

## LAS CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO Y EL ENCERADO AFECTAN EL ESTADO HÍDRICO Y LA CALIDAD DE MANGO

### STORAGE CONDITIONS AND WAXING AFFECT WATER STATUS AND QUALITY OF MANGO

Dolores Muy Rangel<sup>1</sup>, Jorge Siller Cepeda<sup>1\*</sup>, Juan Díaz Pérez<sup>2</sup> y Benigno Valdés Torres<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C. - Unidad Culiacán. Apdo. postal 32-A, Culiacán, Sinaloa. México. 80129. Correo electrónico: jsiller@ciad.edu.mx <sup>2</sup>Agricultural & Environmental Sciences, University of Georgia, Tifton, GA, U.S.A.. <sup>3</sup> Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Monterrey-Campus Sinaloa.

\* Autor responsable

#### RESUMEN

En este estudio se determinó la influencia que tienen las condiciones de almacenamiento y la aplicación de cera en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de frutos de mango (*Mangifera indica L.*) cv. Keitt. Frutos tratados hidrotérmicamente fueron divididos en dos lotes: a uno se les aplicó una cera comercial (Britex®) y al otro se le dejó como testigo (sin cera). Los frutos testigo y encerados fueron colocados en tres diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV), 1.52, 1.14 y 0.22 kPa, por 10 d a 24 ± 1 °C. Se determinó pérdida de peso diaria y acumulada, firmeza, contenido relativo de agua (CRA), potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), osmótico ( $\Psi_s$ ) y de presión ( $\Psi_p$ ) y contenido de sólidos solubles totales (°Brix). La pérdida de peso se incrementó en forma directamente proporcional con el DPV. La aplicación de cera fue efectiva para reducir en 30 % la pérdida de peso de los frutos, pero sólo en alto DPV. Con la pérdida de peso diaria y los valores de DPV se generaron modelos empíricos confiables para predecir la vida de anaqueles en los frutos testigos y encerados ( $r^2 = 0.90$ ). Cuando los frutos alcanzaron valores de CRA = 89 % y  $\Psi_p = 0$  (plasmólisis celular), su calidad comercial aún no se afectaba. Frutos con CRA = 84 %,  $\Psi_p < 0$  y firmeza = 20 N, definieron el inicio de la pérdida de calidad comercial. Durante el almacenamiento el  $\Psi_w$  disminuyó de -1.0 hasta -2.8 MPa, según las condiciones de DPV y la aplicación de cera; tal disminución se debió, en parte, a la acumulación de solutos (°Brix) que modificaron el  $\Psi_s$ . Conforme los °Brix aumentaron, el  $\Psi_s$  disminuyó en una relación lineal, que también se puede usar para predicción.

**Palabras clave:** *Mangifera indica L.*, potencial hídrico, déficit de presión de vapor, contenido relativo de agua, almacenamiento, calidad poscosecha.

#### SUMMARY

The study determined the effect of storage conditions and waxing on the water status and postharvest quality of mango fruits (*Mangifera indica L.*) cv. Keitt. Hydrothermal treated fruits were divided on two sets: one waxed with a commercial wax (Britex®), and the other unwaxed as control. Waxed and unwaxed fruits were stored under three different water vapor pressure deficits (VPD) conditions, 1.52, 1.14 and 0.22 kPa, during 10 d at 24 ± 1 °C. Daily and

cumulative weight loss, firmness, relative water content (RWC), water potential ( $\Psi_w$ ), osmotic potential ( $\Psi_s$ ), pressure potential ( $\Psi_p$ ) and soluble solid content (°Brix) were determined. Weight loss increased directly proportional to VPD. Wax application was effective in reducing by 30 % the weight loss, but only at high VPD. Using daily weight loss and DPV conditions, empiric models were generated to predict shelf life on control and waxed fruits ( $r^2=0.90$ ). When fruits reached 89 % RWC and  $\Psi_p = 0$  (cellular plasmolysis), the commercial quality was still unaffected. Fruits with 84 % of RWC,  $\Psi_p < 0$ , and firmness = 20 N, defined the beginning of commercial quality loss.  $\Psi_w$  was reduced during storage from -1.0 to -2.8 MPa, depending on VPD conditions and wax application; this reduction was partially due to solute accumulation (°Brix) that modified  $\Psi_s$ . As °Brix increased,  $\Psi_s$  descended in a lineal relation, a relation that can also be used for prediction.

**Index words:** *Mangifera indica L.*, water potential, vapor pressure deficit, relative water content, storage, postharvest quality.

#### INTRODUCCIÓN

El cultivo del mango (*Mangifera indica L.*) mantiene una importancia significativa en el contexto agrícola en México, ya que se dedican cerca de 161 899 hectáreas para la producción de este fruto, con un volumen anual de 1 678 522 toneladas en el año 2002 (FAO, 2003; SAGARPA, 2002). En el año 2000, México exportó 206 782 toneladas y destinó el resto al mercado nacional (SAGARPA, 2002).

El fruto del mango, al igual que todas las frutas y hortalizas, continúa sus procesos bioquímicos y fisiológicos aún después de cosecha, al inducir la maduración y posteriormente la senescencia. Algunos de estos procesos incluyen cambios en el color, incremento en el contenido de azúcares, pH y la relación azúcar/ácido, así como reducción en la firmeza, acidez y peso. Varias de estas características se utilizan como

indicadores del estado de madurez y de la calidad poscosecha de un fruto. La pérdida de peso está asociada a la transpiración y modifica el estado hídrico del fruto (Hulme, 1971; Seymour *et al.*, 1990).

