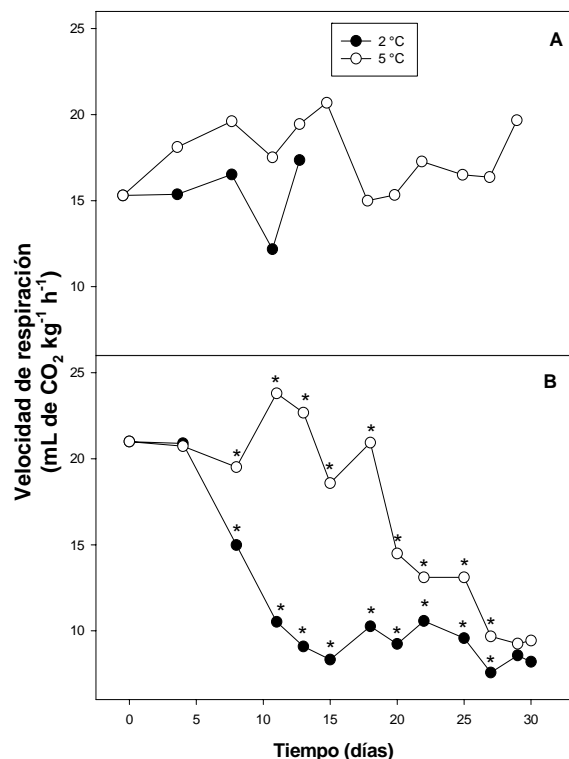


Figura 5. Velocidad de respiración ($\text{mL de CO}_2 \text{ kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en melones almacenados a bajas temperaturas A (madurez fisiológica) B (madurez de consumo). (*) Diferencias significativas entre temperaturas al día correspondiente (Tukey, 0.05).

Los resultados obtenidos sugieren que la mayor producción de etileno en los frutos en MC almacenados a 5 °C, se debe a que su proceso de maduración no se vio alterado; no así en los frutos expuestos a 2 °C, en cuyo caso la producción de etileno coincide con lo reportado por Wang (1989), quien indica que una consecuencia común del daño por frío es la estimulación de la producción de etileno. Se ha sugerido que el nivel de estrés en la producción de etileno es un buen indicador de la sensibilidad al DF (Morgan y Drew, 1997). No se sabe si el etileno producido es consecuencia del DF o si el etileno participa como un mecanismo de adaptación al mismo (Saltveit, 2003).

Pérdida de peso

Los frutos almacenados a bajas temperaturas en ambos estados de madurez, mostraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre la duración (Figuras 7A y B) y las temperaturas de almacenamiento (datos no mostrados). La mayor pérdida de peso se registró en los frutos almacenados a 5 °C, en comparación con los almacenados a 2 °C. La pérdi-

da de peso a los 13 d de almacenamiento en los frutos almacenados a 2 °C en MF fue de 3.8 % (Figura 7 A), y en los frutos con MC la pérdida fue de 2 % (Figura 7B).

