

APLICACIÓN DE HIDROENFRIAMIENTO Y UNA CUBIERTA DE HPMC-PARAFINA PARA AUMENTAR LA VIDA DE ANAQUEL DE MELÓN CANTALOUPE

Application of hydro-cooling and an HPMC paraffin coat to increase the shelf life of cantaloupe melon

Maria Guadalupe de Jesús Alanís-Guzman, Carlos Leonel García Díaz, Ma. Concepción Reyes-Avalos, Jorge Armando Meza-Velázquez ✉

(MGJAG) (CLGD) (MCRA) Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad Juárez del Estados de Durango.
Av. Artículo 123 s/n Col.

(JAMV) Facultad de Ciencias Biológicas de la Universidad Autónoma de Nuevo León. Ciudad Universitaria.
San Nicolás de los Garza, Nuevo León, México. jameza20002000@yahoo.com.mx

Artículo recibido: 19 de junio de 2010, **aceptado:** 25 de junio de 2013

RESUMEN. El melón Cantaloupe es un fruto de consumo popular con problemas de comercialización debido a su reducida vida de anaquel. Para alargar este periodo se evaluó el efecto del hidrogenfriamiento (HIDRO), de una película comestible a base de hidroxipropilmetilcelulosa o parafina (PEL) y de la combinación de ambos (HIPEL) sobre la pérdida de peso (PP), textura, índice de daño por frío (IDF), acidez titulable (AT), sólidos solubles (SS) y la producción (al exterior) de CO₂ y etileno; así como la concentración de CO₂, O₂ y etileno en el interior del fruto. Después de los tratamientos los frutos se almacenaron (8 °C, 20 días) y evaluaron (días 0, 4, 8, 12, 16 y 20). Los frutos de PEL tuvieron menor ($P < 0.05$) PP, AT e IDF, y mayores valores ($P < 0.05$) de textura y CO₂ y etileno interno que los controles e HIDRO. Los SS, la producción de CO₂ y etileno no tuvieron diferencia ($P > 0.05$) entre ninguno de los tratamientos. El hidrogenfriamiento no tuvo efecto sobre las variables medidas ($P > 0.05$). Las muestras de HIPEL tuvieron un comportamiento similar a las de PEL ($P > 0.05$). Los resultados sugieren que la aplicación de cubiertas de hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) con parafina puede aumentar la vida de anaquel de melón Cantaloupe almacenado a temperaturas de refrigeración.

Palabras clave: Melón, hidroxipropilmetilcelulosa, hidrogenfriamiento, cubiertas comestibles.

ABSTRACT. Cantaloupe melon is a popular fruit with a limited shelf life. The effect of hydro-cooling (HIDRO), of an edible coating based on hydroxypropylmethyl-cellulose and paraffin (PEL) and of these two combined (HIPEL) on weight loss (WL), texture, chilling injury index (CII), titratable acidity (TA), soluble solids (SS) and the production of CO₂ and ethylene (to the exterior), as well as the CO₂, O₂ and ethylene concentration inside the fruit, was evaluated in order to increase the fruit's shelf life. The fruit was stored (8 °C, 20 days) and analysed (0, 4, 8, 12, 16 and 20 days) after treatment. The PEL fruit had a lower ($p < 0.05$) WL, TA and CII, and greater values ($p < 0.05$) of texture and internal CO₂ and ethylene than the controls and the HIDRO. The SS and the CO₂ and ethylene production presented no difference ($p > 0.05$) among treatments. Hydro-cooling had no effect on the recorded variables ($p > 0.05$). The HIPEL samples had similar values to the PEL samples ($p > 0.05$). The results suggest that an hydroxypropylmethyl-cellulose (HPMC) coating with paraffin may increase the shelf life of the Cantaloupe melon stored in refrigeration.

Key words: Melon, hydroxypropylmethyl-cellulose, hydro-cooling, edible coating.

INTRODUCCIÓN

La maduración y deterioro de la calidad sensorial de frutas y vegetales durante su etapa de almacenamiento son causadas por la continuación poscosecha de procesos metabólicos de los produc-

tos vegetales, tales como su respiración. En general, la vida de anaquel de los productos vegetales está inversamente relacionada con su tasa o ritmo respiratorio (Nath et al. 2006). Además, algunos casos de cambios texturales en frutas y vegetales están asociados con la deshidratación del producto,

debido a una reducción de la presión de turgencia en las células, así como a la degradación de paredes celulares (Alzamora *et al.* 2000) y fenómenos causados por cambios de temperatura como los denominados daños por frío (Lurie & Crisosto 2005). Para controlar este deterioro, la temperatura interna del producto vegetal juega un papel importante, ya que afecta la velocidad de reacciones químicas y enzimáticas, y consecuentemente su ritmo respiratorio (Bolin & Huxsoll 1991, Karel & Lund 2003).

La disminución de la temperatura interna de los productos vegetales retarda su respiración, maduración, envejecimiento y deshidratación (Ferreira *et al.* 1994). Pero es esencial que, para la conservación de productos vegetales, ésta temperatura sea reducida rápidamente después de su cosecha (pre-enfriamiento) (Bolin & Huxsoll 1991, Brosnan & Sun 2001).

El pre-enfriamiento puede llevarse a cabo por medio de aire forzado o por inmersión en agua fría (hidrofriamiento); obteniéndose mayores eficiencias con éste último (Thompson 2004). Disminuir la temperatura de los vegetales, y mantenerla baja, ayuda a aumentar su período de conservación, pero aún así se consiguen tiempos relativamente cortos para su almacenamiento y comercialización. Para alargar la vida de anaquel de productos vegetales se han estudiado diferentes métodos, como por ejemplo el uso de películas comestibles (Pérez-Gago *et al.* 2002).

La aplicación de cubiertas sobre la superficie de los vegetales provee una barrera a la humedad (transpiración), a la transferencia de masa (Krochta & De Mulder-Johnston 1997) y a los gases (oxígeno y CO₂), que trae como consecuencia una disminución en su tasa respiratoria y una menor deshidratación. Además, algunos frutos y vegetales son sensibles a las bajas temperaturas de almacenamiento, ocasionando en ellos daños por frío (Artés & Artés-Hernández 2003; García-Sahagún *et al.* 2005). Algunas cubiertas aplicadas en vegetales han comprobado su eficacia, no solo para disminuir su actividad metabólica, sino también por conservar su calidad comercial durante un tiempo de almacenamiento más prolongado, mejorando las condiciones de los mismos para tolerar las bajas temperaturas de al-

macenamiento (Olivas & Barbosa-Cánovas 2005). El objetivo del estudio fue evaluar el efecto del hidrofriamiento y una cubierta a base de hidroxipropilmetilcelulosa (HPMC) y parafina en algunas propiedades fisicoquímicas y la tasa de respiración del melón Cantaloupe almacenado en frío.