El almacenamiento a bajas temperaturas ha sido una de las tecnologías más utilizadas para mantener la calidad poscosecha del mango (Thompson, 1971). La temperatura recomendada es de 13 °C; temperaturas inferiores causan daño por frío y afectan la calidad de los frutos (McGregor, 1987; Medlicott *et al.*, 1990). Algunas investigaciones han estudiado los efectos de la temperatura de almacenamiento sobre la calidad del fruto de mango y su vida de anaquel (Thomson, 1971; Thomas, 1975; Seymour *et al.*, 1990), pero éstos se han evaluado solamente con almacenamiento en condiciones de alta humedad relativa (90-95 %), sin considerar la relación entre temperatura y humedad relativa, que genera a la variable conocida como déficit de presión de vapor de agua (DPV) (Shibairo *et al.*, 1997), ni a otras tecnologías como la aplicación de ceras, las cuales influyen en la tasa de transpiración y el estado hídrico del fruto. Un mismo valor de DPV se puede obtener de diversas combinaciones entre la temperatura y la humedad relativa, de modo que el DPV permite determinar con mayor exactitud las condiciones apropiadas para almacenar el producto (Shirazi y Cameron, 1993; Paull, 1999).

Valores bajos de DPV durante el almacenamiento reducen la velocidad de transpiración y mantienen la turgencia en los tejidos de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) por más tiempo (Leonardi *et al.*, 2000). En frutos de manzana (*Malus domestica* Borkh.), una reducción de 65 % en el DPV del almacenamiento, incrementó la vida poscosecha hasta seis meses (Lentz y Rooke, 1964).

El estado hídrico de los tejidos se determina mediante el contenido relativo de agua (CRA) y el potencial hídrico ( $\Psi_w$ ) (Hsiao, 1990). El CRA está en función de la relación entre el peso fresco, hidratado y seco de una muestra, mientras que el  $\Psi_w$  está compuesto por el potencial de solutos ( $\Psi_s$ ) en las células y el potencial de presión ( $\Psi_p$ ) sobre la pared celular. El agua pura posee el máximo valor del  $\Psi_w$  y equivale a cero, mientras que el  $\Psi_s$  se expresa con valores menores de cero y el  $\Psi_p$  puede presentar valores superiores, iguales o inferiores a cero; los valores del  $\Psi_p$  de cero o inferiores indican plasmólisis celular (Hsiao, 1990). Un valor del  $\Psi_w$  cercano a cero indica frescura y turgencia en el tejido, mientras que su reducción denota un efecto nocivo en la calidad de los productos frescos (Herppich *et al.*, 2000).

A pesar de la importancia que tiene el agua en los tejidos vegetales, a la fecha no existen estudios en frutos de mango que muestren el comportamiento del estado hídrico (CRA y  $\Psi_w$ ), el grado de asociación que tienen estas variables con la calidad del producto, y cómo los frutos son afectados por las condiciones del almacenamiento y la aplicación de cera. Por ello, en este estudio se determinó el estado hídrico de los frutos de mango cv. Keitt en poscosecha, su asociación con las variables de calidad y su comportamiento en diferentes condiciones de DPV y encerado.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se hizo en 480 frutos de mango cv. Keitt obtenidos directamente de un empacadora comercial ubicada en Ahome, Sinaloa, México, que fueron sometidos a un tratamiento cuarentenario (46.1 °C por 90 min + 20 °C por 30 min) antes de ser empacados. Los frutos se dividieron en dos lotes; a uno de ellos se les aplicó, manualmente, la cera comercial Britex 508 (Britex®, compuesta por agua, polietileno oxidado y emulsificantes no iónicos) y el otro lote se consideró como testigo (sin cera). Para generar las diferentes condiciones de DPV, los frutos testigos y encerados fueron colocados en contenedores de acero inoxidable de 0.231 m<sup>3</sup> de capacidad con entrada y salida de aire. Los contenedores fueron transferidos al interior de una cámara de almacenamiento de 14 m<sup>3</sup> de capacidad, a una temperatura controlada (24 ± 1 °C). Las tres condiciones de DPV se generaron aplicando óxido de calcio con flujo de aire extra seco (1.52 kPa, HR = 52 %), aire seco (1.14 kPa, HR = 64 %) y aserrín sobresaturado de agua con aire húmedo (0.22 kPa, HR = 93 %). Los valores de DPV en kPa se calcularon con las tablas de Pearcy *et al.* (1991), con base en los datos de temperatura y humedad relativa obtenidas de un higrotermógrafo Hobo Pro Series Modelo HO8-032-08. Se hicieron dos réplicas de contenedor por tratamiento. El estudio se llevó a cabo durante 10 d. Diariamente se evaluó la pérdida de peso y la transpiración de los frutos, y cada 2 d se determinó la firmeza (N), los sólidos solubles totales (°Brix), el contenido relativo de agua (CRA en %) y los potenciales hídrico ( $\Psi_w$ ), osmótico ( $\Psi_s$ ) y de presión ( $\Psi_p$ ), expresados en MPa.

### Pérdida de peso

La pérdida de peso se evaluó diariamente en 10 frutos con una balanza digital Mettler Toledo (PR8002). Para los cálculos se consideró el peso inicial y final por día de los mismos frutos (pérdida diaria de peso), mientras que la pérdida de peso acumulada se generó de la sumatoria de la pérdida diaria de peso durante el periodo del estudio

(Díaz-Pérez, 1998). Los resultados se reportaron en porcentaje de pérdida de peso por día y porcentaje de pérdida de peso acumulado.

### Firmeza

La firmeza se determinó por punción en cinco frutos eliminando la cáscara en la zona de evaluación. Se utilizó un penetrómetro Chatillon Digital (DFIS-50) equipado con un puntal de 10 mm de diámetro y adaptado a una base Chatillon TCD 200. Las lecturas se tomaron en ambos lados del fruto y en tres secciones distintas (ápice, centro y pedúnculo). Los resultados se expresaron en Newtons (N), según Bourne (1980).

### Sólidos solubles totales

Su contenido se determinó en el jugo obtenido de cinco frutos en cada fecha de muestreo, mediante un refractómetro ABBE Leica Mark II con compensación de temperatura, conforme a la metodología propuesta por la AOAC (1998). Los resultados se expresaron en °Brix.