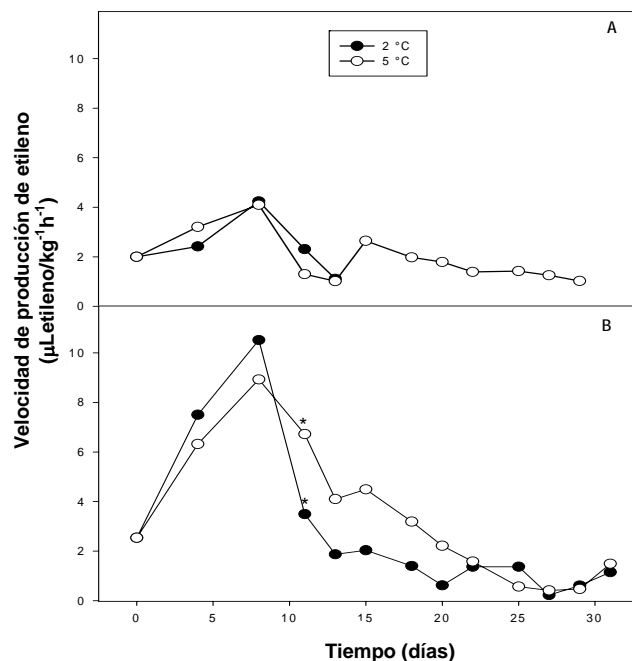


Figura 6. Velocidad de producción de etileno ($\mu\text{L de etileno kg}^{-1} \text{ h}^{-1}$) en melones almacenados a bajas temperaturas A (madurez fisiológica) B (madurez de consumo). (*) Diferencias significativas entre temperaturas al día correspondiente (Tukey, 0.05).

La pérdida de peso de los frutos en MF y MC almacenados a 5 °C fue significativamente mayor ($P < 0.05$) que en los almacenados a 2 °C (Figuras 5A y B), pues a 5 °C las pérdidas de peso fueron de 5.9 y 5.8 % respectivamente, a los 13 d de almacenamiento. A los 23 d de almacenamiento, estos frutos mostraron una pérdida de peso de 7.8 y 8 %, respectivamente. La pérdida de peso como consecuencia de una disminución del contenido de agua en los espacios celulares, puede ser potenciado por la presencia de síntomas de DF (Saltveit, 2002). Este efecto también fue reportado por Hakim *et al.* (1999) quienes atribuyen la pérdida de peso a un efecto directo del deterioro producido por este desorden fisiológico.

La pérdida de peso de melones evaluados también puede ser atribuida al efecto sinérgico de los cambios de humedad relativa y al efecto de la temperatura de almacenamiento. Al respecto, Kays (1997) señala que el aumento en la temperatura de los frutos incrementa la energía libre de las moléculas de agua, lo que incrementa su movimiento y potencial de intercambio; debido al calor generado por

los procesos de respiración, los productos almacenados normalmente tienen en su interior un ligero incremento de temperatura con respecto a la atmósfera que los rodea, lo que favorece la pérdida de agua. Según Hakim *et al.* (1999), la humedad relativa tiene gran influencia en el desarrollo de los síntomas de daño por frío. En este estudio los frutos se almacenaron a una HR de 85 %, lo cual favorece la pérdida de peso, sobre todo en los frutos almacenados a 5 °C, lo que sugiere que fue el efecto de la temperatura el que mayoritariamente potenció la pérdida de agua de los frutos y no la que favoreció el DF.

Pérdida iónica (PI)

La pérdida iónica de los tejidos de los frutos almacenados a 2 y 5 °C en MF y MC, tuvo una tendencia a incrementarse con el tiempo, tanto para los frutos que mostraron síntomas de DF (2 °C) como para los que no los mostraron (5 °C) (Figuras 8A y B). Únicamente los frutos en MC almacenados a 2 °C (DF) presentaron una mayor PI con diferencias significativas ($P < 0.05$), con respecto a los almacenados a 5 °C (sin DF). Estos cambios en la velocidad de liberación de los iones reflejan el efecto de la temperatura en la difusión de los iones, pero sin el incremento abrupto predicho para la fase de transición de las membranas celulares en el modelo del DF. Este daño no causa un aumento inmediato y progresivo en la permeabilidad de las membranas celulares, sino ocurre algunos días después de presentarse los síntomas del DF (Saltveit, 2002). Marangoni *et al.* (1996) señalan que la pérdida iónica permite determinar indirectamente los aumentos en la permeabilidad de membranas, al medir el drenado de electrolitos. Los resultados obtenidos indican que la exposición de frutos a bajas temperaturas tiene un efecto directo sobre la permeabilidad de las membranas celulares, lo que coincide con las investigaciones realizadas por McKersie (1996) quien señala que las zonas húmedas originadas por el DF se producen por los cambios de la integridad de membrana, lo que conlleva a la pérdida de fluidos en los espacios intercelulares.