MATERIALES Y MÉTODOS

Se adquirió melón (*Cucumis melo L. var. reticulatus*) recolectados en Ceballos, Durango siendo seleccionados frutos en estado de madurez $\frac{3}{4}$ desprendido (Beaulieu *et al.* 2004), de tamaño y dimensiones similares (frutos de 1.2 a 1.5 kg libres de daños físicos). La HPMC fue donada por Colorcon (México). Los siguientes reactivos fueron adquiridos de Sigma-Aldrich (St. Louis MI, EUA) Metabisulfito de sodio, sorbato de potasio, monoestearato de propilenglicol y estándares de CO₂ y etileno. Se empleó parafina grado reactivo (Analítica, México).

Preparación de la película.

La película se preparó diluyendo 2.5 % (p / v) de HPMC en agua destilada a 90 °C con agitación constante en una placa de calentamiento con agitación magnética (Daihan Labtech Co., LTD, Namyangju, Corea), posteriormente se enfrió hasta 10 °C para su completa hidratación; la solución se volvió a calentar hasta 80 °C y se agregaron 0.25 % (p / v) de monoestearato de propilenglicol, 0.2 % (v / v) de aceite de maíz, 0.025 % (p/v) de metabisulfito de sodio, 0.1 % (p / v) de sorbato de potasio. La parafina se agregó caliente (80 °C) a la solución de HPMC en una proporción de 1:4. La mezcla se agitó con un homogeneizador Ultra Turrax T18 (IKA® Works, Inc, Wilmington, EU) a 15000 rpm durante 10 min. La emulsión formada se enfrió a 7 ± 2 °C y fue almacenada en refrigeración a esta temperatura hasta su aplicación.

Tratamientos.

Melones, lavados (agua potable con 200 ppm de hipoclorito de sodio) y seleccionados (libres de daños físicos y contaminación microbiana aparente), fueron distribuido al azar en cuatro tratamientos: control (sin tratamiento), hidrofriamiento

(HIDRO), cubierta de HPMC-Parafina (fruto con cubierta) (PEL) y la combinación de hidrogenfriamiento con cubierta (HIPEL); cada tratamiento tuvo 4 repeticiones. El hidrogenfriamiento fue aplicado sumergiendo los melones en agua potable a 4 °C durante 35 min; posteriormente se escurrieron para eliminar el exceso de agua y se almacenaron en un frigorífico a una temperatura de 8 ± 2 °C y una humedad relativa de 80 ± 4 %. Por otro lado, la película emulsionada se aplicó en la superficie de los melones, utilizando una brocha; el procedimiento se realizó cuidando que los melones quedaran totalmente cubiertos. Posteriormente, los frutos se colocaron a temperatura ambiente (20 °C) durante 40-50 min bajo una corriente de aire generada por un ventilador para secar la película, y luego fueron almacenados bajo las mismas condiciones que las muestras hidrogenfriadas.

Las muestras del tratamiento combinado fueron llevadas a cabo como el tratamiento con película, pero usando melones previamente hidrogenfriados. A melones de cada tratamiento se les determinó pérdida de peso (PP), índice de daños por frío (IDF), textura superficial (melón entero), textura interna (pulpa), acidez titulable (AT), sólidos solubles (SS), producción de CO₂ y etileno, así como CO₂, O₂ y etileno en el interior del fruto, a los 0, 4, 8, 12, 16 y 20 días de almacenamiento en frío.

CO₂, relación de CO₂/O₂ y etileno.

Para la producción de CO₂ y etileno, dos melones de cada tratamiento, en cada uno de los puntos determinados durante el almacenamiento, se colocaron en recipientes de 12 L, adaptados para tomar muestras de aire, y cerrados herméticamente durante 1 h a 8 ± 2 °C. Posteriormente se tomó 1 mL de los gases del recipiente y se inyectó en el cromatógrafo. La concentración de estos gases en el interior del fruto, se llevó a cabo sumergiendo las muestras en un recipiente con agua potable, para evitar contaminación de los gases atmosféricos, y con una jeringa, previamente acondicionada para proteger el material de análisis, se perforó el fruto y se obtuvo una muestra de aproximadamente 5 mL de los gases que se encontraban en el interior del

mismo; la jeringa se tapó con una septa y se extrajo 1 mL de la misma muestra utilizando, a su vez, una jeringa para espacio de cabeza e inyectada en el cromatógrafo; el análisis fue llevado a cabo en dos melones de cada tratamiento en cada uno de los tiempos de almacenamiento (Pérez-Gago *et al.* 2002).

El CO₂ y oxígeno se determinaron en un cromatógrafo de gases HP 6820 (Agilent Technology, CA, EU) adaptado con una columna empacada Alltech CTR I (Alltech Associates, Inc., Deerfield, Illinois, EU) de seis pies por un cuarto de pulgada y un detector de conductividad térmica; la temperatura del inyector fue de 20 °C, la del detector a 170 °C y la del horno de 35 °C. La determinación del etileno se realizó en el mismo cromatógrafo con una columna Carboxen (Supelco, PA, EU) de 30 m x 0.5 mm x 0.25 μ y usando el detector de ionización en flama; la temperatura de inyector fue de 120 °C y la del detector de 250 °C; la temperatura del horno fue gradualmente subiendo desde 35 °C hasta 120 °C. Las lecturas del cromatógrafo se registraron y analizaron con el software Agilent Cerity NDS (Agilent Technologies, EU) y comparadas con una curva de calibración de estándar de CO₂ y etileno, respectivamente. De los valores de CO₂ y O₂ se obtuvo la relación de los mismos por medio de la división de sus valores numéricos.

Textura.