### Potencial hídrico ( $\Psi_w$ ), osmótico ( $\Psi_s$ ) y de presión ( $\Psi_p$ )

Para el potencial hídrico se utilizaron tres frutos con dos repeticiones mediante el método de volumen constante (Shibairo *et al.*, 1997). Se pesaron cilindros de tejido de 5 mm de diámetro y 4 cm de longitud y posteriormente se colocaron en soluciones de sacarosa de distintas molalidades (0.1, 0.05, 0.025 y 0.015 M). A estas soluciones se les determinó el valor de su potencial osmótico mediante la ecuación  $\Psi_s = -CiRT$ ; donde  $Ci$  es la concentración molal de la sacarosa,  $R$  es la constante ideal de los gases ( $0.0083 \text{ kg MPa mol}^{-1} \text{ K}^{-1}$ ) y  $T$  la temperatura a 273 K (Salisbury y Ross, 1994). En las soluciones de sacarosa preparadas, el potencial de presión es igual a cero (no existe presión celular) y por tanto el  $\Psi_w = \Psi_s$  (Salisbury y Ross, 1994). Las muestras se dejaron en reposo durante 2.25 h (tiempo requerido para alcanzar el equilibrio de la muestra con la solución), se retiraron de las soluciones, se secó el agua excedente de la superficie y se registró el peso. Posteriormente, se graficaron los valores de peso, y la muestra sin ganancia o pérdida de peso, en una concentración de sacarosa conocida, correspondió a su potencial hídrico (Salisbury y Ross, 1994).

El potencial osmótico ( $\Psi_s$ ) se determinó también en tres frutos con dos repeticiones, con un osmómetro de presión de vapor Wescor modelo 5520, de acuerdo con la metodología descrita por Turner (1981). La muestra se obtuvo del exudado de trozos de frutos congelados a -20

°C y posteriormente descongelados a temperatura ambiente para romper las membranas celulares y llevar el potencial de turgencia a cero. Se tomaron 10  $\mu\text{L}$  del jugo del fruto y se colocaron en un disco de papel filtro de 0.32 cm<sup>2</sup>, instalado previamente en la cámara de recepción del equipo. El osmómetro fue previamente calibrado con soluciones de 100, 290 y 1000 mmol kg<sup>-1</sup> de NaCl. Los resultados de molalidad fueron convertidos a potencial osmótico con la ecuación de Van't Hoff, donde ( $\Psi_s$ ) =  $-CiRT$  (Salisbury y Ross, 1994). El  $\Psi_p$  se calculó por diferencia entre el potencial hídrico y el osmótico ( $\Psi_p = \Psi_w - \Psi_s$ ) según Turner (1981).

### Contenido relativo de agua (CRA)

El contenido relativo de agua (CRA) se determinó en tres frutos con dos repeticiones, con la metodología propuesta por Pomper y Breen (1997), con algunas modificaciones. Con un sacabocados se cortaron discos de tejido de 20 mm de diámetro y se pesaron en una balanza analítica Sartorius (CP324S), para obtener el peso fresco ( $P_f$ ). Despues, los discos se colocaron en agua destilada ( $25 \pm 1$  °C) por 2.25 h (tiempo suficiente para absorber el máximo de agua y alcanzar un peso constante de la muestra); posteriormente, la muestra se retiró del agua y se le secó el exceso de agua superficial y se pesó para registrar el peso a su máxima turgencia ( $P_t$ ). Finalmente, las muestras se secaron en una estufa a 75 °C por 48 h y se pesaron para conocer el peso seco ( $P_s$ ). El CRA se determinó con la ecuación: CRA (%) =  $[(P_f - P_s)/(P_t - P_s)] \times 100$ .

### Diseño experimental

Para el análisis de los resultados se utilizó un experimento factorial en bloques completos al azar. Las variables destructivas (firmeza, SST, CRA, potencial hídrico, potencial osmótico y potencial de presión), se analizaron mediante un diseño de dos factores (cera y tiempo) en bloques (DPV) aleatorizados completos. Para la variable no destructiva (pérdida de peso), se utilizó un diseño de tres factores en bloques aleatorizados completos. Los bloques fueron los niveles de DPV, el factor fruto se anidó en cera y bloques, mientras que el factor tiempo fue de medidas repetidas. Cuando el análisis de varianza resultó significativo se hizo la separación de medias por Tukey con una probabilidad de error de 5 %. Se hicieron análisis de regresión y comparación de las pendientes según Kleinbaum *et al.* (1998). En todos los análisis se usó el paquete estadístico computacional MINITAB versión 13.1 (MINITAB, 2002).

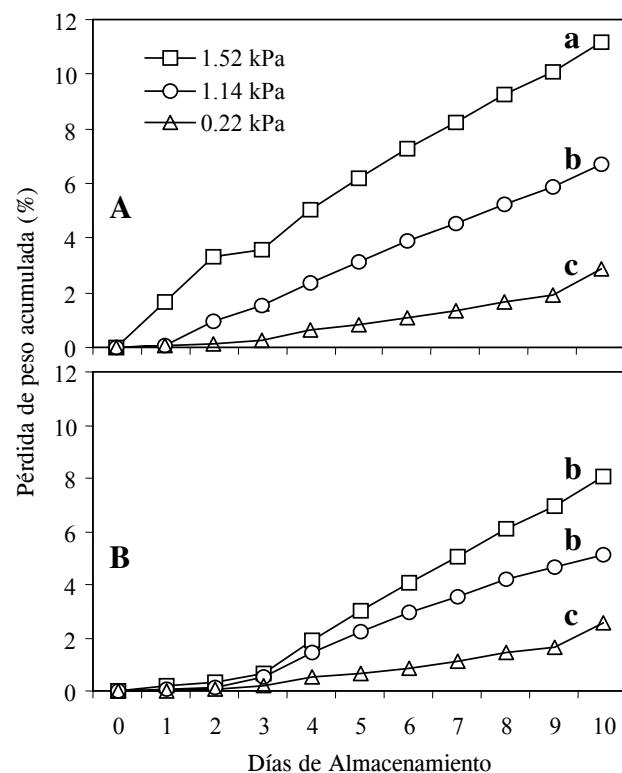


Figura 1. Porcentaje de pérdida de peso acumulado en frutos de mango cv. Keitt (A) testigos y (B) encerados, durante el almacenamiento a  $24 \pm 1^\circ\text{C}$  con diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV en kPa). Misma letra indica medias estadísticamente iguales ( $\alpha = 0.05$ )

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Pérdida de peso

La pérdida de peso de los frutos dependió de las condiciones del DPV durante el almacenamiento y de la aplicación de cera. La mayor pérdida de peso al final del estudio (11 %) se registró en los frutos testigo almacenados a valores altos de DPV (1.52 kPa) y fue estadísticamente diferente ( $P=0.0001$ ) a los frutos testigo almacenados a DPV de 1.14 y 0.22 kPa, que alcanzaron 7 y 3 % de pérdida de peso, respectivamente (Figura 1A). La aplicación de cera disminuyó la pérdida de peso solamente en los frutos almacenados en altos valores de DPV (1.52 kPa), ya que la pérdida de peso de los frutos almacenados a valores más bajos de DPV fue similar a los frutos sin encerar (Figura 1B).