Acetaldehído y etanol

La acumulación de acetaldehído y etanol fue detectada en los tejidos de melón durante el almacenamiento a 2 y 5 °C, tanto en MF y MC, con una tendencia a una mayor acumulación con el almacenamiento a 2 °C (Cuadro 1). Se detectaron diferencias estadísticas ($P < 0.05$) en el contenido de etanol, en los frutos en MC durante el periodo de los 13 a 18 d de almacenamiento. Los niveles de acetaldehído en los frutos almacenados a 2 °C fue de 72 $\mu\text{L}/100\text{ g}$ de tejido fresco en los frutos en MF a los 13 d de almacenamiento, y de 112 $\mu\text{L}/100\text{ g}$ de tejido fresco en los frutos en MC para el mismo periodo (Cuadro 1).

Los frutos de MF a los 13 d a 2 °C produjeron 9.5 μL de etanol/100 g de tejido fresco, contenido que aumentó hasta 20 μL de etanol/100 g de tejido fresco al día 16. En general, la mayor acumulación de acetaldehído y etanol en los frutos almacenados en MF y MC se presentó a 2 °C.

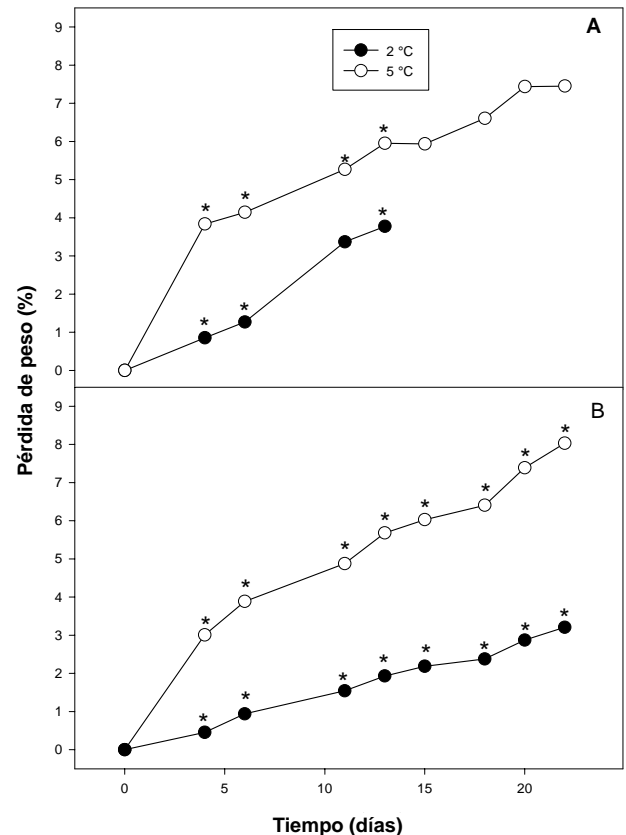


Figura 7. Pérdida de peso (%) en melones almacenados a bajas temperaturas en madurez fisiológica (A) y madurez de consumo (B). (*) Diferencias significativas entre temperaturas al día correspondiente (Tukey, 0.05).

La acumulación de acetaldehído y etanol ha sido reportada como una respuesta característica al DF (Picha, 1987; Wang, 1982 y Kosi, 1992). Según Salisbury y Ross (1994), el acetaldehído y etanol se producen cuando el ácido pirúvico que se deriva de la glicólisis se expone a muy bajos niveles de oxígeno y se descarboxila al producir el acetaldehído, a partir del cual se origina el etanol. Tal situación puede presentarse en las zonas en las que se manifestaron los síntomas de DF, para propiciar procesos de fermentación que llevan a la producción y acumulación de ambos metabolitos tóxicos.