Para evaluar la textura superficial del melón entero, se midió la firmeza de las muestras por el método de punción usando el texturómetro Texture Analyser TA-XT2i® (Stable Micro Systems, Londres, Inglaterra). Se utilizó un punzón de punta redondeada de media pulgada de diámetro, una velocidad del cabezal de 1.5 mm s⁻¹ y una distancia de recorrido de 2 mm. El análisis se llevó a cabo en cuatro melones de cada unidad experimental de los tratamientos, en cada uno de los puntos determinados durante el

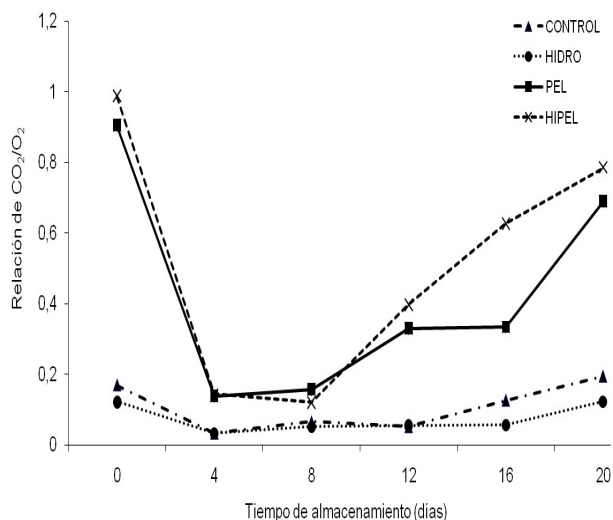


Figura 1. Relación de CO₂ / O₂ de melones sin tratamiento (CONTROL), hidrofriados (HIDRO), con cubierta (PEL) e hidrofriados con cubierta (HIPEL) en diferentes periodos de almacenamiento en frío.

Figure 1. CO₂ / O₂ ratio in untreated (CONTROL), hydro-cooled (HIDRO), coated (PEL) and hydro-cooled coated (HIPEL) melons at different times during cold storage.

almacenamiento; y se registró la fuerza máxima obtenida en Newtons (N). La textura interna se evaluó tomando la pulpa de dos melones al azar de cada tratamiento, en cada uno de los tiempos de almacenamiento. Se obtuvieron 20 cilindros de 1 cm de diámetro por 1 cm de altura de cada melón y se sometieron a compresión en el texturómetro, con un plato de 5 cm de diámetro hasta que se redujo su altura en un 75 %. La velocidad de pre-prueba fue de 5 mm s⁻¹ y la de prueba de 2 mm s⁻¹, seguido de una velocidad de retorno de 5 mm s⁻¹. Se obtuvo la fuerza máxima de compresión (Beaulieu et al. 2004).

Índice de daños por frío (IDF).

La determinación del IDF se realizó analizando las manchas y hundimientos superficiales característicos, utilizando la escala de cero a cuatro propuesta por García-Sahagún et al. (2005), donde cero corresponde a fruto sin daño; uno se refiere a daño ligero, cuando el 10 % o menos de la superficie del fruto está dañada; dos cuando el daño estaba en 10-15 % de la superficie; tres se asigna si 15-25 % de la superficie estaba dañada; y cuatro en caso

de que el daño fuera notorio en más del 25 % de la superficie del fruto. El ensayo se realizó por dos personas con experiencia en la determinación. La extensión del daño se describe como IDF, el cual se define como la multiplicación del 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 fórmula:

$$IDF = [(n)0 + (n)1 + (n)2 + (n)3 + (n)4]/N$$

Donde: n = Número de frutos dañados; N = Número de frutos por grupo. Pérdida de peso. El monitoreo del peso de los frutos fue realizado en una balanza granataria digital Ohaus (Ohaus de México). El valor de pérdida de peso se determinó por diferencia entre las muestras a los tiempos de almacenamiento descritos. Se seleccionaron cinco melones por lote experimental, cuidando que tuvieran peso y tamaño uniforme. La medición se realizó en las mismas muestras a lo largo del periodo de almacenamiento.

Determinación de acidez.

Se tomaron 100 g de pulpa de dos melones por tratamiento y se mezclaron individualmente en una licuadora. La muestra obtenida se filtró con un embudo adaptado con fibra de vidrio; se tomaron 5 mL de filtrado y se mezclaron con 50 mL de agua destilada previamente neutralizada (pH de siete utilizando NaOH 0.01 N o HCl 0.01 N según fuera el caso). A la mezcla obtenida se le agregaron dos gotas de fenolftaleína y se tituló con NaOH al 0.01 N hasta el vire. Posteriormente se midió el pH con un potenciómetro Orión 420A (Thermo Fisher Scientific Inc., EU) para verificar que la lectura estuviera entre 8.2-8.3 (Silva et al. 2004).

Sólidos solubles.

Para este análisis se utilizó el refractómetro digital Reichert AR600 (Reichert Analytical Instruments, NY, EU). Antes de realizar la medición se calibró el equipo con agua destilada; luego se tomó 1 mL del filtrado previamente obtenido en la determinación de acidez, se colocó en la ventana del refractómetro y se midió directamente (Silva et al.

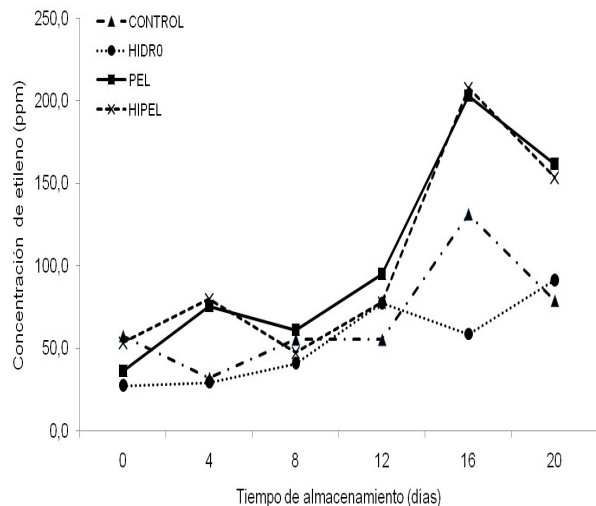


Figura 2. Concentración de etileno en el interior de melones sin tratamiento (CONTROL), hidrocenfriados (HIDRO), con cubierta (PEL) e hidrocenfriados con cubierta (HIPEL) en diferentes tiempo de almacenamiento en frío.