El fruto de mango está clasificado dentro de los frutos con moderada pérdida de peso cuando se almacena a  $13^\circ\text{C}$  y entre 85 y 90 % de HR (McGregor, 1987). La

fluctuación de la temperatura y de la humedad relativa modifica considerablemente el DPV de la cámara de almacenamiento, lo que afecta el equilibrio de las moléculas del agua entre el aire circundante y el producto (Shibairo *et al.*, 1997; Leonardo *et al.*, 2000; Lentz y Rooke, 1964). Los resultados obtenidos muestran que la pérdida de peso depende de las condiciones del DPV durante el almacenamiento y de la aplicación de cera. Otros autores han encontrado que valores bajos de DPV (% HR altos) durante el almacenamiento reducen la pérdida de peso de los frutos, como también se observó en este trabajo (Grierson y Wardowski, 1978; Ben-Yehoshua, 1987). De la misma manera, Shirazi y Cameron (1993) encontraron en tomate (*Lycopersicum esculentum* Mill.) que la pérdida de agua en los tejidos aumenta cuando la HR del ambiente se reduce, similar a lo aquí encontrado en frutos de mango almacenados en altos DPV's.

La reducción de la pérdida del agua del fruto no solamente depende de las condiciones de DPV en el almacenamiento, sino también de la aplicación de ceras sobre el fruto. Baldwin *et al.* (1999) encontraron que el uso de cera en mango Tommy Atkins redujo en 26 % dicha pérdida de peso. En el cv. Keitt la aplicación de cera también fue efectiva en reducir la pérdida de agua de los frutos durante el almacenamiento, pero solamente en aquellos mantenidos en DPV's altos (HR=52 %) (Figuras 1A y 1B).

La relación entre el porcentaje de pérdida de peso por día en los frutos con y sin cera en diferentes condiciones de DPV, fue lineal (Figura 2). Las pendientes de las pérdidas de peso entre frutos encerados y sin encerar fueron significativamente diferentes ( $P \leq 0.007$ ), lo que permite generar modelos empíricos para estimar la velocidad de pérdida de peso. Modelos similares han sido reportados para frutos de pepino (*Cucumis sativus* L.) (Muy *et al.*, 2004).

### Firmeza

Los frutos testigo expuestos a valores altos de DPV perdieron más rápido su firmeza, que los frutos encerados y los almacenados en condiciones de DPV's bajos (Figura 3). El efecto de la pérdida de agua sobre la maduración de frutos climatéricos fue reportado por Littmann (1972), quien señala que para frutos climatéricos como el mango, la humedad relativa presente durante el almacenamiento puede afectar el ablandamiento de los frutos durante la maduración.

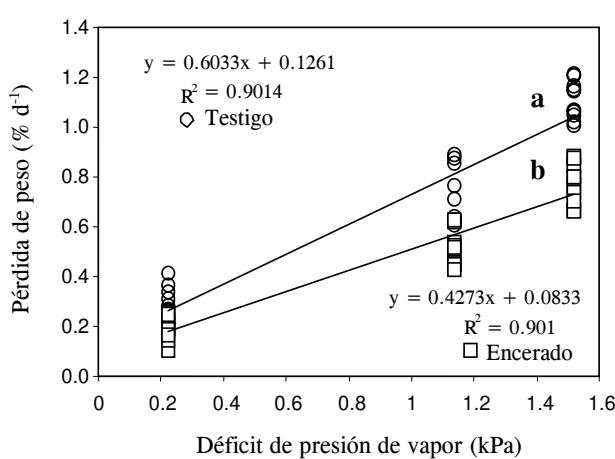


Figura 2. Porcentaje de pérdida de peso diario en frutos de mango cv. Keitt testigos y encerados bajo diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV) durante 10 d de almacenamiento a  $24 \pm 1^\circ\text{C}$ . Letra distinta de cada recta indica diferencia significativa entre las pendientes ( $\alpha = 0.05$ ).

De acuerdo con Mitcham y McDonald (1992), la pérdida de calidad en frutos de mango cv. Keitt inicia cuando éstos muestran valores inferiores a 20 N, y cuando alcanzan 5 N de firmeza el fruto se encuentra sobre-maduro y senescente. Los frutos sin encerar expuestos a 1.52 kPa de DPV inician su pérdida de calidad después de 7 d de almacenamiento al alcanzar 20 N (Figura 3). Cuando los frutos se almacenan en condiciones de DPV inferiores a 1.14 kPa o cuando se aplican ceras al fruto, el inicio de pérdida de calidad se retrasa hasta después de 9 d.

Para frutos de mango Tommy Atkins, Baldwin *et al.* (1999) reportan que el uso de la cera Nature-Seal® (NS) y Carnauba retrasaron de manera significativa la pérdida de firmeza, en comparación con los frutos no encerados; ello indica que la retención del agua en los frutos encerados se relacionó positivamente con la firmeza. En otro estudio con el mango Francisque almacenado a 4 y 12 °C en diferentes humedades relativas (Kane *et al.*, 1982), se reportó que la pérdida de firmeza estuvo asociada con la pérdida de peso y las condiciones de almacenamiento, puesto que los frutos almacenados a una humedad relativa baja (% HR = 60) presentaron mayor pérdida de peso, menor turgencia y menor firmeza, similar a lo observado en los mangos Keitt evaluados en este estudio.