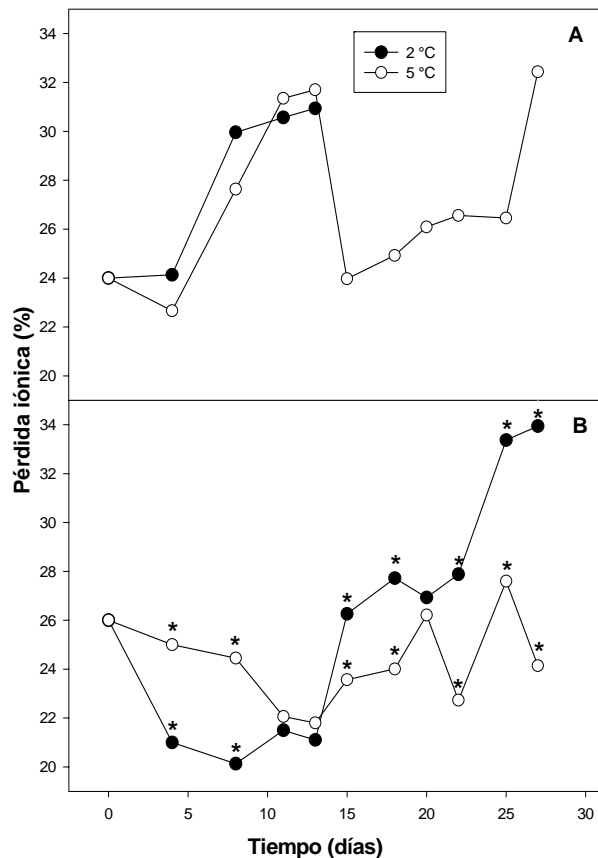


Figura 8. Pérdida iónica (%) en melones almacenados a bajas temperaturas en A (madurez fisiológica) Las barras indican la desviación estándar de tres réplicas. B (madurez de consumo). (*) Diferencias significativas entre temperaturas al día correspondiente (Tukey, $P < 0.05$).

CONCLUSIONES

El estado de madurez de frutos de melón cantaloupe durante el almacenamiento a bajas temperaturas, es determinante en el momento de aparición e intensidad de los síntomas de daño por frío. El almacenamiento a 2 °C de frutos de melón cantaloupe en madurez fisiológica y madurez de consumo favorece el desarrollo de los síntomas de daños por frío. Una mayor susceptibilidad al daño por frío se presenta cuando los frutos son almacenados en madurez fisiológica. El daño por frío provoca disminución de firmeza y pérdida de peso, cambios en la tasa de respiración y etileno y favorece la acumulación de acetaldehído y etanol, tanto en frutos en madurez fisiológica como en consumo. Las variables de pérdida de peso, producción de

etileno y firmeza tienen correlación significativa con el índice de daño por frío de los frutos de melón, en ambos estados de madurez.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) y al Programa de Mejoramiento del Profesorado (PROMEP) de la Universidad de Guadalajara, por el financiamiento y otorgamiento de beca, para la realización de estudios de Doctorado de M. L. García Sahagún. Al apoyo técnico brindado por Q.B. Olivia Briceño Torres y a la M.C. Brenda Silva Espinoza; así como al Dr. Francisco Brown Bojórquez investigador del Departamento de Investigación en Polímeros y Materiales de la Universidad de Sonora, por su apoyo en el trabajo de microscopía electrónica.