Figure 2. Internal ethylene concentration in untreated (CONTROL), hydro-cooled (HIDRO), coated (PEL) and hydro-cooled coated (HIPEL) melons at different times during cold storage.

2004).

Análisis estadístico.

Fue llevado a cabo por Análisis de Varianza usando el software SAS 8.0 (SAS Institute Inc. 2005). Para realizar la comparación de los tratamientos fue utilizado el método Diferencia mínima significativa.

RESULTADOS

CO₂, CO₂/O₂ y etileno.

En el presente estudio los mL de CO₂ generados por los frutos hidrocenfriados y con película fueron menores ($P < 0.05$) únicamente al inicio del experimento, en el que los melones se encontraban a temperaturas entre 17 y 19 °C (Tabla 1). Una vez que los frutos alcanzaron los 8 °C, generaron cantidades similares de CO₂ y también de etileno (datos no mostrados). También, se pudo observar que la concentración de los gases internos del fruto (CO₂, O₂ y etileno) tuvo un comportamiento diferente al del CO₂ liberado, ya que se evidenció mayor canti-

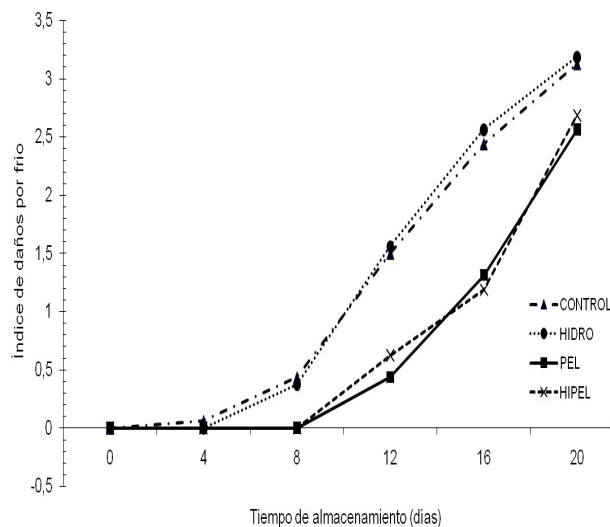


Figura 3. Índice de daños por frío de melones sin tratamiento (CONTROL), hidrocenfriados (HIDRO), con cubierta (PEL) e hidrocenfriados con cubierta (HIPEL) en diferentes tiempo de almacenamiento en frío.

Figure 3. Chilling injury index in untreated (CONTROL), hydro-cooled (HIDRO), coated (PEL) and hydro-cooled coated (HIPEL) melons at different times during cold storage.

dad de CO₂ y menores valores de oxígeno ($P < 0.05$) en los melones cubiertos con la película (PEL e HIPEL) al inicio del experimento y en los días 4, 12, 16 y 20 de almacenamiento (Figura 1); denotando relaciones aproximadas de 1/1 (CO₂/O₂) en los melones con la película, mientras que en los no cubiertos esta relación fue de aproximadamente 1 / 10, teniendo concentraciones de O₂ para llevarse a cabo el metabolismo del fruto en forma normal. Así mismo la concentración de etileno fue mayor en los melones cubiertos llegando a alcanzar hasta 200 ppm (Figura 2).

Textura.

Se evidenció un decremento gradual en la textura de la superficie del melón a lo largo de los 20 días de almacenamiento, en todos los tratamientos analizados (Tabla 2). Sin embargo, la disminución fue menor en los frutos cubiertos con la película (PEL e HIPEL), los cuales presentaron valores mayores de textura ($P < 0.05$) que las muestras CONTROL e HIDRO.

En lo que se refiere a la firmeza de la pulpa, los melones cubiertos con la película mostraron un

Tabla 1. Producción de CO₂ (ml / kg) de melones experimentales a diferentes tiempos de almacenamiento en refrigeración.

Table 1. CO₂ production (ml / k) in experimental melons at different times during cold storage.

TRATAMIENTO	0	4	8	12	16	20
CONTROL ¹	1.83 aA	0.594 aB	0.729 aB	0.736 aB	0.768 aB	0.875 aB
HIDRO ²	1.702 aA	0.569 B	0.534 aB	0.643 aB	0.734 aB	0.874 aB
PEL ³	1.107 bA	0.667 aB	0.660 aB	0.509 aB	0.759 aB	0.916 aB
HIPEL ⁴	1.305 bA	0.831 aB	0.601 aB	0.557 aB	0.753 aB	0.744 aB

¹CONTROL son las muestras sin aplicación de hidrofriamiento y sin cubierta de HPMC-parafina
²HIDRO frutos hidrofriados en agua a 4°C durante 35 minutos ³PEL melón con una cubierta en la superficie a base de HPMC y parafina ⁴HIPEL muestras con aplicación de hidrofriamiento y cubierta Superíndices diferentes en minúsculas determinan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre filas en un mismo tiempo Superíndices diferentes en mayúsculas determinan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre columnas en un mismo tratamiento

Tabla 2. Textura (N) externa de melones experimentales a diferentes tiempos de almacenamiento en refrigeración

Table 2. External texture (N) of experimental melons at different times during cold storage.

TRATAMIENTO	0	4	8	12	16	20
CONTROL ¹	23.41aA	16.97aB	12.36aC	10.95aCD	9.63aDE	7.85aE
HIDRO ²	24.84aA	17.15aB	12.24aC	10.79aCD	9.52aDE	7.65aE
PEL ³	23.67aA	16.99aB	13.50aC	11.97aCD	11.60aCD	10.42bD
HIPEL ⁴	24.51aA	17.37aB	12.54aC	11.33aC	10.73aCD	10.28bC

¹CONTROL son las muestras sin aplicación de hidrofriamiento y sin cubierta de HPMC-parafina
²HIDRO frutos hidrofriados en agua a 4°C durante 35 minutos ³PEL melón con una cubierta en la superficie a base de HPMC y parafina ⁴HIPEL muestras con aplicación de hidrofriamiento y cubierta Superíndices diferentes en minúsculas determinan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre filas en un mismo tiempo Superíndices diferentes en mayúsculas determinan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre columnas en un mismo tratamiento

descenso más rápido ($P < 0.05$) en la firmeza durante los primeros cuatro días de almacenamiento (Tabla 3), pero los frutos con cubierta mostraron mayor textura a los 12 y 16 días.

Acidez y sólidos solubles.