### Contenido relativo de agua (CRA)

Los valores de CRA y de firmeza pueden ser utilizados como variables indicativas de la calidad comercial del fruto. La asociación entre ambas variables permite obtener modelos empíricos de predicción sobre la velocidad de ablandamiento del mango (Figura 4). Cuando los frutos reducen en 3 % su CRA durante el almacenamiento, los valores del potencial de presión se vuelven cero o menores (indicativo de plasmólisis celular, según diagrama de Hofler; Hsiao, 1990; Herppich *et al.*, 2000). Al potencial de presión de cero le corresponde un valor de CRA aproximado de 89 %, independiente de la aplicación de cera (datos no mostrados).

En la Figura 4 se presenta la relación entre el valor de CRA y la firmeza. Cuando los frutos de mango alcanzaron valores de CRA=89 % (línea discontinua), el potencial de presión fue cero y la firmeza en los frutos fue de 100 N. Estos valores de firmeza son superiores a los 20 N indicados por Mitcham y McDonald (1992) como el inicio de la pérdida de calidad comercial para mango Keitt. En pepino se ha demostrado que cuando los frutos alcanzan potenciales de presión inferiores a cero ocurre la plasmólisis celular y se pierde su calidad comercial (Muy *et al.*, 2004). Los resultados de mango indican que cuando los frutos alcanzan valores de cero en el  $\Psi_p$ , éstos están aún muy firmes, y que se requiere una mayor liberación de agua (jugosidad) para ser consumidos. Cuando los frutos alcanzan 20 N de firmeza, e inician la pérdida de calidad comercial, los valores de CRA son inferiores a 84 % (línea continua), cinco puntos porcentuales abajo del valor en donde el potencial de presión ( $\Psi_p$ ) fue cero y probablemente ocurrió la plasmólisis celular.

Según Burdon y Clark (2001), los frutos maduros de Kiwi (*Actinidia deliciosa* C.F. Liang and A.R. Ferguson var. *deliciosa*) almacenados a 2.1 kPa de DPV mostraron plasmólisis celular a 3 d de almacenamiento, caracterizada por un cambio en el potencial de presión de un valor positivo a uno negativo; observaron también una reducción del CRA de 88 a 85.5 %. Estos datos sugieren que existe diferencia entre tipos de frutos; así, cambios ligeros en el CRA durante el almacenamiento, pueden o no impactar de manera irreversible el contenido interno del agua de las células, la resistencia de los tejidos asociados con la firmeza y la calidad comercial.

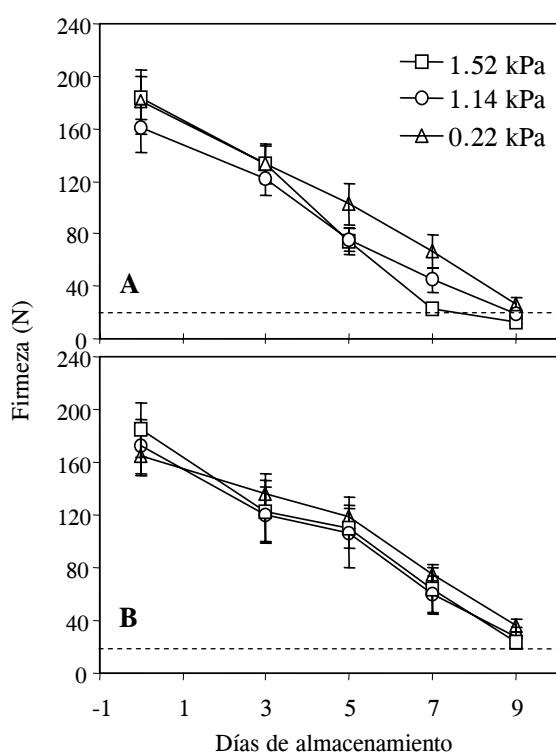


Figura 3. Firmeza en frutos de mango cv. Keitt (A) testigos y (B) encerados durante el almacenamiento en diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV en kPa). La barra vertical de cada punto corresponde a la desviación estándar de cinco repeticiones. La línea gruesa punteada representa el valor de firmeza para mango con calidad comercial, según Mitcham y McDonald (1992).

#### Potenciales hídrico, osmótico y presión

El potencial osmótico se redujo desde valores de -1.4 hasta -2.25 MPa, mientras que el potencial de presión cambió desde valores superiores a cero en los primeros días del estudio, hasta valores inferiores a cero, según la condición de almacenamiento (Figura 5).

Los frutos de mango testigo almacenados por 9 d en condiciones extremas de baja humedad relativa (DPV=1.52 kPa) (Figura 5E), alcanzaron valores de  $\Psi_w$  de -2.8 MPa, mientras que en los frutos almacenados en DPV's de 1.14 y 0.22 kPa, los valores de  $\Psi_w$  fueron de -2.5 MPa y -2.0 MPa, respectivamente (Figuras 5C y A). Estas diferencias en el potencial hídrico, osmótico y de presión entre los frutos almacenados en las diferentes condiciones de DPV, fueron debidas a las diferencias en pérdidas de agua (Figura 1 y 2), así como a la acumulación de solutos que se presenta de manera natural por efecto de la maduración (Figura 6). Durante el proceso de maduración los frutos climatéricos presentan una degradación de macromoléculas a compuestos simples, lo que incrementa el contenido de sólidos solubles

totales y el sabor característico del fruto (Seymour *et al.*, 1990). Los solutos como azúcares solubles, aminoácidos, ácidos orgánicos y minerales juegan un papel importante en la reducción del  $\Psi_s$  (Mill *et al.*, 1996).