BIBLIOGRAFÍA

- Adaskaveg J E, H Förster, N F Sommer (2002) Principles of postharvest pathology and management of decay of edible horticultural crops. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops*. 3rd Edition. Adel A. Kader (ed) University of California, Publication 3311. pp:163-196.
- Cabrera R M, M E Salveit (1990) Physiological response to chilling temperature of intermittently warmed cucumber fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115:256-261.
- Davis P L, W G Chace Jr (1969) Determination of alcohol in citrus juice by gas chromatographic analysis of headspace. *HortScience* 4(2):117-119.
- DeEll J R, C Vigneault, S Lemerre (1999) Water temperature for field cucumbers in relation to chilling injury during storage. *Postharvest Biol. Technol.* 18:27-32.
- Fidler J C, C J North (1967) The effect of the conditions of storage on the respiration of apples: I, The effects of temperature and concentrations of carbon dioxide and oxygen on the production of carbon dioxide and uptake of oxygen. *J. Hort. Sci.* 42:189-206.
- Fischer R L, A B Bennet (1991) Role of cell wall hydrolase in fruit ripening. *Ann. Rev. Plant Physiol. Plant Mol Biol.* 42:675-703.
- Hakim A, A C Purvis, B G Mullinix (1999) Differences in chilling sensitivity of cucumber varieties depends on storage temperature and physiological dysfunction evaluated. *Postharvest Biol. Technol.* 17:97-104.
- Hintze J (2001) Number Cruncher Statistical Systems. Kaysville, Utah.
- Hortalizas, Frutos y Flores (2001) Análisis de las Exportaciones Mexicanas de Hortalizas. Editorial Año Dos Mil, S.A. México, D.F. pp:8-12.
- Kays, S J (1997) Movement of gases, solvents, and solutes within harvested products and their exchange between the product and its external environment. *In: Postharvest Physiology of Perishable Plant Products*. Exon Press, Athens Georgia, U.S.A. 433 p.
- Klee H J (1993) Ripening physiology of fruit from transgenic tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) plants with reduced ethylene synthesis. *Plant Physiol.* 102:911-916.
- Kosi A (1992) Ascorbate peroxidase as hydrogen peroxidase scavenging enzyme in plants. *Physiol Plant.* 85:235-241.

Cuadro 1. Contenido de acetaldehído y etanol en melones cantaloupe, almacenados a 2 y 5 °C; 90 % HR, en madurez fisiológica (MF) y madurez comercial (MC). (*) Indican diferencias significativas entre temperaturas al día correspondiente (Tukey, 0.05).

Días	Contenido de Acetaldehído (µL/100 g de tejido fresco)			
	MF ¹		MC ²	
	2 °C	5 °C	2 °C	5 °C
0	40.0	40.0	60.0	60.0
4	56.0**	37.0**	62.0	56.0
8	35.9**	25.6**	77.5	76.9
13	72.6	68.3	112.7**	86.5**
16	-	37.9	92.3**	82.8**
18	-	48.8	126.5**	111.1**
20	-	54.7	80.4	70.9
22	-	50.0	75.9	74.3
24	-	43.4	95.7	91.4
28	-	-	110.1	106.8
30	-	-	71.3	64.3

Días	Contenido de Etanol (µL/100 g de tejido fresco)			
	MF ¹		MC ²	
	2 °C	5 °C	2 °C	5 °C
0	7.0	7.0	5.0	5.0
4	7.9	7.2	4.0	5.0
8	8.8**	7.4**	13.8	12.4
13	9.5**	6.0**	10.5**	4.2**
16	-	4.0	20.0**	9.1**
18	-	3.5	19.2**	7.1**
20	-	5.4	10.3	9.1
22	-	8.4	9.7**	2.8**
24	-	9.2	8.1	9.0
28	-	-	6.8	8.5
30	-	-	2.1**	11.1**

¹ Madurez fisiológica; ² Madurez comercial; ** Diferencias significativas (Tukey, 0.05) entre las temperaturas de almacenamiento en cada estado de madurez.

Lyons J M (1973) Chilling injury in plants. *Ann. Rev. Plant Physiol* 24:445-466.

Marangoni A G, T Palma, D W Stanley (1996) Membrane effects in postharvest physiology. *Postharvest Biol. Technol.* 7:193-217.

Markhart A H (1986) Chilling injury: a review of possible causes. *HortScience* 21:1329-1333.

Martínez-Téllez M A, G Ramos-Clamont, A A Gardea, I Vargas-Arispuro (2002) Effect of infiltrated polyamines on poligalacturonase activity and chilling injury responses in zucchini squash (*Cucurbita pepo* L.). *Bioch. Biophys. Res. Comm.* 295:90-101.