La acidez total (AT) de los frutos con cubierta (PEL e HIPEL) no varió ($P > 0.05$) durante los 20 días de almacenamiento. En cambio, los melones sin cubierta (CONTROL e HIDRO) presentaron un aumento en los valores de AT a los 12 días de almacenamiento (Tabla 4). En este estudio no se observaron diferencias ($P > 0.05$) entre el contenido de sólidos solubles de los melones de los diferentes tratamientos. Tampoco se presentaron cambios significativos durante los 20 días de almacenamiento, obteniéndose valores entre 8.6 y 10.4.

Índice de daño por frío.

Durante todo el estudio se observó que el IDF de los frutos cubiertos (PEL e HIPEL) fue menor ($P < 0.05$) que el de los frutos sin recubrimiento (CONTROL e HIDRO) (Figura 3). Por otro lado, el recubrimiento retrasó ($P < 0.05$) la aparición del DF cuatro días más con respecto a los frutos sin cubrir. Pérdida de peso. Los frutos con cubierta presentaron menores pérdidas de peso que los no cubiertos, aunque las diferencias significativas ($P < 0.05$) se observaron a los 12 días de almacenamiento (Tabla 5). Además, la pérdida de peso total acumulada durante el estudio fue menor ($P < 0.05$) en los frutos cubiertos que en los no cubiertos.

DISCUSIÓN

CO₂, CO₂/O₂ y etileno.

Tabla 3. Textura (N) interna de muestras de melón experimental a diferentes tiempos de almacenamiento en frío.

Table 3. Internal texture (N) of experimental melons at different times during cold storage.

TRATAMIENTO	0	4	8	12	16	20
CONTROL ¹	54.03aA	49.54aA	48.25aA	38.05aB	39.05aB	33.24aB
HIDRO ²	58.14aA	51.87 ^a AB	44.78aB	39.73aBC	34.69aC	37.84aC
PEL ³	56.51aA	42.31 ^a B	42.59aB	45.90bB	49.77bAB	37.00aB
HIPEL ⁴	60.67aA	47.45aB	46.52aB	38.55aC	41.85aBC	36.85aC

¹CONTROL son las muestras sin aplicación de hidrogenfriamiento y sin cubierta de HPMC-parafina
²HIDRO frutos hidrogenfriados en agua a 4°C durante 35 minutos ³PEL melón con una cubierta en la superficie a base de HPMC y parafina ⁴HIPEL muestras con aplicación de hidrogenfriamiento y cubierta Superíndices diferentes en minúsculas determinan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre filas en un mismo tiempo Superíndices diferentes en mayúsculas determinan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre columnas en un mismo tratamiento

Tabla 4. Acidez titulable (medida en ml de NaOH al 0.01 N) de melones experimentales almacenados en frío.

Table 4. Titratable acidity (recorded in ml of 0.01 N NaOH) of experimental melons during cold storage.

TRATAMIENTO	0	4	8	12	16	20
CONTROL ¹	2.67aA	2.82aA	2.925aA	3.37aB	3.17aB	3.320aB
HIDRO ²	2.53aA	3.05aBC	2.875aAC	3.5aB	3.12aBC	3.525aB
PEL ³	2.67aA	2.95aA	2.8aA	2.675bA	2.90aA	3.025aA
HIPEL ⁴	3.03aA	2.55aA	2.87aA	2.70bA	2.75aA	3.025aA

¹CONTROL son las muestras sin aplicación de hidrogenfriamiento y sin cubierta de HPMC-parafina
²HIDRO frutos hidrogenfriados en agua a 4°C durante 35 minutos ³PEL melón con una cubierta en la superficie a base de HPMC y parafina ⁴HIPEL muestras con aplicación de hidrogenfriamiento y cubierta Superíndices diferentes en minúsculas determinan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre filas en un mismo tiempo Superíndices diferentes en mayúsculas determinan diferencias significativas ($p < 0.05$) entre columnas en un mismo tratamiento

Tabla 5. Pérdida de peso (g), promedio y total, de melones experimentales a diferentes tiempos de almacenamiento en refrigeración.

Table 5. Weight loss (g), average and total, of experimental melons at different times during cold storage.

TRATAMIENTO	P0-P1	P1-P2	P2-P3	P3-P4	P4-P5	P0-P5
CONTROL ¹	33.25a	26.87a	25.68a	28.5a	27.56a	143.31a
HIDRO ²	31.62a	26.56a	26.75a	25.81a	29.38a	130.3b
PEL ³	28.93a	24.06a	23.93a	21.68a	25.43a	123.87bc
HIPEL ⁴	27.75a	24.37a	22.75a	21.62a	24.75a	118.56c

P0 es el peso de la muestra antes de los tratamientos, P1 peso a los 4 días de almacenamiento, P2 peso a los 8 días de almacenamiento, P3 peso a los 12 días y P4 el peso a los 16 días de almacenamiento del melón y P5 el peso a los 16 días de almacenamiento del melón ¹CONTROL son las muestras sin aplicación de hidrogenfriamiento y sin cubierta de HPMC-parafina ²HIDRO frutos hidrogenfriados en agua a 4°C durante 35 minutos ³PEL melón con una cubierta en la superficie a base de hidroxipropilmetilcelulosa y parafina ⁴HIPEL muestras con aplicación de hidrogenfriamiento y cubierta

Los tratamientos de hidrogenfriamiento y la aplicación de películas a frutas y hortalizas tienen como objetivo principal disminuir la velocidad de

producción de CO₂ para disminuir la respiración, retardar los procesos de maduración y alargar el periodo de almacenamiento del fruto (Vigneault *et al.*

2000).

Los datos obtenidos (sin diferencia en la producción de CO₂ de los frutos tratados y no tratados) son similares a los de Conforti & Zinck (2002) y Cisneros-Zeballos & Krochta (2003), los cuales reportaron resultados similares al aplicar películas poliméricas en vegetales no climatéricos. Al ser el melón Cantaloupe climatérico se esperaría un comportamiento diferente promovido por una tasa de respiración más elevada (Valero et al. 2002).