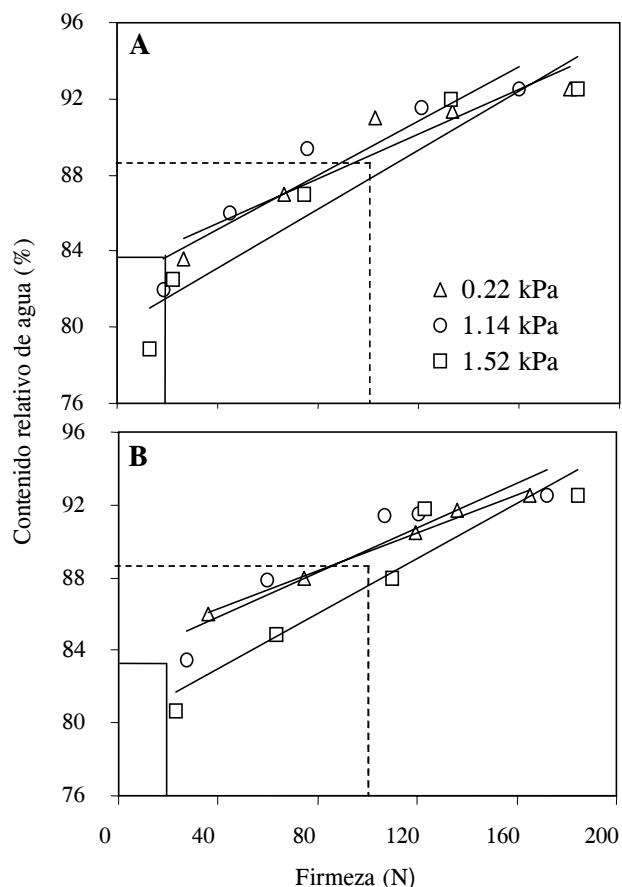


Figura 4. Contenido relativo de agua (CRA) y firmeza en frutos de mango (A) testigo y (B) encerados durante el almacenamiento a distintas condiciones de déficit de presión de vapor (DPV en kPa). Línea punteada define el valor de firmeza a un valor de CRA del tejido cuando ocurre plasmólisis. Línea continua representa el valor de CRA alcanzado a una firmeza de 20 N.

#### Sólidos solubles totales (°Brix)

En la Figura 6 se presentan las relaciones entre el contenido de sólidos solubles totales (°Brix) y el potencial osmótico ( $\Psi_s$ ). Valores bajos en °Brix corresponden a frutos recién cosechados con  $\Psi_s$  promedio de -1.0 MPa. Conforme los frutos maduran muestran un incremento en los °Brix y, por consecuencia, una reducción en el  $\Psi_s$ . Los frutos testigo alcanzaron valores más bajos en °Brix (Figura 6A) que los encerados (Figura 6B), probablemente debido a que los frutos sin encerar maduraron y envejecieron con mayor velocidad por el estrés de agua, y consumieron con mayor

rapidez sus reservas, como son los azúcares y ácidos orgánicos (Lakshminarayana, 1980).

Pomper y Breen (1997) indicaron que en fresa (*Fragaria xananassa* Duch.) el potencial osmótico fue menor ( $\Psi_s = -0.94$  MPa) cuando los frutos estaban maduros, que cuando no están óptimos para consumo (frutos inmaduros,  $\Psi_s = -0.72$  MPa), resultados que son similares a los aquí obtenidos en mango. Estos autores mencionaron que el contenido de solutos disueltos depende del grado de hidrólisis de las

macromoléculas. De igual manera, Cook y Papendick (1978) observaron que en frutas pequeñas como cereza (*Prunus avium* L.), fresa y frambuesa (*Vaccinium angustifolium* Ait.), existe una relación estrecha ( $r=0.98$ ) entre el potencial hídrico y el contenido de sólidos solubles totales ( $^{\circ}\text{Brix}$ ); según estos autores, las cerezas pueden llegar a desarrollar valores superiores a 20  $^{\circ}\text{Brix}$  y  $\Psi_w = -4.0$  MPa, lo que indica que el principal cambio en el  $\Psi_w$  se debe a la elevada concentración de solutos, al reducir al  $\Psi_s$ .