Martínez-Téllez M A, M T Lafuente (1997) Effect of high temperature conditioning on ethylene, phenylalanine ammonia-lyase, peroxidase and polyphenol oxidase activities in flavedo of chilled "Fortune" mandarin fruit. *J. Plant Physiol.* 150:674-678.

McKersie B D (1996) Chilling stress. Dept of Crop Science, University of Guelph. <http://cropsol.psu.edu/courses/AGRO518/CHILLING.htm>. 2 Nov 2004.

Morgan P W M C Drew (1997) Ethylene and plant responses to stress. *Physiol. Plant.* 100:620-630.

Namesny A V (1997) Melones, Compendio de Horticultura No. 10, Capítulo 18. Ediciones de Horticultura S.L. España. pp:172-173.

Pantastico B (1984) Fisiología de la postrecolección de manejo y utilización de frutas y hortalizas tropicales y subtropicales. Editorial Continental, México. pp:24-128.

Parkin K L, A Marangoni, R L Jackman, R Y Yada, D W Stanley (1989) Chilling injury. A review of possible mechanisms. *J. Food Biochem.* 13:127-152.

Picha D H (1987) Chilling injury, respiration and sugar changes in sweet potatoes stored at low temperatures. *J. Am. Soc. Hort. Sci.* 112:497-502.

Reid M S (2002) Maturation and maturity indices. *In: Postharvest Technology of Horticultural Crops.* 3rd Edition. A A Kader (ed). University of California. Div. Agr. Nat. Resources. Publication 3311, ANR Publications, Oakland, CA. pp:55-62.

Salisbury F B C W Ross (1994) Fisiología Vegetal. Grupo Editorial Iberoamérica S.A. de C.V. México. pp:293-300.

Saltveit M (2002) The rate of ion leakage from chilling-sensitive tissue does not immediately increase upon exposure to chilling temperatures. *Postharvest Biol. Technol.* 26:295-304

Saltveit M (2003) Temperature extremes. *In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables.* J A Bartz, J K Brech (eds). Marcel Dekker, Inc. U.S.A. pp:457-484.

Saltveit M, L Morris (1990) Overview on chilling injury of horticultural crops. *In: Chilling Injury of Horticultural Crops.* C Y Wang (ed.) CRC Press, Boca Raton, FL. pp:315-

Skog L J (1998) Chilling Injury of Horticultural Crops. Ministry of Agriculture and Food and Rural Affairs, Ontario, Canadá.

Smith A, Jeith W, Waldron W, Maness N, Perkins-Veazie, (2003) Vegetable Texture: Measurement and Structural Implications. *In: Postharvest Physiology and Pathology of Vegetables.* J A Bartz, J K Brech (eds). Marcel Dekker, Inc. U.S.A. pp:297-330.

Suslow, T V, M Cantwell, J Mitchell (2004) Melón Cantaloupe: Recomendaciones para Mantener la Calidad Postcosecha. Vegetable Crop Department, University of California-Davis. U.S.A. <http://postharvest.ucdavis.edu/Produce/ProduceFacts/Espanol/MelonCantaloupe.shtml>.

Wilson J M (1984) The economic importance of chilling injury. *Outlook Agric.* 14:197.

Wang C Y (1982) Physiological and biochemical response of plants to chilling stress. *HortScience* 17:173-186.

Wang C Y D O Adams (1982) Chilling-induced ethylene production in cucumber (*Cucumis sativus*, L.). *Plant Physiol.* 69(2):424-427.

Wang C Y (1989) Chilling injury of fruit and vegetables. *Food Re . Intnatl.* 5(2):209-236.

Ward T, M Wright, J Roberts, R Self, D Osborne (1978) Analytical procedure for the assay and identification of ethylene. *In: Isolation of Plant Growth Substances.* J. Hillman Cambridge University Press. Cambridge, UK. pp:135-151.