Lo anterior pudo deberse a la baja temperatura de almacenamiento de los melones (8 °C) corroborando la importancia de este parámetro en la velocidad de respiración del fruto y, consecuentemente en los procesos de maduración y senescencia (Valero et al. 2002). Además, los resultados obtenidos de los gases internos del melón hacen suponer que las propiedades de barrera a los gases de la película disminuyen en las primeras etapas del almacenamiento en el frigorífico por las condiciones de humedad en el mismo (80 ± 4 %) (Cisneros-Zeballos & Krochta 2003), haciéndola más permeable, pero conforme pasa el tiempo los gases van acumulándose en el interior del fruto, lo cual pudiera favorecer la conservación de ciertas propiedades físicas y químicas.

Textura.

La textura de frutas y vegetales está directamente relacionada con la composición y características de la pared celular, éstas a su vez, están determinadas por el grado de madurez del fruto (Oms-Oliu et al. 2007). En el fruto inmaduro el tejido es rígido y firme debido a que la celulosa, hemicelulosa y protopectina que componen las paredes celulares se encuentran intactas (Sozzi 2004). Durante la maduración estos compuestos se van hidrolizando con la consecuente pérdida de textura (Payasi et al. 2009). Investigaciones anteriores (Pérez-Gago et al. 2002) observaron resultados similares al presente estudio (mayor textura en frutos con cubiertas), en mandarinas recubiertas después de cuatro semanas de almacenamiento.

Una posible explicación de este comportamiento es que los melones sin película tuvieron una mayor pérdida de agua (P < 0.05) durante el periodo de duración del estudio. Lo anterior

pudo provocar pérdidas en la turgencia de los tejidos externos y consecuentemente disminución de su textura (Saladie et al. 2007). En lo que se refiere a la menor textura de la pulpa, este fenómeno pudo ser promovido por la mayor concentración de etileno (P < 0.05) presente en las muestras cubiertas durante este lapso de tiempo (Figura 2). Se sabe que la presencia de este gas está directamente relacionada con la aceleración de la maduración y, consecuentemente, con la disminución de la textura en frutas y hortalizas (Ritenour et al. 1999, Dandekar et al. 2004, Nishiyama et al. 2007). Por otro lado, estas concentraciones de etileno no afectaron significativamente (P > 0.05) a los valores de textura entre tratamientos, durante el resto del almacenamiento (Tabla 3). Incluso presentaron valores de firmeza mayor (P < 0.05), a los 12 y 16 días de almacenamiento en los frutos con película (PEL).

Acidez y los sólidos solubles.

La acidez de las frutas está determinada por la presencia y concentración de ciertos ácidos orgánicos, como cítrico, málico, tartárico y ascórbico. La concentración de éstos depende del estado fisiológico del fruto, disminuyendo a medida que transcurre la madurez (Hernández-Gil & Bautista 1977, Tosun et al. 2008). Por otra parte, Barry-Ryan & O'Beirne (1999) y Machado-Casado et al. (2005) indican una retención de los compuestos ácidos en frutas mínimamente procesadas tratadas con aplicación de cubiertas o bajo atmósferas controladas. En el presente estudio, los cambios observados en la AT pudieron deberse a la combinación de varios factores.

La mayor pérdida de agua en los controles concentró ciertos solutos, aumentando la acidez, mientras que las altas concentraciones de CO₂ y bajas de O₂, presentados en las muestras cubiertas con la película, pudieron influir en el metabolismo del fruto a lo largo del periodo de almacenamiento, permitiendo la conservación de la concentración de los ácidos. Novoa et al. (2006), encontraron que la acidez de los frutos aumenta en cierto periodo de maduración y posteriormente desciende como una consecuencia de los procesos metabólicos que la madurez desencadena. Por otro lado, Wang et

al. (1993) y Glew *et al.* (2003) observaron una disminución de las concentraciones de ácidos cítrico y quínico y un aumento en las del ácido málico durante la maduración del fruto. Aparentemente los melones sin película (CONTROL e HIDRO) solo están presentando un ciclo normal de maduración, donde en un momento dado del proceso de madurez, la producción de uno de estos ácidos se incrementó, y en los frutos con película (PEL e HIPEL) se conservó constante la velocidad de síntesis de los mismos, manteniendo los mismo niveles de ácidos a lo largo del período de estudio. Con respecto a los SS aparentemente, el metabolismo de los azúcares en frutos no climatéricos se detiene una vez cortado el fruto (Michalczuk 2004), y que las concentraciones mayores ($P < 0.05$) de etileno, en los melones con cubiertas, no afectaron la concentración de los mismos (Dandekar *et al.* 2004).

Índice de daño por frío.

El DF se produce por un conjunto de alteraciones metabólicas complejas que presentan las frutas y vegetales ante las bajas temperaturas (2-15 °C) (Artés & Artés-Hernández 2003). El DF provoca, entre otras cosas, un aumento en la permeabilidad de las membranas celulares, cambios en el funcionamiento enzimático e incluso rompimiento de la membrana y en general anomalías en el metabolismo de la pared celular (Manganaris *et al.* 2008).

La consecuencia de estas alteraciones es el acortamiento de la vida útil del fruto, cuya calidad comercial se ve afectada por la aparición de manchas y hundimientos en la cáscara (Artés & Artés-Hernández 2003). El DF es un tipo de estrés hídrico, la disminución del intercambio gaseoso provocada por la adición de la cubierta protectora, pudo contribuir a disminuir este estrés, retrasando la aparición del DF y disminuyendo sus signos (Grieron *et al.* 1982, Flores *et al.* 2004). Además, las frutas con cubierta presentaron menores concentraciones de oxígeno ($P < 0.05$) desde el inicio del experimento lo que puede ser otro factor que contribuya a tener menores daños en el tejido vegetal por tener un ambiente de menor estrés oxidativo (Pesis *et al.* 1994; Sala 1998) Además de los daños

visibles, la mayor presencia de este fenómeno en los melones sin cubierta (CONTROL e HIDRO), aunado a las pérdidas de humedad, pudo traer como consecuencia que estos frutos tuvieron una menor firmeza ($P < 0.05$) en sus tejidos (Manganaris *et al.* 2008).

Pérdida de peso.