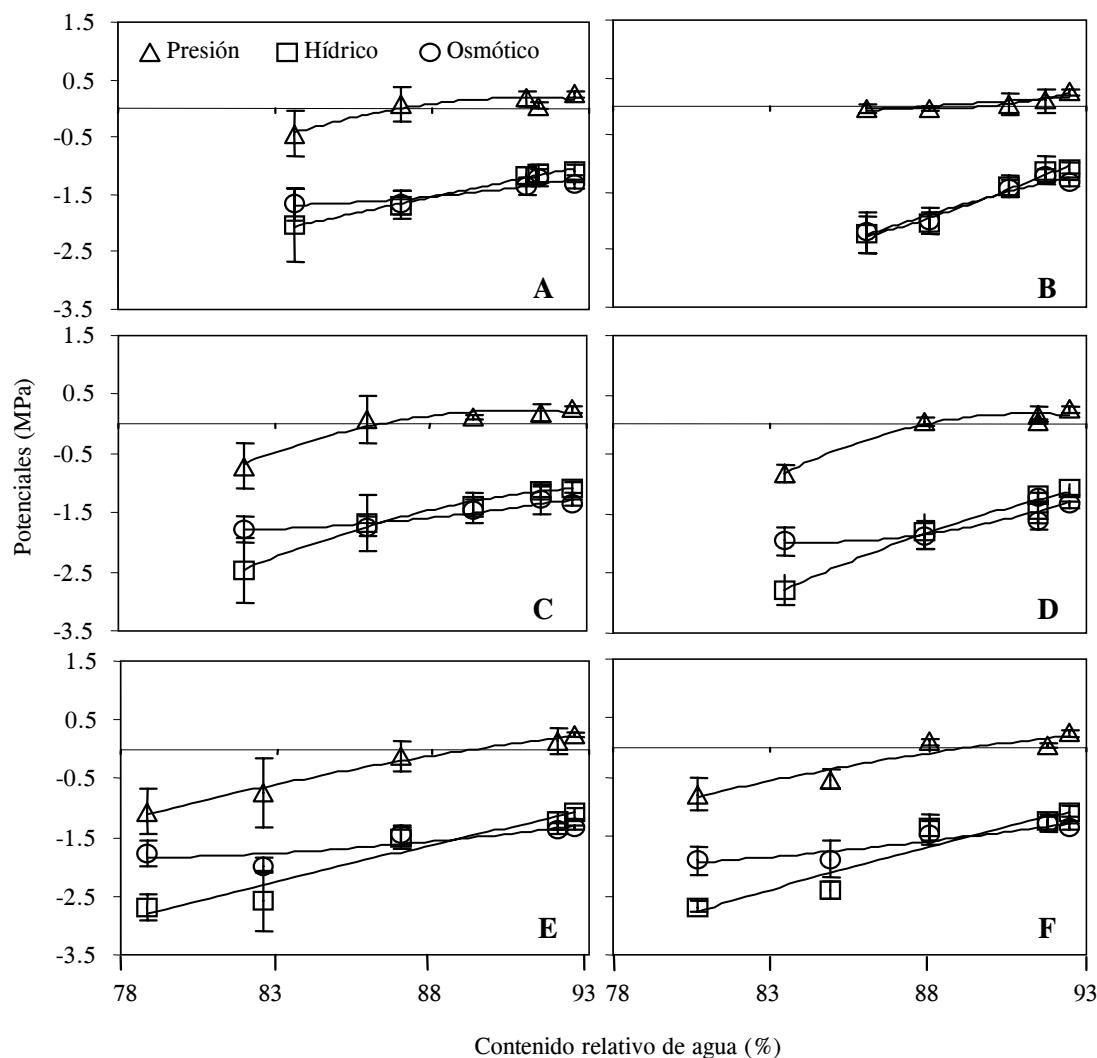


Figura 5. Potenciales hídrico, osmótico y de presión en frutos de mango cv. Keitt durante el almacenamiento bajo diferentes condiciones de déficit de presión de vapor (DPV en kPa). A) Testigo a 0.22 kPa; B) Encerado a 0.22 kPa; C) Testigo a 1.14 kPa; D) Encerado a 1.14 kPa; E) Testigo a 1.52 kPa; F) Encerado a 1.52 kPa.). La barra vertical de cada punto corresponde a la desviación estándar de cinco repeticiones.

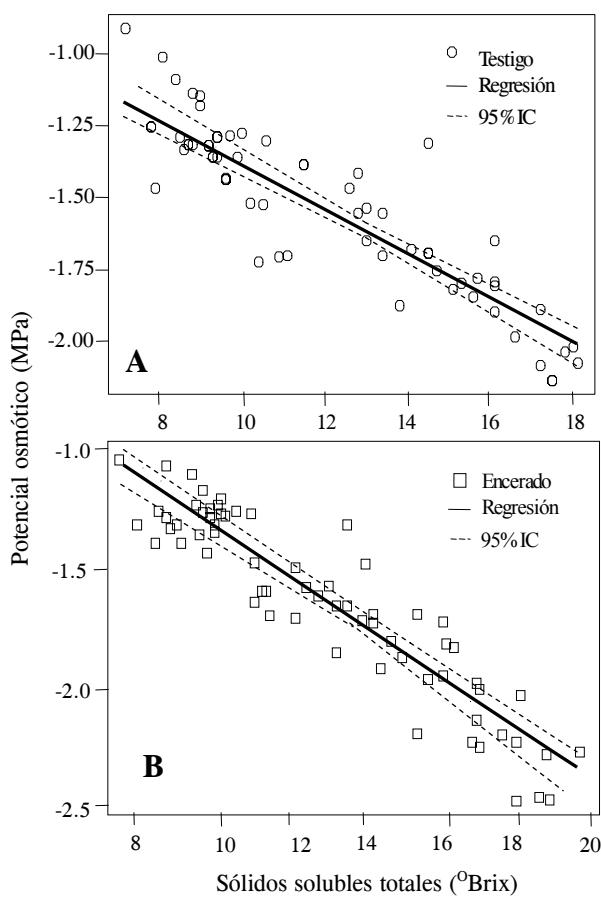


Figura 6. Relación del potencial osmótico y la concentración de sólidos solubles totales (°Brix) en frutos de mango cv. Keitt (A) testigos y (B) encerados durante 9 d de almacenamiento ( $n=140$ ). IC= Intervalos de confianza. Ecuación de la regresión: (A)  $\Psi_s = -0.0806^* \text{Brix} - 0.568$  ( $r^2=0.81$ ) y (B)  $\Psi_s = -0.1031^* \text{Brix} - 0.326$  ( $r^2=0.86$ ).

## CONCLUSIONES

El déficit de presión de vapor de agua (DPV) en las condiciones de almacenamiento de los frutos de mango del cv Keitt, afecta la pérdida de agua de los frutos. A mayores valores de DPV, es mayor la pérdida de peso. La aplicación de cera disminuyó significativamente la pérdida de agua en los frutos, pero solamente cuando fueron almacenados en condiciones de alto DPV.

Las ecuaciones obtenidas entre el porcentaje de pérdida de agua diaria en los frutos y las condiciones de almacenamiento (diferentes DPV), pueden ser utilizadas para predecir la pérdida de peso de los frutos de mango. A medida que los frutos avanzan en su maduración, los potenciales hídrico y osmótico se hacen menores por la pérdida de agua y el incremento de los sólidos solubles totales. En mango, los valores de potencial de presión igual a cero no son indicativos de pérdida de calidad

comercial. Los indicios de la pérdida de calidad en función de la firmeza se presentaron cuando el tejido desarrolló valores de 84 % en el contenido relativo de agua y valores de -0.5 MPa en el potencial de presión. Conforme el fruto maduró, el contenido de sólidos solubles (°Brix) aumentó y el potencial osmótico se redujo; la relación entre ambas variables permite predecir la maduración del fruto.