Los productos hortofrutícolas, y entre ellos el melón, tienen una concentración de agua entre el 80 y 95 %, y por lo tanto están expuestos a pérdida de agua en sus tejidos por transpiración (Eitenmiller *et al.* 1985). Este fenómeno puede ser acelerado por una humedad relativa baja, con la consecuente pérdida de peso, que a su vez, es uno de los aspectos más importantes en la comercialización y venta del fruto, tanto por cuestiones económicas como sensoriales (Ben-Yehoshua 1987). Las menores pérdidas de humedad de los melones con cubierta hacen deducir que ésta funciona como barrera física deteniendo la salida de humedad del interior del fruto y por tanto disminuyendo la aparición de cambios en otros parámetros sensoriales que son indicadores de su calidad, como la textura y el aspecto visual (Jacxsens *et al.* 2004, Saladie *et al.* 2007).

Las diferencias entre los promedio de pérdida de peso, tanto en los frutos cubiertos como en los no cubiertos, fueron relativamente pequeñas, probablemente debido a las altas humedades relativas presentadas en el frigorífico a lo largo del tiempo de almacenamiento (80 ± 4 %). Sin embargo, al colocar estas mismas muestras en condiciones de menor humedad relativa (35-40 %) las pérdidas de humedad en los melones sin cubierta fueron mayores que en los frutos cubiertos (datos no mostrados). Lo anterior es un indicio de que la eficacia de la película se eleva conforme aumenta la diferencia de humedad entre los frutos y el medio ambiente, y que las condiciones de baja humedad relativa conservan las propiedades de barrera de la película (Cisneros-Zeballos & Krochta 2003). Por lo anteriormente escrito, la aplicación de los tratamientos no tuvo un gran impacto en detener el deterioro de la firmeza de los melones en las primeras etapas de almacenamiento en frío. A su vez, el hidrogenfriamiento, tal como fue aplicado, no tuvo beneficios sobre la

conservación de la calidad del melón; pero el uso de películas a base de HPMC-parafina sobre melón Cantaloupe pudo disminuir la presencia de daños por frío y la pérdida de humedad; así como la conservación de la acidez del fruto durante períodos prolongados de almacenamiento a temperaturas de refrigeración. Por lo que, la aplicación de películas de HPMC-parafina puede ser una buena alternativa para aumentar la vida de anaquel de melón cantaloupe mantenido a temperaturas de refrigeración.

AGRADECIMIENTOS

Se desea reconocer la ayuda de José Rafael Minjares Fuentes en la realización de este estudio y a la Dra. Gabriela Ramos Clamont por su apoyo en la redacción. También, al COCYTED por el financiamiento otorgado para el mismo; así como a la Distribuidora BEBO S.P.R DE R.L por su participación en la investigación.

LITERATURA CITADA

- Alzamora SM, Castro MA, Vidales SL, Nieto AB, Salvatori D (2000) The role of tissue microstructure in the textural characteristics of minimally processed fruits. En: Alzamora SM, Tapia MS, López-Malo A (eds.) *Minimally processed fruits and vegetables, fundamental aspects and applications*. Aspen Publisher, Inc. Gaithersburg, Maryland. 153-171 pp.
- Artés F, Artés-Hernández F (2003) Daños por frío en la postrecolección de frutas y hortalizas. En: López A, Esnoz A, Artés F (eds.) *Avances en Ciencias y Técnicas del Frío-1*. Editoriales UPCT y SECYTEF. Murcia, España. 299-310 pp.
- Barry-Ryan C, O'Beirne D (1999) Ascorbic acid retention in shredded iceberg lettuce as affected by minimal processing. *Journal of Food Science* 64(3): 498-500.
- Beaulieu JC, Ingram DA, Lea JM, Bett-Gerber KL (2004) Effect of harvest maturity on the sensory characteristics of fresh-cut cantaloupe. *Journal of Food Science* 69(7): 250-258.
- Ben-Yehoshua S (1987) Transpiration, water stress, and gas exchange. *postharvest physiology of vegetables*. En: Bartz JA (ed). *Postharvest physiology of vegetables*. eBook ISBN: 978-0-203-91009-2. DOI: 10.1201/9780203910092.CH5.
- Bolin HR, Huxsoll CC (1991) Effect of preparation procedures and storage parameters on quality retention of salad-cut lettuce. *Journal of Food Protection* 64(8): 1244-1248.
- Brosnan T, Sun D (2001) Precooling techniques and applications for horticultural products a review. *International Journal of Refrigeration* 24(2): 154-170.
- Cisneros-Zevallos L, Krochta JM (2003) Whey protein coatings for fresh fruits and relative humidity effects. *Journal of Food Science* 68(1): 176-181.
- Conforti FD, Zinck JB (2002) Hydrocolloid-lipid coating affect on weight loss, pectin content, and textural quality of green bell peppers. *Journal of Food Science* 67(4):1360-1363.
- Dandekar AM, Teo G, Defilippi BG, Uratsu SL, Passey AJ, Kader AA, Stow JR, Colgan RJ, James DJ (2004) Effect of down-regulation of ethylene biosynthesis on fruit flavour complex in apple fruit. *Transgenic Research* 13: 373-384.
- Eitenmiller RR, Johnson CD, Bryan WD, Warren DB, Gebhardt SE (1985) Nutrient composition of cantaloupe and honeydew melons. *Journal of Food Science* 50(1): 136-138.
- Ferreira MD, Brecht JK, Sargent SA, Aracena JJ (1994) Physiological responses of strawberry to film wrapping and precooling methods. *Proceedings Florida State Horticulture Society* 107: 265-269.

- Flores FB, Martínez-Madrid MC, Ben-Amor M, Pech JC, Latch A, Romojaro F (2004) Modified atmosphere packaging confers additional chilling tolerance on ethylene-inhibited cantaloupe Charentais melon fruit. *European Food Research Technology* 219: 614-619.
- García-Sahagún ML, Vargas-Arispuro I, Gardea-Béjar AA, Tiznado MH, Martínez-Téllez MA (2005) Daños por frío en melón Cantaloupe en dos estados de madurez. *Revista Fitotécnica Mexicana* 28(2): 161-170.
- Glew RH, Ayaz FA, Sanz C, VanderJagt DJ, Huang HS, Chuang LT (2003) Effect of postharvest period on sugars, organic acids and fatty acids composition in commercially sold medlar (*Mespilus germanica* Dutch) fruit. *European Food Research and Technology* 216: 390-394
- Grierson W, Soule J, Kawaka K (1982). Beneficial aspect of physiological stress. *Horticultural Reviews* 4: 246-271.
- Hernández-Gil R, Bautista D (1977) Crecimiento y cambios bioquímicos durante el proceso de maduración de la mora (*Rubus glaucus* Benth). *Revista Agronomía Tropical* 27(2): 225-233.
- Jacxsens L, Devlieghere F, Debevere J (2004) Quality of equilibrium modified atmosphere packaged (EMAP) fresh-cut vegetables. En Dris R, Jain SM (eds.) *Production practices and quality assessment of food crops, Vol. 3, Quality handling and evaluation*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 473-523 pp.
- Karel M, Lund D (2003) *Physical principles of food preservation*. Marcel Dekker, Inc. New York, USA. 167 pp.
- Krochta JM, De Mulder-Johnston C (1997) Edible and biodegradable polymer films: challenges and opportunities. *Food Technology* 51(2): 61-72.
- Lurie S, Crisosto C (2005) Chilling injury in peach and nectarine. *Postharvest Biology and Technology* 37: 195-208.
- Machado-Casado FM, Machado AV, Bosco-Chitarra A (2005) Efeito da atmosfera modificada ativa na qualidade do melão orange flesh minimamente processado. Effect of the active modified atmosphere in the quality of the melon tipo orange flesh processed minimally. *Ciencia e Agrotecnologia* 29(4): 817-823.
- Manganaris GA, Vicente AR, Crisosto CH, Labavitch JM (2008) Cell wall modifications in chilling-injured plum fruit (*Prunus salicina*). *Postharvest Biology and Technology* 48: 77-83.
- Michalczyk L (2004). Modification of Fruit Ripening By Genetic Transformation. En Dris R, Jain SM (eds.) *Production practices and quality assessment of food crops, Vol. 3, Quality handling and evaluation*. Kluwer Academic Publishers. Holanda. 451-472 pp.
- Nath P, Trivedi P, Sane V, Sane A (2006) Ethylene action in plants. En Khan NA (ed). Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Holanda. 205 pp.
- Nishiyama K, Guis M, Rose JKC, Kubo Y, Bennett KA, Wangjin L, Kato K, Ushijima K, Nakano R, Inaba A, Bouzayen M, Latche A, Pech JC, Bennett AB (2007) Ethylene regulation of fruit softening and cell wall disassembly in Charentais melon. *Journal of Experimental Botany* 58(6): 1281-1290.
- Novoa RH, Bojacá M, Galvis JA, Fischer G (2006) La madurez del fruto y el secado del cáliz influyen en el comportamiento poscosecha de la uchuva, almacenada a 12°C (*Physalis peruviana* L.) *Agronomía Colombiana* 24(1): 77-86.
- Olivas GI, Barbosa-Cánovas GV (2005) Edible coatings for fresh-cut fruits. *Critical Reviews of Food Science and Nutrition* 45: 657-670.
- Oms-Oliu G, Soliva-Fortuny R, Martín-Belloso O (2007) Effect of ripeness on the shelf-life of fresh-cut melon preserved by modified atmosphere packaging. *European Food Research and Technology* 225: 301-311

- Payasi A, Nath MN, Soares CAL, Singh R (2009) Biochemistry of fruit softening: an overview. *Physiology and Molecular Biology of Plants* 15(2): 103-113.
- Pérez-Gago MB, Rojas C, Del Río MA (2002) Effect of lipid type and amount of edible hydroxypropyl methylcellulose-lipid composite coatings used to protect postharvest quality of Mandarins Cv. Fortune. *Journal of Food Science* 67(8): 2903-2910.
- Pesis E, Marinansky R, Zauberman G, Fuchs Y (1994) Pre-storage low-oxygen atmosphere treatment reduces chilling injury symptoms in 'Fuerte' avocado fruit. *Hortscience* 29(9): 1042-1046.
- Ritenour MA, Crisosto CH, Garner DT, Cheng GW, Zoffoli JP (1999) Temperature, length of cold storage and maturity influence the ripening rate of ethylene-preconditioned kiwifruit. *Postharvest Biology and Technology* 15: 107-115. Sala JM (1998) Involvement of oxidative stress in chilling injury in cold-stored mandarin fruits. *Postharvest Biology and Technology* 13: 255-261.
- Saladie M, J. Matas JA, Isaacson T, Jenks MA, Goodwin SM, Niklas KJ, Xiaolin R, Labavitch JM, Shackel KA, Fernie AR, Lytovchenko A, O'Neill MA, Watkins CB,
- Rose JKC (2007) A reevaluation of the key factors that influence tomato fruit softening and integrity. *Plant Physiology* 144: 1012-1028.
- SAS (2005) SAS/STAT User's Guide, version 8, Fourth Ed. Vol. 1 and 2. SAS Institute Inc., Cary, N.C., E.U.
- Silva JA, Costa TS, Lucchetta L, Marini LJ (2004) Characterization of ripening behavior in transgenic melons expressing an antisense 1-aminocyclopropane-1-carboxylate (ACC) oxidase gene from apple. *Postharvest Biology and Technology* 32: 263-268
- Sozzi GO (2004) Strategies for the Regulation of Postharvest Fruit Softening by Changing Cell Wall Enzyme Activity. En Dris R, Jain SM (eds.), *Production Practices and Quality Assessment of Food Crops*, Vol. 4, *Postharvest Treatment and Technology*. Kluwer Academic Publishers. Netherlands. 135-172 pp.
- Thompson JF (2004) Pre-cooling and storage facilities. United States Department of Agriculture, *Agriculture Handbook* 66, Disponible en: <http://www.ba.ars.usda.gov/hb66/011cooling.pdf>. Accesado en Agosto de 2005. Washington, D.C., E.U.
- Tosun N, Sule U, Belkis T (2008) Physical and chemical changes during ripening of blackberry fruits. *Scientia agricola* 65 (1): 87-90.
- Valero D, Pérez-Vicente A, Martínez-Romero D, Castillo S, Guillén F, Serrano M (2002) Plum storability improved after calcium and heat postharvest treatments: role of polyamines. *Journal of Food Science* 67(7): 2571-2575.
- Vigneault C, Bart JA, Sargent, SA (2000) Postharvest decay risk associated with hydrocooling tomatoes. *Plant Disease* 84: 1314-1318. Wang T, Gonzalez AR, Gbur EE, Aselage JM (1993) Organic acid changes during ripening of processing peaches. *Journal of Food Science* 58(3): 631-632.