## BIBLIOGRAFÍA

- A O A C (1998)** Official Methods of Analysis. 16th. Edition. William S., Published by Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. CD-ROM.
- Baldwin E A, J K Burns, W Kazokas, J Brecht, R Hagenmaier, R Bender, E Pesis (1999)** Effect of two edible coating with different permeability characteristics on mango (*Mangifera indica* L.) ripening during storage. Postharvest Biol. Tech. 17:215-226.
- Ben-Yehoshua S (1987)** Transpiration, water stress, and gas exchange. In: Postharvest Physiology of Vegetables. J. Weichmann (ed). Marcel Decker, New York. pp: 113-170.
- Bourne M C (1980)** Texture evaluation of horticultural crops. HortScience 15(1):51-57.
- Burdon J, C Clark (2001)** Effect of postharvest water loss on 'Hayward' kiwifruit water status. Postharvest Biol. Tech. 22:215-225.
- Cook J R, R I Papendick (1978)** Role of water potential in microbial growth and development of plant disease, with special reference to postharvest pathology. HortScience 13(5):559-561.
- Díaz-Pérez J C (1998)** Transpiration rates in eggplant fruit as affected by fruit and calyx size. Postharvest Biol. Tech. 13:45-49.
- FAO (2003)** Food and Agriculture Organization. Agriculture. Mangoes in Mexico. <http://apps1.fao.org>
- Grierson W, W F Wardowsky (1978)** Relative humidity effects on the postharvest life of fruits and vegetables. HortScience 13:570-574.
- Herppich W B, H Mempel, M Geyer (2000)** Carrot water relations during postharvest: Effects on internal and external product quality. In: Integrated View of Fruits & Vegetables Quality. E J Florkowski, S E Prussia, R L Shewfelt (eds). Technomic Publishing Co., Inc. Lancastres-Basel. pp:64-72.
- Hsiao T C (1990)** Measurements of plants water status. In: Irrigation of Agricultural Crops. B A Stewart, D R Nielsen (eds). Agronomy monograph. No. 30. Madison, USA. pp:243-277.
- Hulme A C (1971)** The mango. In: The Biochemistry of Fruits and Their Products. A C Hulme (ed). Vol. 2. Academic Press. London and New York. pp:233-253.
- Kane O, M Boulet, F Castaigne (1982)** Effect of chilling injury on texture and fungal of mangoes (*Mangifera indica* L.). J. Food Sci. 47:992-995.
- Kleinbaum D G, L Kuper, K Muller, A Nizam (1998)** Dummy variables in regression. In: Applied Regression Analysis and Other Multivariable Methods. D Kleinbaum, L Kupper, K Muller, A Nizam (eds). Duxbury Press. USA. pp:317-360.
- Lakshminarayana S (1980)** Mango. In: Tropical and Subtropical Fruits. S Nagy, P E Shaw (eds). AVI Publishers. New York. pp:184-257.
- Lentz C P, E A Cooke (1964)** Rates of moisture loss of apples under refrigerated storage conditions. Food Techol. (1229-1231):119-121
- Leonardi C, S Guichard, N Bertin (2000)** High vapor pressure deficit influences growth, transpiration and quality of tomato fruits. Scientia Hort. 84:285-296.
- Littmann M D (1972)** Effect of water loss on the ripening of climacteric fruits. Queensland J. Agric. Anim. Sci. 29:103-113.
- McGregor B M (1987)** Tropical products transport handbook. Agriculture Handbook. No. 668. Washington, D.C. pp:70-71.

- Medlicott A P, M N'Diaye, J M Sigris (1990)** Harvest maturity and concentration and exposure time to acetylene influence initiation of ripening in mangos. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 115(3):426-430.
- Mill T M, M Behboudian, B Clotier (1996)** Water relation, growth and the composition of 'Braeburn' apple fruit under deficit irrigation. *J. Amer. Hort. Sci.* 121(2):286-291.
- MINITAB (2002)** Statistical software. Release number 13.1. www.minitab.com.
- Mitcham, E J, R E McDonald (1992)** Cell wall modification during ripening of 'Keitt' and 'Tommy Atkins' mango fruit. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 117(6):912-924.
- Muy R D, Siller C J, Díaz P J, Valdez T B (2004)** Efecto de las condiciones de almacenamiento y el encerado en el estatus hídrico y la calidad poscosecha de pepino de mesa. *Rev. Fitotec. Mex.* 27 (2): pp:157-165.
- Paull R (1999)** Effect of temperature and relative humidity on fresh commodity quality. *Postharvest Biol. Tech.* 15:263-277.
- Pearcy R W, J R Ehleringer, H A Mooney, P W Rundel (1991)** Field methods and instrumentation. In: *Plant Physiology Ecology*. R Pearcy, J Ehleringer, H Mooney, P Rundel (eds). Chapman and Hall Company. New York. pp:430-431.
- Pomper W K, P Breen (1997)** Expansion and osmotic adjustment of strawberry fruits during water stress. *J. Amer. Soc. Hort. Sci.* 122(2):183-189.
- SAGARPA (2002)** Producción y valor de mango en México. En Agroenlinea.com S.A. de C.V. México. pp.1-4.
- Salisbury F B, C W Ross (1994)** Difusión, termodinámica y potencial hídrico. In: *Fisiología Vegetal*. F Salisbury, C Ross (eds). Editorial Iberoamérica, S.A. de C.V. México, D.F. pp: 29-46.
- Seymour G B, M N'Diaye, H Wainwright, G A Tucker (1990)** Effects of cultivars and harvest maturity on ripening of mangoes during storage. *J. Hort. Sci.* 65(4):479-483.
- Shirazi A C, Cameron L (1993)** Measuring transpiration rates of tomato and other detached fruit. *HortScience* 28(10):1035-1038.
- Shibairo S I, M K Upadhyaya, P M Toivonen (1997)** Postharvest moisture loss characteristics of carrot (*Daucus carota* L.) cultivars during short-term storage. *Sci. Hortic.* 71:1-12.
- Thomas P (1975)** Effect of postharvest temperature on quality, carotenoids and ascorbic acid content of Alphonso mangoes on ripening. *J. Food Sci.* 40:704-706.
- Thompson A K (1971)** The storage of mango fruits. *Trop. Agric. (Trinidad)*. 48(1):63-70.
- Turner N C (1981)** Techniques and experimental approaches for the measurement of plant water status. *Plant and Soil* 58:339-366.